

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

Казаков Н. Н., Викторов С. Д., Шляпин А. В., Лапиков И. Н.

ДРОБЛЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД ВЗРЫВОМ В КАРЬЕРАХ

Под научной редакцией академика РАН К.Н. Трубецкого



Москва
2020

УДК 622.235
ББК 33.133
Д75

Под научной редакцией академика РАН
К.Н. Трубецкого

Д75 Дробление горных пород взрывом в карьерах : монография / Казаков Н. Н.
[и др.]. — М.: РАН, 2020 — 520 с.

ISBN 978-5-907036-96-3

В монографии изложены основные положения многофазной и многозонной теории технологического дробления горных пород взрывом в карьерах. Представлена разработанная схема разделения процесса дробления на множество составляющих его фаз. В рамках данной схемы разработаны модели каждой фазы с учетом симметрии их развития, горно-геологических и технологических факторов, а также с учетом взаимодействия зарядов при их групповом взрывании. Изложено аналитическое описание фаз, разработанных компьютерных программ и направления использования разработанной теории в технологиях ведения горных работ.

Данная монография предназначена для специалистов научно-исследовательских и проектных организаций, инженерно-технических работников горной промышленности, а также для студентов вузов горного профиля.

ISBN 978-5-907036-96-3

© Казаков Н. Н., Викторов С. Д.,
Шляпин А. В., Лапиков И. Н., 2020

Оглавление

Предисловие	8
Глава 1. Буровзрывные работы в горной промышленности.....	11
1.1. Буровзрывные работы при добыче полезных ископаемых	11
1.2. Механизм разрушения твердых тел.....	12
1.3. Распространенные гипотезы действия взрыва в породах	15
1.4. Компьютерные технологии в науке и практике горных работ.....	19
1.5. Свойства горных пород и массивов.....	23
1.6. Свойства взрывчатых веществ и промышленных зарядов.....	29
Глава 2. Используемые элементы и способы проектирования буровзрывных работ в карьерах	31
2.1. Типовой проект предприятия по буровзрывным работам.....	31
2.2. Проектирование буровзрывных работ на блоке в карьерах	32
2.3. Эмпирические связи между условиями взрывания и результатами взрыва ..	37
2.4. Методы определения качества раздробленной породы в карьерах	38
Глава 3. Многофазная и многозонная теория технологического дробления горных пород взрывом в карьерах.....	52
3.1. Научная идея новой теории технологического дробления пород взрывом	52
3.2. Теоретические основы процессов технологического дробления горных пород взрывом	55
3.3. Модели формы кусков раздробленной породы	59
3.4. Особенности дробления горных пород в карьере	63
3.5. Гипотеза многоуровневого дробления горных пород взрывом.....	65
Глава 4. Цилиндрическая камуфлетная фаза взрыва	68
4.1. Модель камуфлетной фазы и геометрические параметры зон ее действия	68
4.2. Определение энергии цилиндрической и сферической волн на границе излучения.....	73
4.3. Определение остаточной энергии в продуктах детонации к концу камуфлетной фазы	77
4.4. Распределение энергии заряда по фазам, зонам и видам затрат.....	80
4.5. Распределение энергии разрушения по расчетным слоям камуфлетной зоны	81
Глава 5. Цилиндрическая волновая фаза взрыва	86
5.1. Общие сведения о цилиндрической волновой фазе взрыва.....	86
5.2. Максимальная массовая скорость в волне напряжений	87
5.3. Форма волны напряжений во времени	89
5.4. Форма волны напряжений в смещениях	91
5.5. Тензор деформации цилиндрической волны	92
5.6. Тензор напряжений цилиндрической волны	94
5.7. Энергия и плотность энергии цилиндрической волны напряжений.....	97
5.8. Зависимость начальных параметров цилиндрической волны от условий взрывания	99

5.9. Зависимость энергии цилиндрической волны от крепости горных пород	104
Глава 6. Цилиндрическая квазистатическая фаза взрыва.....	109
6.1. Общие сведения о цилиндрической квазистатической фазе взрыва.....	109
6.2. Главные идеи и модели цилиндрической квазистатической фазе взрыва и зоны ее действия	110
6.3. Определение объема квазистатической полости.....	114
6.4. Определение энергии разрушения и остаточной энергии в газовой полости к концу квазистатической фазы взрыва.....	119
6.5. Определение расстояний от центра взрыва до внешних границ квазистатической полости и зоны.....	120
6.6. Параметры выбираемых направлений в квазистатической зоне	126
6.7. Распределение энергии разрушения и определение крупности дробления породы квазистатической фазой по одному направлению	127
Глава 7. Совместное действие всех фаз процесса дробления горных пород в средней зоне карьерного уступа	132
7.1. Особенности распределения по направлениям плотности энергии разрушения камуфлетной и волновой фаз и их суммирование.....	132
7.2. Особенности распределения плотности энергии квазистатической фазы по направлениям	135
7.3. Особенности распределение плотности энергии разрушения вдоль направления в квазистатической фазе.....	137
7.4. Суммирование плотности энергии разрушения всех фаз процесса в средней зоне карьерного уступа по направлениям	139
7.5. Определение крупности дробления породы по выбранному направлению всеми фазами процесса в средней зоне карьерного уступа.....	142
Глава 8. Распределение энергии разрушения по площадям.....	148
8.1. Основные положения определения распределения энергии разрушения по площадям	148
8.2. Распределение энергии разрушения по площади в цилиндрической камуфлетной зоне.....	152
8.3. Распределение энергии разрушения по площади в цилиндрической волновой зоне	157
8.4. Распределение энергии разрушения по площади в квазистатической зоне.....	163
8.5. Распределение энергии разрушения всех фаз процесса по площадям	169
Глава 9. Распределение крупности дробления породы по площадям.....	173
9.1. Связь энергии дробления с размерами кусков породы.....	173
9.2. Расчетный метод определения крупности дробления породы.....	176
9.3. Интерфейс и схема выполняемых действий программы «Взрывдезинтеграция»	180
9.4. Расчет полей распределения кусков по крупности в зоне между двумя зарядами.....	184
9.5. Расчет полей распределения кусков по крупности в зоне за крайним зарядом.....	189
9.6. Расчет выходов горной массы по классам крупности	195

Глава 10. Сферическая камуфлетная фаза взрыва	202
10.1. Верхний слой обуренного блока на карьерном уступе	202
10.2. Модель сферической камуфлетной фазы	203
10.3. Энергии разрушения сферической камуфлетной фазы	205
10.4. Распределение энергии разрушения вдоль выбираемого направления и дробление породы сферической камуфлетной фазой взрыва	206
Глава 11. Сферическая волновая фаза взрыва	211
11.1. Общие сведения о сферической волне в верхнем слое карьерного уступа	211
11.2. Максимальная массовая скорость частиц в сферической волне напряжений	212
11.3. Форма сферической волны напряжений	214
11.4. Абсолютные деформации частиц в сферической волне напряжений	218
11.5. Относительные деформации в сферической волне напряжений	221
11.6. Тензор напряжений сферической волны напряжений	224
11.7. Энергии разрушения сферической волновой фазы	226
11.8. Распределение энергии и плотности энергии разрушения сферической волновой фазы вдоль радиуса	227
Глава 12. Сферическая квазистатическая фаза взрыва	232
12.1. Общие сведения о сферической квазистатической фазе взрыва	232
12.2. Главные идеи и модели сферической квазистатической фазы взрыва и зоны ее действия	232
12.3. Определение объема сферической квазистатической полости	233
12.4. Определение энергии разрушения и остаточной энергии в газовой полости	234
12.5. Распределение энергии разрушения по выбираемым направлениям	236
12.6. Определение расстояний от центра взрыва до внешних границ сферической квазистатической полости и зоны	236
12.7. Распределение энергии разрушения по выбранному направлению	237
12.8. Определение крупности дробления породы сферической квазистатической фазой	244
Глава 13. Совместное действие всех фаз процесса в верхней зоне уступа ..	246
13.1. Особенности распределения по направлениям плотности энергии разрушения сферической камуфлетной и сферической волновой фаз	246
13.2. Дробление породы верхнего слоя сферической камуфлетной, сферической волновой и сферической квазистатической фазами взрыва	248
13.3. Суммирование плотности энергии разрушения всех фаз процесса в средней зоне карьерного уступа по направлениям	251
13.4. Определение крупности дробления породы по выбранному направлению всеми фазами процесса в средней зоне карьерного уступа	252
13.5. Дробление породы между двумя зарядами и за крайним зарядом в верхнем слое карьерного блока	254
Глава 14. Зоны нерегулированного дробления горных пород взрывом	262
14.1. Общие сведения о зонах нерегулируемого дробления горных пород	262
14.2. Коэффициенты фракционности горных пород в карьерах	263
14.3. Грансостав пород в зонах нерегулируемого дробления разваленного взрывом по естественным отдельностям	266

14.4. Расчет качественных показателей дробления породы взрывом в зоне нерегулируемого дробления.....	267
14. 5. Компьютерный метод расчета качественных показателей разваленной породы взрывом в зоне нерегулируемого дробления	269
14.6. Влияние разваленной по естественным отдельностям верхней зоны на выход негабарита по блоку.....	272
Глава 15. Влияние сферической камуфлетной, сферической волновой и сферической квазистатической фаз процесса на выход негабарита	274
15.1. Частичное дробление породы в верхнем слое сферической камуфлетной, сферической волновой и сферической квазистатической фазами взрыва.....	274
15.2. Расчетный выход негабарита без учета дробящего действия и с учетом дробящего действия трех фаз процесса	279
15.3. Возможные способы снижения выхода негабарита в верхней зоне нерегулируемого дробления.....	280
Глава 16. Развитие фаз процесса взрыва в нижнем слое карьерного блока	290
16.1. О нижнем слое блока и о перебурах.....	290
16.2. Модель процесса взрыва заряда в перебуре	291
16.3. Цилиндрическая камуфлетная фаза и нижнем слое карьерного блока... ..	291
16.4. Сферическая камуфлетная фаза и нижнем слое карьерного блока	292
16.5. Цилиндрическая волновая фаза и нижнем слое карьерного блока	294
16.6. Сферическая волновая фаза в нижнем слое карьерного блока	295
Глава 17. Категории взрываемости горных пород	296
17.1. Общая категория взрываемости горных пород	296
17.2. Районирование месторождений полезных ископаемых по взрываемости горных пород	299
17.3. Исходная информация для оценки взрываемости руд и горных пород Михайловского карьера.....	301
17.4. Линейные размеры кондиционных кусков породы.....	303
17.5. Схема выполнения работ по компьютерному районированию карьерного поля по взрываемости руд и горных пород.....	303
Глава 18. Формирование взрывом развала породы на уступах	308
18.1. Методы определения параметров формы развала.....	308
18.2. Экспериментальные методы определения параметров развала и процесса его формирования	314
18.3. Геометрическая модель поперечного сечения ожидаемого развала отбитой взрывом горной массы на уступе карьера (ИПКОН РАН). ...	316
18.4. Компьютерный расчетный метод определения формы развала.....	322
Глава 19. Особенности детонации скважинных промышленных зарядов в карьерах	333
19.1. Об изготовлении и применении взрывчатых веществ на горных предприятиях.....	333
19. 2. О методах определения детонационных характеристик взрывчатых веществ.....	334

19.3. Методика экспериментальных работ в михайловском карьере	340
19.4. Результаты первой серии экспериментов.....	345
19.5. Результаты второй серии экспериментов	354
19.6. Результаты третьей серии экспериментов.....	362
19.7. Результаты четвертой серии экспериментов.....	370
Глава 20. Развитие метода компьютерного проектирования массовых взрывов в карьерах	380
20.1. Работы служб и отделов рудоуправления и комбината, принимающих участие в подготовке и проектировании массовых взрывов.....	380
20.2. Обмен информацией между службами рудоуправления и проектным бюро буровзрывного комплекса.....	382
20.3. Проектные документы буровзрывных работ по очистному блоку.....	388
20.4. Краткий навигатор компьютерного проектирования буровзрывных работ.....	405
Приложения	418
Приложение 1. Об инструкции пользователя программой проектирования взрывных работ в карьере	418
Приложение 2. «Энергия-1». Распределение по площадям плотности энергии разрушения камуфлетной фазы взрыва.....	432
Приложение 3. «Энергия-2». Распределение по площадям плотности энергии разрушения волновой фазы взрыва	441
Приложение 4. «Энергия-3». Распределение по площадям плотности энергии разрушения квазистатической фазы взрыва	446
Приложение 5. «Энергия-10». Распределение по площадям плотности суммарной энергии разрушения трех фаз процесса фазы взрыва	457
Приложение 6. «Взрывдезинтеграция». Рассчитывается крупность кусков породы и грансостав раздробленной горной массы	462
Приложение 7. Развал породы взрывом. Рассчитываются параметры и формируется компьютером развал породы.....	503
Список литературы	509
Информация об авторах	519

Предисловие

Взрыв заряда взрывчатого вещества имеет чрезвычайно разнообразные последствия. Взрыв может дробить и прессовать, взрыв может штамповать детали машин, взрыв может резать материалы и сваривать их. Взрыв может как разрушать, так и созидать. Он может использоваться как активная строительная технология. Взрыв может уничтожать все живое, но и сама жизнь появилась не без участия взрывных процессов.

Взрывы разной целенаправленности развиваются по разным физическим закономерностям, и их развитие должно описываться разными аналитическими зависимостями.

Очень важно ограничить область, в пределах которой исследователь изучает и описывает воздействие взрыва на окружающую среду. Очень важно четко определить цель, с какой выбранный взрывной процесс используется.

В этой книге авторы изучают процесс технологического дробления горных пород взрывом скважинных зарядов в карьерах при добыче скальных полезных ископаемых.

Книга посвящена разработке и изложению основных положений новой многофазной и многозонной теории технологического дробления горных пород взрывом [13–18, 36–59, 66–74, 88–92, 133–19], которая является, по мнению авторов, дальнейшим совершенствованием многочисленных однофазных и двухфазных теоретических представлений о развитии процесса взрыва в горных породах на горных предприятиях [1, 5–11, 22–27, 32–37, 63, 65, 75–83, 93–98, 102–109, 114–122, 125–128, 143].

Исследовательские работы по новой теории были начаты несколько десятилетий назад по инициативе профессора, доктора технических наук, а в последующем члена-корреспондента Академии наук СССР, директора Института проблем комплексного освоения недр Дмитрия Михайловича Бронникова. Им была сформулирована главная цель поиска новых теоретических представлений. Поиск теоретических положений должен быть направлен на решение прикладных задач ведения буровзрывных работ на горных предприятиях, которое должно учитывать реальные технологические проблемы и параметры, реальные горно-геологические условия и опираться на самые новые достижения в области физики взрыва и механики твердого тела, а также принимать во внимание практические достижения науки о горнопромышленных взрывах и использовать современные средства и методы математики и вычислительной техники.

Основными разработчиками многофазной и многозонной теории технологического дробления горных пород взрывом являются доктор технических наук Казаков Н.Н. и его ученики: кандидат технических наук Щляпин А.В., кандидат технических наук Лапиков И.Н., кандидат технических наук Копылов С.В. и кандидат технических наук Добрынин И.А.

Недра России богаты самыми разными полезными ископаемыми, основная часть которых добывается открытым способом. Карьер — это сложный технологический объект, который обеспечивает самую высокопроизводительную и самую дешевую добычу полезных ископаемых. Глубина карьеров в отдельных случаях превышает 500 метров.

Буровзрывные работы в карьерах являются крупномасштабными технологическими процессами. О масштабах можно судить по разовому расходу взрывчатых веществ, так, на крупных карьерах при проведении одного массового взрыва расходуют до 20 и более железнодорожных вагонов взрывчатых веществ.

Технологическое дробление горных пород взрывом широко применяется во многих отраслях промышленности. Конечная цель отбойки от массива и дробления горных пород взрывом может быть разная. Целью может быть создание рациональных технологичных условий добычи полезных ископаемых, проходка горных выработок самого разного назначения, перемещение больших объемов породы при строительных работах, либо создание взрывом безопасных условий функционирования горных предприятий [2–3, 80, 93–98, 103, 118, 124–126, 131].

Применяются разные технологии дробления и перемещения горных пород в зависимости от цели проведения взрывных работ.

Самый большой объем взрывных работ проводится на горных и строительных предприятиях с целью создания рациональных технологичных условий добычи полезных ископаемых.

Принято считать, что взрывные работы в горной промышленности проводятся с целью разрушения горных пород взрывом. Однако это не совсем точное выражение. Взрывные работы в горной промышленности проводятся, главным образом, с целью технологического дробления горных пород взрывом. Технологическое дробление горных пород взрывом — это дробление некоторого выделенного объема породы взрывом группой промышленных зарядов до крупности, приемлемой с технологической точки зрения для последующего использования. Этот термин, введенный авторами этой книги в жизнь несколько десятилетий тому назад, с трудом пробивает себе дорогу в жизнь.

В карьерах объем технологического дробления горных пород взрывом одного скважинного заряда относительно небольшой — он соизмерим с объемом одной ячейки в обуренной сетке скважин.

Широкое распространение в науке и практике взрывных работ получило представление, что энергия взрыва передается в породный массив в виде волны напряжений. По параметрам волны напряжений, по их величине или по интенсивности изменения величины параметров при распространении волны по массиву можно определить конечные результаты взрыва, в том числе и крупность дробления горных пород взрывом. В рамках этого представления дробление горных пород взрывом рассматривается как однофазный, или как двухфазный, процесс [8–9, 35, 75–80, 95–97, 105, 114, 129–130].

Выполнено много теоретических и экспериментальных работ по изучению параметров волн напряжений в породе. Но исследование и проектирование прикладных способов дробления горных пород взрывом в горном производстве по параметрам волн напряжений не нашло применения. В действительности, процесс технологического дробления горных пород взрывом даже в зоне действия одного промышленного заряда является многофазным и многозонным. Этот процесс нельзя описать единой расчетной

схемой. Каждая фаза в каждой зоне ее действия — это индивидуальный физический процесс со своими закономерностями развития.

Совместное действие индивидуальных фаз процесса в каждой зоне и влияние каждой зоны на соседние зоны — это самый сложный физико-технологический процесс, который можно описать только с применением компьютерных методов и технологий. Нет ничего удивительного в том, что в докомпьютерную эпоху физический процесс воздействия взрыва на реальный горный массив в реальных технологических условиях не удавалось количественно описать.

Глава 1. Буровзрывные работы в горной промышленности

1.1. Буровзрывные работы при добыче полезных ископаемых

Взрывом необходимо не только отделить часть породного массива по заданным линиям отрыва, но и раздробить породу, а также расположить отбитую породу так, чтобы крупность кусков и форма навала взорванной горной массы обеспечивали наиболее высокую производительность погрузочного и транспортного оборудования [95, 118].

Совершенствование технологии горных работ сопровождается возрастанием производительности погрузочно-транспортных механизмов. Увеличивается объем горной массы, которую необходимо подготовить взрывом для непрерывной и высокопроизводительной работы карьерных механизмов. По мере увеличения производительности погрузочно-транспортных механизмов все большее влияние на производительность горного предприятия оказывают простои оборудования, обусловленные необходимостью отвода механизмов из зоны взрыва. Поэтому техника взрывных работ на карьерах развивается в направлении укрупнения взрывов и уменьшения их числа. Объем одновременно взрываемых блоков возрастает за счет увеличения не только длины фронта, но и за счет увеличения ширины полосы, отделяемой взрывом от массива, за счет увеличения количества взрываемых блоков, за счет увеличения высоты уступа в той мере, в какой это позволяет высота черпания ковша экскаватора и возможность управления высотой и шириной навала взорванной горной массы.

Отбойка и дробление горных пород осуществляется с применением удлиненных цилиндрических зарядов ВВ, размещаемых в скважинах, глубина которых, в соответствии с высотой уступа, может изменяться в достаточно широких пределах. Удлиненные заряды обеспечивают более равномерное дробление горной породы взрывом, чем сосредоточенные (котловые или камерные) заряды.

Существующие буровые станки обеспечивают возможность бурения скважин различного диаметра, позволяя выбирать его оптимальные значения для заданных горнотехнических условий, при которых создаются наилучшие условия для достижения заданной степени дробления и формы навала отбитой взрывом горной массы. Бурение скважин представляет собой вспомогательную или подготовительную стадию процесса взрывных работ, подчиненную основной задаче — обеспечению заданного качества взрыва. Той же задаче подчинено зарядание скважин, включающее помещение в скважину ВВ, средств взрывания, забоечного материала и монтаж взрывной сети. Проект взрывных работ в части первичного взрывания определяет объем бурения, количество взрывчатых и забоечных материалов, количество механизмов для их доставки и размещения в скважинах, потребность в рабочей силе для зарядания и взрывания. Исходя из степени изученности

структурных особенностей месторождения и технического уровня взрывных работ, проект определяет объем вторичного взрывания, включающего ликвидацию завывшений подошвы, неровностей и порогов, и необходимые для этого ресурсы.

Рассчитанный в разделе проекта взрывных работ объем бурения служит исходным для составления проекта буровых работ, определяющего все необходимые для них ресурсы.

Проект взрывных работ исходит из средних условий разработки месторождения. Каждый отдельный массовый взрыв в процессе строительства и эксплуатации горного предприятия выполняется в конкретных условиях, в той или иной степени отличающихся от усредненных. Поэтому для каждого массового взрыва горным предприятием составляется проект, служащий руководством по управлению действием взрыва для достижения поставленных задач в данных реальных условиях.

В последние десятилетия в технологии буровзрывных работ произошли существенные положительные изменения. Разработаны и внедрены в производство новые взрывчатые вещества (ВВ) и средства взрывания (СВ). Осуществлена комплексная механизация приготовления, доставки взрывчатых веществ в карьеры и заряжания скважин. Активно развиваются компьютерные технологии исследования и проектирования буровзрывных работ.

Масштабы буровзрывных работ на горных предприятиях, да и в пределах одного предприятия, чрезвычайно разнообразны. За один раз взрывник может взрывать несколько килограммов взрывчатого вещества. А в карьерах взрывники могут взрывать за один раз до двадцати железнодорожных вагонов взрывчатого вещества. На подготовку и проведение одного массового взрыва в карьере иногда десятки взрывников при многосменной работе затрачивают недели, смену за сменой заряжая пробуренные скважины.

1.2. Механизм разрушения твердых тел

Механизм процесса разрушения твердого тела и закономерности его развития представляют собой узел, где переплетаются труднейшие нерешенные задачи физики твердого тела, механики материалов и прикладного материаловедения. От решения этой проблемы зависит прогресс во многих отраслях техники, в том числе и в горной отрасли промышленности.

Существует несколько различных точек зрения на механизм разрушения, которые можно разделить на три основных направления. К первому направлению следует отнести классические, феноменологические теории разрушения, в основе которых лежат макроскопические закономерности процесса. Второе направление объединяет теории, связанные с феноменологическим описанием микрокартины разрушения, наблюдаемой при оптических усилениях и поиском связи между характером процесса разрушения, фазовым составом и микроструктурой материала. Третье направление объединяет теории разрушения, основанные на изучении атомного механизма разрушения.

Наибольшее развитие получили классические феноменологические теории разрушения [10, 130]. Эти теории определяют параметр разрушения — напряжение, при достижении которого материал разрушается. В за-

висимости от распределения приложенной к телу системы сил, напряженное состояние может быть самым разнообразным, и разрушение тела может произойти от действия различных по природе усилий: сжатия, растяжения, сдвига, а также от действия их различных комбинаций. От свойства материала, характера приложенных сил и характера напряженного состояния зависит параметр разрушения, который и положен в основу построения теории разрушения. Сам механизм разрушения в этих теориях не рассматривается, а принимается как происходящий факт.

К этому направлению следует отнести и так называемые энергетические теории разрушения, согласно которым тело разрушается не в результате достижения напряжения, превышающего максимум сил сцепления, а в результате накопления внутри среды некоторого количества упругой энергии, при которой дальнейшее существование двух частей среды становится более целесообразным, чем одной. Энергетические теории также не изучают сам механизм процесса разрушения твердых тел.

Хорошо развитые феноменологические теории разрушения имеют большую практическую ценность, но на их основе нельзя достичь более глубокого понимания физической природы процесса разрушения.

Теории второго направления, теории хрупкого разрушения или теории трещин получили бурное развитие. Они основаны на изучении микроструктуры процесса. Основы теории трещин заложены в работах А.А. Гриффитса, который впервые сформулировал и решил задачу о величине предельной нагрузки для бесконечной пластины с прямолинейной микроскопической трещиной, когда такая пластина подвергнута растяжению однородным полем напряжений, направленным перпендикулярно к плоскости расположения трещин. Важным этапом в развитии теории трещин явились работы Г.Р. Ирвина и О.Е. Орована. Существенное развитие теория трещин получила в работах С.А. Христиановича, Г.И. Беренблатта, М.Я. Леонова, Г.П. Черепанова, Д.Д. Ивлева и других исследователей.

Для построения теории трещин хрупкого разрушения необходимо учитывать не только силы, приложенные к телу, но и межмолекулярные силы сцепления, действующие вблизи края трещины на ее поверхности. Поэтому теория трещин непосредственным образом связана с теорией концентрации напряжений. Интенсивность сил сцепления зависит от расстояния между противоположными берегами трещин, которое меняется от величины порядка межатомных расстояний вблизи контура трещины до больших макроскопических величин вдали от контура.

Максимальная интенсивность сил сцепления определяет собой теоретическую прочность, которую имело бы твердое тело, если бы было идеальным кристаллом. Реальная прочность твердых тел обычно на несколько порядков ниже теоретической. Предельная интенсивность сил сцепления не зависит от приложенной нагрузки, а характеризуется свойствами материала.

Под действием приложенной нагрузки на концах трещины возникают напряжения, которые характеризуются коэффициентом интенсивности напряжений. Если нагрузка, приложенная к телу, недостаточно велика, то силы сцепления, действующие в концевой области поверхности трещин, меньше предельных сил сцепления. При увеличении нагрузки силы сцепле-

ния в концевой области возрастают. Однако трещина не расширяется, пока силы сцепления не достигнут максимальной интенсивности.

Если в какой-то одной точке контура трещины интенсивность напряжений становится равной максимальной интенсивности сил сцепления, трещина станет подвижно-равновесной. Не следует связывать достижение трещиной состояния подвижного равновесия с началом неустойчивого быстрого ее развития, и тем более с полным разрушением тела. Подвижно-равновесная трещина может быть как устойчивой, так и неустойчивой. Трещина может переходить от неустойчивого состояния равновесия к устойчивому.

Г.П. Черепанов, изучая развитие трещин в сжимаемых телах [130], пришел к выводу, что направление распространения трещины и характер разрушения не зависит от конфигурации тела и внешней нагрузки и полностью определяется свойствами материала вблизи конца трещины. Это положение Г.П. Черепанов называет законом автономности. Согласно закону автономности развитие трещины может происходить по сдвиговому механизму, при этом трещина развивается всегда по направлению наибольшего касательного напряжения, т. е. по направлению продолжения трещины (такие трещины всегда прямолинейны) или по отрывному механизму, при котором трещина отойдет от конца в направлении максимума напряжений под углом $+75^\circ$ или -75° .

В зависимости от последовательности выбора материалом этих двух направлений трещина может иметь произвольный вид, начиная от прямой линии и кончая ступенчатой кривой типа «лесенки» или «елочки». Из соображений симметрии и закона автономности следует, что в идеально однородном материале в однородном поле напряжений любая трещина будет иметь или строго периодическую структуру, или будет строго прямолинейной.

Для крупномасштабных трещин справедлив обобщенный закон автономности, согласно которому крупная структура трещины также представляет собой ступенчатую структуру с избранным направлением отдельных звеньев (0° и 75°). При достаточных размерах тела принципиально можно наблюдать любое число масштабов ступенчатых структур.

В начале своего развития теории трещин описывали разрушение хрупких материалов. Однако значение теории хрупкого разрушения оказалось далеко выходящим за пределы применимости ее к сравнительно редким чисто хрупким материалам. Экспериментальные исследования показали, что при образовании трещин некоторые материалы, которые при обычных испытаниях на растяжение ведут себя как вполне пластические тела, разрушаются так, что пластические деформации хотя и имеют место, но сосредоточиваются в тонком слое вблизи поверхности трещины. Г.Р. Ирвин и О.Е. Орован выдвинули концепцию квазихрупкого разрушения, позволившую сильно расширить пределы применимости теории хрупкого разрушения. Согласно этой концепции теория хрупкого разрушения распространяется на случаи, когда пластические деформации сосредоточиваются в тонком приповерхностном слое трещины. При этом энергия, затраченная на образование единицы поверхности трещины, выражается в виде суммы удельной работы против сил молекулярного сцепления – поверхностного натяжения и удельной работы пластических деформаций.

Наиболее общими и перспективными являются теории разрушения третьего направления, основанные на изучении атомного механизма разрушения. Знание атомного механизма процессов представляет надежную основу, которая позволит предсказывать количественные закономерности и на уровне микро- и макроструктур. В последние годы исследования, проводимые советскими специалистами в области физики твердого тела и материаловедения, концентрируются на решении коренной проблемы — атомного механизма разрушения.

Экспериментальные значения «разрывных напряжений» — по теории трещин соответствуют условию развития уже имеющихся трещин. Когда в твердом теле нет микротрещин, процесс разрушения должен состоять из двух стадий: зарождения трещин и развития их. В теориях второго направления вопрос о зарождении трещин не ставится. Их зарождение происходит на атомном молекулярном уровне. Зарождение микротрещины может произойти лишь в том случае, когда будет достигнуто напряжение, превышающее теоретическую прочность. Это возможно либо при очень высоких внутренних напряжениях, либо, что бывает чаще, при наличии концентраторов напряжения в среде. Роль концентраторов напряжения играют неоднородности в структуре материала.

Интересна идея об автокаталитическом характере хрупкого разрушения. Она объясняет распространение трещин в рамках теории автокаталитических цепных процессов. С этой точки зрения распад поля напряжения вокруг трещины происходит как цепной разветвленный процесс со взаимодействующими цепями. Ветвление трещин объясняется возникновением при цепном распаде упругого поля импульсов, распространяющихся по криволинейным траекториям и наносящим боковой удар по трещине. Следует отметить, что в настоящее время нет единого представления о взаимосвязи между хрупким разрушением и деформированием. Некоторые ученые считают разрушение кинетическим процессом, развивающимся в теле с момента приложения нагрузки. Деформация в этом случае есть следствие разрушения. Согласно другой точки зрения хрупкое разрушение подготавливается деформацией и является критическим событием.

Изложенное показывает, что в настоящее время еще не выработана единая точка зрения на механизм разрушения твердых тел.

Теоретические положения, изложенные в этом параграфе, признаны фундаментальными научными разработками в геомеханике разрушения твердых тел. Но следует отметить, что от знаний процессов развития трещин, а тем более одной трещины, до знаний процессов технологического дробления горных пород в реальных массивах путь очень сложный, если он вообще возможен.

1.3. Распространенные гипотезы действия взрыва в породах

Действие взрыва в породе изучается учеными и используется в практике уже длительное время. Однако сложность и многовариантность этого физического процесса, разнообразие условий взрывания являются серьезным препятствием на пути его познания.

Это обстоятельство привело к формированию различных гипотез, с помощью которых ученые пытаются объяснить физическую природу действия взрыва в горных породах. В настоящее время трудно выделить одну или две гипотезы, которые могли бы в полном объеме ответить на все вопросы о физическом действии взрыва в реальной горной породе. Однако нельзя не отметить тот факт, что многие ученые способны с уверенностью отстаивать свои гипотезы как единственно правильные.

Основополагающими работами для формирования основных направлений в теории развития взрыва в горных породах можно считать труды таких ученых, как: Н.В. Мельников, К.Н. Трубецкой, Г.П. Демидюк, В.В. Ржевский, В.В. Адушкин, М.А. Садовский, Д.М. Бронников, М.А. Лаврентьев, С.Д. Викторов, В.М. Закалинский, Н.Н. Казаков, В.А. Бобин, Е.И. Шемякин, Ф.А. Баум, Л.И. Барон, Б.Н. Кутузов, В.А. Белин, Г.М. Крюков, С.К. Мангуш, В.Н. Родионов, К.К. Шведов, и другие [1–3, 5–9, 11–18, 22–23, 28, 34–36, 82–83, 93–97, 103–104, 114–116, 118, 119, 122, 124–126, 128].

Рассмотрев работы ученых, посвященные вопросу разрушения горных пород взрывом, можно выделить несколько гипотез, положенных разными учеными в основу своих научных исследований.

Важное научное и практическое значение имеет направление, в основе которого лежит использование эмпирических зависимостей, связывающих условия взрывания непосредственно, с теми или иными конечными результатами взрыва. Во многих случаях недостаточной изученности физических процессов они являются единственным доступным средством разумного проектирования технологических процессов.

В той или иной мере это направление поддерживали и использовали в своих научных работах подавляющее большинство ученых взрывников и практиков. Наиболее яркими представителями этого направления можно назвать: Н.В. Мельникова, А.Ф. Суханова, В.В. Ржевского, Б.Н. Кутузова, Демидюка Г. П.

Ученые, поддерживающие и развивающие данное направление, внесли большой вклад в дело совершенствования технологии разрушения горных пород взрывом.

Широкое распространение получила гипотеза, в основе которой лежит представление о разрушении горных пород волнами напряжений.

Большой вклад в развитие этого направления внесли работы многих ученых: Г.И. Покровского, В.В. Адушкина, В.Н. Родионова [2, 3, 15].

Качественно авторы описывают эту гипотезу следующим образом. При взрыве заряда в породе по всей поверхности зарядной камеры одновременно действует давление продуктов взрыва. Вокруг поверхности заряда порода раздавливается и переходит в текучее состояние. Частицам породы передается движение, направленное по радиальным направлениям, и происходит смещение их вслед за фронтом волны деформаций.

По мере удаления от заряда напряжения в сжимающей волне быстро падают. На определенном расстоянии от заряда они становятся меньше сопротивления породы раздавливанию, что приводит к изменению характера деформации среды, пропадают линии скольжения, и структура среды в основном сохраняется [77, 78, 79, 80, 105].

Удаление волны деформации от заряда становится причиной возникновения и распространения во всех направлениях радиальных трещин. При последующем удалении волны деформаций от заряда растягивающие тангенциальные напряжения в породе уменьшаются и становятся меньше временного сопротивления на разрыв. Этот факт препятствует образованию новых трещин. После прохождения волны сжатия давление в зарядной камере падает, следствием чего становится расширение в сторону центра заряда породы, находящейся в ближней зоне от заряда. Таким образом, в зоне с радиальными трещинами может появиться и ряд кольцевых тангенциальных трещин.

Если же взрыв происходит вблизи открытой поверхности, то характер дробления породы существенно меняется. Отраженные от свободной поверхности волны сжатия приобретают основное значение. От свободной поверхности вглубь породы проникает волна разряжения, которая приводит к растягивающим напряжениям в среде. Абсолютные величины напряжений в волне растяжения обычно меньше, чем в волне сжатия. Однако, исходя из того, что сопротивление твердых тел сжатию больше сопротивления растяжению, то волна разряжения производит более значительные разрушения, чем волна сжатия [8, 9, 28, 132].

По мнению академика Н.В. Мельникова, такие представления о явлении взрыва в твердой среде находятся в противоречии с действительным явлением взрыва [95]. Он считал, что в результате действия взрыва на стенки зарядной камеры инерция окружающей среды создает условия для протекания явления, аналогичного взаимодействию упругих шаров при ударе, сопровождающегося обменом скорости, которая вызывает разрушение среды в радиальном направлении к отраженной поверхности в виде конуса с вершиной в центре заряда.

Той же гипотезы придерживался в своих работах А.Н. Ханукаев. В анализе процесса разрушения он уделял большое внимание свойствам разрушаемой породы. В своих работах он разделил породы на три группы.

К первой группе относятся породы, разрушение которых происходит за счет запаса кинетической энергии, получаемой породой вследствие расширения продуктов детонации. К таким относятся: пески, глины, супеси и другие породы, акустическая жесткость которых не превышает 5×10 .

Ко второй группе относятся породы, разрушение которых происходит не только под действием продуктов детонации, но и под влиянием волны напряжений. К этой группе А.Н. Ханукаев относил породы с коэффициентом крепости f от 1 до 10 по шкале проф. М.М. Протоdjяконова.

Третья группа включает в себя породы с акустической жесткостью от 15×10 до 25×10 . Основную роль в разрушении таких пород играют волны напряжений.

В своих расчетах он связывает параметры волн напряжений с условиями взрывания. Способы расчетов основывает на теоретических зависимостях, которые описывают физическую сущность волновых процессов и позайствованы из работ К.П. Станюковича, Ф.А. Баума.

В работах Г.М. Крюкова механизм разрушения породы объясняется расширением продуктов детонации при взрыве. После выхода ударной волны

и образования радиальных трещин вследствие бокового распора сжатой среды возникают растягивающие напряжения, что приводит к появлению новых трещин, вызванных действием отраженной волны. Дважды вернувшись к источнику отражения, волна гаснет и уже не вызывает деформации среды. Откольные явления не вносят значительных разрушений.

Основные положения этого направления представлены в работах Г.П. Демидюка. Он считает, что после возникновения ударной волны давление газообразных продуктов детонации еще высокое, часть общей энергии остается в продуктах детонации и передается окружающей среде поршневым действием газов по мере их расширения. На границе заряда работа взрыва пропорциональна не полной энергии взрыва, а давлению детонации ВВ. В этот момент происходит переизмельчение и вытеснение породы, что сопровождается увеличением объема зарядной полости.

На определенном расстоянии от заряда показатели пределов прочности породы на раздавливание превышают напряжения сжатия. А распространяющаяся в породе волна деформаций влечет за собой радиальное смещение частиц породы и приводит к образованию тангенциальных растягивающих напряжений, которые превышают предел прочности породы на разрыв. Волны деформаций также становятся причиной появления радиальных трещин, распространяющихся в разных направлениях, образуя зону разрыва породы. Параметры радиальных трещин зависят от количества энергии, переданной ударной волной в породу. Впоследствии, при разгрузке породы, между радиальными трещинами могут появиться тангенциальные трещины кольцевого направления. При удалении заряда от свободной поверхности на большое расстояние зона действия взрыва будет ограничена зоной разрыва. Это обусловлено тем, что ударная волна значительно ослабевает и не может нарушить связи между частицами среды.

Однако при удалении заряда от свободной поверхности на расстояние, меньше критического, свободная боковая поверхность оказывает существенное влияние на дальнейшее протекание процесса разрушения среды за границей зоны разрыва, так как порода, расположенная у свободной поверхности, имеет возможности для смещения. Этому смещению подвергаются все наиболее удаленные от поверхности слои среды, под воздействием давления продуктов детонации происходит «вспучивание» массива. Этому сопутствует формирование в поверхностных слоях массива растягивающих напряжений и трещин радиального направления, вследствие чего происходит дробление массива.

Теория о разрушении породы «вспучивающим» действием взрыва основывается на том, что первичная сетка радиальных трещин, обусловленная прохождением ударной волны взрыва, подготавливает массив к разрушению. При этом предполагается длительное поддержание давления продуктов взрыва, использование его энергии, которая осталась в продуктах детонации после формирования ударной волны, переданной среде «поршневым» действием газов взрыва. Однако Г.П. Демидюк считал, что произведенные расчеты на основании теории отраженных волн не могут соответствовать физическому механизму разрушения горных пород.

Однако гипотеза вспучивающего (поршневого) действия взрыва этими авторами описывается лишь качественно, без аналитических и численных описаний.

В ИПКОН РАН по инициативе Д.М. Бронникова и под его научным руководством, а в последующем под научным руководством Казакова Н.Н. активно развивается теория многофазного и многозонного технологического дробления горных пород взрывом. Подробнее об этом направлении в следующих главах книги.

1.4. Компьютерные технологии в науке и практике горных работ

Эффективное решение задач, связанных с проектированием массовых взрывов в современных условиях рыночной экономики, должно строиться на использовании компьютерных технологий. Система моделирования объектов горной технологии, построенная на использовании трехмерной интерактивной графики, клиент-серверных технологий и при работе с локальными и удаленными базами данных, позволяет реализовать комплексный подход при решении геологических, маркшейдерских и технологических задач в едином информационном пространстве горного предприятия. Это повышает оперативность и точность проектных работ.

В мире существует большой рынок программных средств для горной промышленности, который начал формироваться более 40 лет назад и на сегодняшний день предлагает широкий спектр программных продуктов. Разработаны интегрированные пакеты для горнодобывающей отрасли, обеспечивающие решение задач на стадиях разведки месторождения, принятия решений по основным параметрам горных работ, проектирования открытых и подземных рудников, кратко-, средне- и долгосрочного планирования порядка отработки месторождения.

Австралийская компания Mine Planing Software разработала пакет программ, ориентированный на разведку и эксплуатацию пластовых месторождений. Пакет программ имеет модульную структуру.

Модуль PEKPOINT обеспечивает проектирование карьеров, введение и редактирование трехмерных объектов, загрузку данных маркшейдерской съемки, ввод данных геологического опробования и подсчет содержания полезного ископаемого.

Модуль DRIVESEC обеспечивает проектирование подземной разработки месторождений, включая размещение рудных тел, горных выработок, шпуров и скважин.

Модель GEOPLAN осуществляет подготовку чертежей, карт и планов, включая графическое представление маркшейдерских и геологических данных.

Широко известна во всем мире система DATAMINE, разработанная фирмой Mineral Industries Computing Limited. Наиболее часто эта система используется для сбора и анализа данных геологической разведки, моделирования месторождений, проектирования открытых и подземных рудников, планирования горных работ. Основой этой системы является ядро, вклю-

чающие инструменты для создания каркасных и блочных моделей, управления базой данных, построения графиков. Разработано большое число дополнительных модулей, расширяющих возможности системы. Из числа наиболее значительных модулей системы можно назвать:

- модуль проектирования открытых горных работ;
- модуль блочного моделирования залежей в трехмерном пространстве с дополнительным делением блоков на ячейки меньшего размера;
- модуль краткосрочного планирования открытых горных работ;
- модуль планирования подземных горных работ.

Разработанный фирмой Gemcom Services (Канада, Ванкувер) программный продукт Gemcom ориентирован на различные виды работ и потребности предприятий. Разработано несколько конфигураций системы.

Конфигурация системы Advanced Exploration Edition представляет собой пакет программ для комплексного управления данными, их анализа и трехмерного геологического моделирования. Пакет позволяет строить детальные трехмерные модели твердых тел и поверхностей, определять их пространственные и качественные характеристики, визуализировать рудные тела, оценивать их строение и запасы. Обеспечивается работа в многопользовательском режиме с одновременным доступом к общей базе данных. Имеется связь со многими приложениями WINDOWS.

В состав Gemcom включены прикладные модули, используемые при ведении горных работ:

- Pit/Ramp design – инструмент моделирования поверхности карьера;
- Blasthole Logout – инструмент размещения взрывных скважин при открытом способе разработки;
- Ring Drilling – инструмент моделирования размещения взрывных скважин при подземном способе ведения горных работ.

Кроме упомянутых выше, на мировом рынке присутствуют многие другие разработчики, среди которых наиболее известны фирмы Maptek, Exploration Computer Services, Techbase International, Surpac Software International Pty Ltd, Mincom Limited.

Все программные продукты имеют в своем составе средства поддержки базы данных. Рудные тела моделируют на основе каркасного моделирования. Показатели рассчитываются с использованием блочных моделей. Программные продукты совместимы с наиболее распространенными системами GIS, CAD, СУБД и имеют средства экспорта/импорта данных.

Практически все компании имеют свои собственные центры обучения пользователей либо организуют обучение на местах. Стоимость обучения достаточно велика и может составлять до 850 US в день для десятидневного курса.

Из числа российских разработок, обеспечивающих решение отдельных геологических, маркшейдерских и технологических задач, можно отметить:

- систему «Геомарк», предназначенную для решения широкого круга задач применительно к открытой системе разработки;
- систему автоматизированного проектирования БВР для открытых горных работ, созданную в Институте горного дела УрО РАН. В качестве платформы для реализации функций системы использован AutoCAD;

– программный комплекс проектирования БВР для подземного рудника «ПК БВР (п)». В основу комплекса положена система AutoCAD. «ПК БВР (п)» позволяет строить планы, разрезы, производить расчет скважин и пашпортов БВР, определять объемы обрабатываемых блоков, формировать базу данных.

Также необходимо отметить программный комплекс Blast maker 6.0, разработанный в ИКИТ КРСУ Киргизии, который осуществляет проектирование БВР и позволяет совместно с разработанным комплектом оборудования составить цифровую трехмерную карту поверхности карьера; оценить устойчивость горных выработок; измерить энергоемкость бурения; смоделировать конструкцию заряда; оценить качество дробления. Возможности комплекса позволяют ему конкурировать с аналогичными программами западного производства.

Таким образом, можно констатировать наличие обширного рынка программного обеспечения, направленного на решение задач, связанных с горным производством [3, 60, 82, 84–87, 99, 107, 111, 123]. Программы различны по объему, функциям, стоимости. Из приведенного анализа также следует, что на сегодняшний день не существует российского горного интегрированного пакета, способного решать весь комплекс задач по геолого-маркшейдерскому и горно-технологическому обеспечению открытых и подземных горных работ. Это обстоятельство обусловлено разными причинами, главной из которых является слабое финансирование работ по созданию программных продуктов такого класса.

Создавший вакуум активно пытаются заполнить зарубежные фирмы, такие как Datamine (Англия), Techbase(США), Vulcan (Австралия), Geostat и Gemcom (Канада). Упомянутые системы обладают широкими возможностями, главным образом для предпроектной оценки месторождений и проектирования рудников. И несмотря на то, что в составе системы имеется необходимый набор инструментов для компьютерного обеспечения геологических, маркшейдерских и горных работ, использование этих инструментов затруднительно из-за высоких требований к квалификации специалистов и отличия российских и зарубежных стандартов.

Характеризуя импортные системы в целом, можно сказать, что с точки зрения российского потребителя их общим недостатком является высокая цена (до 80 000 US), сложность в эксплуатации и низкая адаптируемость к стандартам отечественных горных предприятий.

Опыт горнорудных предприятий, закупивших зарубежные системы (ПО «Якуталмаз», «Костамукшский» ГОК – Datamine, «Михайловский» ГОК – Techlase) свидетельствует о том, что за несколько лет они так и не были освоены в полной мере.

В наибольшей степени задачам оперативного проектирования массовых взрывов на карьере, а не только определению рациональных параметров, отвечает компьютерная программа Ustup 10, разработанная С.Д. Викторовым, Н.Н. Казаковым, И.Н. Лапиковым в ИПКОН РАН [67]. Внедрение этой программы на конкретном карьере связано с ее адаптацией к местным условиям.

Горные технологии связаны с разведкой, вскрытием и разработкой объемных рудных тел, залегающих в массиве горных пород. Успешная разра-

ботка месторождений не мыслится без знания свойств горных пород, без формирования объемных горных выработок в массиве. Традиционными являются графические модели массива, рудных тел, горных выработок и технологий.

Широкое использование компьютеров позволяет разрабатывать объемные цифровые модели рудных тел, горных выработок и горных технологий с учетом целенаправленного их использования. Объемные цифровые модели — это программные системы, которые позволяют вносить в компьютер различные свойства горных пород и особенности горных технологий с координатной привязкой, хранить их в памяти компьютера и использовать эту информацию при решении различных технологических задач.

Структура объемных цифровых моделей зависит от сложности строения массива, масштаба горных работ и цели использования цифрового материала модели. Различное целевое использование объемных цифровых моделей горных объектов и технологий обуславливает большое разнообразие принципов их построения.

Для расчета параметров расположения скважин в массиве горных пород необходимо знать свойства горного массива. Эти свойства наряду с характеристиками зарядов ВВ служат исходным материалом для определения геометрии расположения скважин, конструкции зарядов и порядка их инициирования.

Свойства горного массива включают в себя некоторые наборы цифровых данных их механических характеристик, данные о трещиноватости и обводненности. В конечном итоге мы получаем таблицу данных с вариантами свойств горного массива в рассматриваемом объеме.

В создаваемой модели расчетов весь массив горных пород, в котором располагаются скважины, разбивается на ячейки кубической формы. Каждая ячейка содержит номер, отвечающий соответствующему набору свойств массива в Таблице свойств. Номера ячеек содержатся в трехмерном массиве целых чисел, отражающем свойства горных пород.

Этот массив может быть весьма большим и зависит от величины объема рассматриваемого массива и от размеров ячеек, на которые мы разбиваем массив. Если взять размер ячейки 1 м, длину горного массива 400 м, ширину 200 м, высоту 100 м и принять, что вариантов свойств горного массива не более 256, то мы получим массив целых чисел размером 8 мегабайт. С массивом такого размера современные персональные компьютеры работают достаточно быстро, и соответствующие программы расчетов позволяют оперативно получать на экране любые геометрические проекции такого массива (общий вид, план, сечения по любой оси).

Для визуального представления можно поставить каждому номеру свойств горной породы номер цвета в таблице цветов. Таким образом, в графических объектах мы имеем цветные изображения структуры массива.

Создаваемая программа предназначена для автоматического расчета расположения скважин в карьере. Геометрия уступов на карьере будет отображаться в программе двумя способами: заданием геометрии бровок уступов и численными значениями номеров в ячейках, на которые разбит весь рассматриваемый массив. Ячейки, в которых ничего нет, содержат нуль.

Линии границ уступов строятся заданием точек, через которые проходят эти линии. Линии границ уступов строятся по заданным точкам методом наименьших квадратов. Уравнение линии задается в виде полинома, степень которого выбирается автоматически.

Структура горного массива (номера в ячейках) может задаваться различными способами: в виде прямоугольников различного размера, слоев с заданным наклоном и толщиной слоя на различной глубине, отдельно в каждой ячейке.

Все геометрические объекты массива могут быть описаны с использованием различных систем координат. Все карьерное поле разбито на ячейки с номерами, соответствующими номерам в таблице свойств массива:

- связанными с взрываемым блоком;
- связанными со скважинами;
- связанными с экраном монитора компьютера;
- связанными с принтером.

Составлены алгоритмы пересчета координат геометрических объектов из одной системы координат в другие.

Информация о структуре всего карьера может быть очень велика и хранится на жестком диске компьютера. Информация о взрываемом блоке выбирается из общей информации о карьере и хранится в процессе расчетов в оперативной памяти компьютера.

Программа, написанная на языке Delphi, позволяет задавать свойства горного массива, геометрию уступов и записывать эту информацию в виде соответствующих файлов на жестком диске компьютера.

Визуально можно показать на экране монитора вид карьера или отдельной его части под любым углом зрения и в любом масштабе. Можно выбрать из изображения карьера часть, где будет расположен взрываемый блок массива, и рассматривать в дальнейшем изображение блока. На плане расположения уступов можно выбрать точку, к которой будут привязаны скважины, и выбрать соответствующую систему координат, одна ось которой будет параллельна бровке уступа, а другая – перпендикулярна. В дальнейшем расположение скважин будет рассчитываться именно в этой системе координат.

При анализе программных продуктов, ориентированных на решение задач горной промышленности, были использованы публикации, а также материалы, представленные фирмами-разработчиками программного обеспечения в рекламных проспектах и в глобальной информационной сети Internet.

1.5. Свойства горных пород и массивов

Изучение процесса технологического дробления горных пород взрывом немыслимо без знания их физико-механических и технологических свойств. Определение и описание физико-механических свойств горных пород является большой самостоятельной проблемой, и часто взрыв используется как эффективное средство исследования свойств материалов, слагающих земную кору.

Характер развития взрыва не может быть полностью определен одной прочностной характеристикой породы или даже набором различных проч-

ностных характеристик. На его развитие оказывают совокупное влияние разнообразные физико-механические и технологические свойства горного массива.

Исследованиям свойств горных пород как объектов разрушения и как исходных факторов при изучении сложных вопросов механики горных пород придается большое значение. Исследования свойств горных пород проводятся в лабораториях, непосредственно в шахтах и в карьерных условиях. Широкое распространение получили геофизические методы определения прочностных и упругих характеристик горных пород.

При добыче полезных ископаемых горные породы подвергаются различным видам разрушения. На их разрушение затрачивается огромное количество энергии, величина которой пропорциональна сопротивляемости горных пород разрушению.

Само понятие разрушения горных пород не однозначно. Разрушением горных пород называют нарушение целостности массива, сползание и обрушение горных конструкций. Разрушением называют развитие в массиве одиночных трещин, развитие системы техногенных трещин.

Разрушением горных пород называют их дробление взрывом, дробилками, их измельчение в мельницах обогащательных фабрик.

Горные породы разрушаются под буровым инструментом буровых станков и перфораторов, под пиками бутобоев.

Горная порода подвергается разрушению при любых способах образования выемок и отверстий в горном массиве.

Сопротивляемость горных пород разрушению при разных видах разрушения существенно разная. Сопротивляемость разрушению одной и той же породы при разных технических приемах разрушения разная. Даже при простых видах разрушения в лабораторных условиях предел прочности породы на сжатие много больше предела прочности породы на сдвиг и более чем в десять раз больше предела прочности породы на растяжение.

Сопротивляемость горных пород разрушению ударом существенно отличается от сопротивляемости разрушению резанием или сколом.

Сопротивляемость горных пород взрывному разрушению является лишь некоторой областью более широкой проблемы сопротивляемости горных пород разрушению. Но в свою очередь и сопротивляемость горных пород взрывному разрушению представляет собой многообразную и сложную проблему.

Сопротивляемость горных пород разрушению при взрыве накладного заряда, при взрыве заглубленного заряда и при взрыве заряда в «безграничной» среде существенно различна. Она существенно различна при ведении взрывных работ в очистных и в проходческих забоях.

В работе рассматривается сопротивляемость горных пород разрушению взрывом скважинных зарядов на боковую обнаженную поверхность в карьерах. Несмотря на узкую выделенную область изучения сопротивляемости горных пород взрывному разрушению, и в этих границах проблема остается сложной и многообразной.

Участок горного массива любого разрабатываемого месторождения полезных ископаемых сложен совокупностью разных сортов руд и горных пород. Свойства горных пород изменяются в широком диапазоне и по ми-

нералогическому составу, и по структуре рудных тел. Сопротивляемость взрывному разрушению каждого рудного тела существенно отличается от сопротивляемости взрывному разрушению других рудных тел. В пределах обрабатываемого массива, как правило, присутствуют легкоразрушаемые рудные тела, более трудно разрушаемые рудные тела и весьма трудно разрушаемые рудные тела. Поэтому при взрывном дроблении таких рудных тел применяют разные параметры буровзрывных работ.

В качестве критерия сопротивляемости горных пород взрывному разрушению Г.П. Демидюк предложил принимать энергоемкость разрушения. Он считает, что при одном и том же характере взрывного разрушения удельная энергоемкость разрушения зависит от свойств породы.

Свойства горных пород, влияющие на энергоемкость взрывного разрушения, он разделил на несколько групп:

- прочностные свойства породы, обусловленные главным образом силой сцепления слагающих ее частиц и характеризующиеся сопротивлением сжатию, растяжению, сдвигу;

- сжимаемость и пористость, увеличивающие потери энергии взрыва на пластические деформации;

- вязкость, повышающая энергоемкость разрушения;

- плотность, определяющая энергозатраты на преодоление инерционных сил;

- зернистость, слоистость, сланцеватость и кливажность, характеризующие количество слабых мест и микродефектов в породе;

- трещиноватость, двояко влияющая на энергоемкость разрушения. Поверхности трещин уменьшают объем работы взрыва по дроблению пород, а полости трещин, сообщаемые со свободной поверхностью, способствуют утечке газов взрыва и уменьшают переход энергии взрыва в механическую работу. Любые трещины способствуют затуханию энергии взрывной волны.

В начальный период развития теории проектирования взрыва основным критерием разрушения принимали объемную массу породы, позднее – сопротивление породы сжатию и растяжению, затем исключительно большое, по существу, определяющее значение придавалось трещиноватости разрушаемого взрывом массива горных пород, точнее, блочности, размеру отдельностей, являющихся следствием трещиноватости, вне зависимости от ширины трещин и свойств заполняющего их материала.

С использованием классификации горных пород по трещиноватости разработана шкала удельного расхода ВВ, дифференцированная по заданной крупности дробления [5]. Согласно этой шкале при одной и той же степени дробления затраты энергии на него в породе с постоянной трещиноватостью изменяются в 1,5 раза в зависимости от прочностных свойств, а в породе постоянной прочности — в 3,5 раза в зависимости от блочности.

За основу шкалы энергоемкости разрушения Г.П. Демидюк предложил принять форму работы взрыва, характеризующую более или менее точно измеримыми параметрами результата взрыва. Такой формой работы является образование на горизонтальной поверхности воронки нормального выброса.

Переход от удельной энергоемкости разрушения при воронке нормального выброса к другим условиям разрушения осуществляется умножением

ем табличного значения энергоемкости разрушения на численное значение функции показателя действия взрыва.

Удельный, объемный вес или плотность породы включаются во все расчеты, где необходимо знать массу породы. Эти показатели входят в уравнения законов сохранения массы, импульса и энергии. Характер передачи энергии от продуктов детонации в породу, кинетическая энергия возмущенной массы, параметры напряжения не могут быть определены без учета плотности породы. Наиболее употребляемой прочностной характеристикой горных пород является предел прочности на сжатие. На характер разрушения горных пород взрывом кроме предела прочности породы на сжатие оказывают влияние предел прочности на растяжение и предел прочности на срез.

При суждении о прочности пород в условиях естественного залегания следует учитывать существование зон и поверхностей ослабления, вызывающих снижение прочности. Совместным влиянием этих разнонаправленных факторов и обуславливается прочность горных пород в массиве.

Горные породы характеризуются следующими упругими постоянными: модулем упругости (модуль Юнга), модулем сдвига, модулем всестороннего сжатия и коэффициентом Пуассона. Поскольку упругие свойства связаны между собой, то для характеристики пород достаточно знать только два из них. Чаще всего для этого используют модуль Юнга и коэффициент Пуассона.

В практике горного дела существуют показатели разрушаемости горных пород под воздействием тех или иных процессов. Наиболее общий показатель разрушаемости горных пород, не привязанный к определенному процессу – это дробимость пород.

Взрываемость характеризует степень сопротивляемости пород взрыву и количественно выражается расходом взрывчатого вещества (стандартно-го) на дробление одного куб. м. горной породы в массиве.

Скорости распространения продольной и поперечной упругих волн являются важными динамическими характеристиками горных пород, оказывающими существенное влияние на распределение энергии в зоне возмущения и на разрушение породы. Особенно важно знать скорости распространения упругих волн в массиве горной породы. Определение скорости является почти единственным надежным и хорошо известным методом определения свойств горных пород в массиве. По скорости распространения упругих волн можно судить о строении и структуре горной породы, о величине напряжений в ней при сжатии и об ее упругих свойствах.

В горной практике часто используют кроме физико-механических свойств пород технологические свойства горных пород в массиве. Важнейшими технологическими свойствами горных массивов являются: классификация крепости горных пород по проф. М.М. Протоdjаконову; классификации горных пород по трещиноватости; классификации горных пород по взрываемости.

Существует множество систем классификации трещиноватости горных пород и методов ее измерения. Трещиноватость оказывает сложное влияние на характер дробления породы взрывом. При густой и хорошо развитой сетке трещин она существенно уменьшает прочность массива и способствует

улучшению дробления его взрывом. Крупноблочные массивы, сложенные из крепких горных пород, ведут себя иначе. В этом случае трещины уменьшают прочность массива и способствуют увеличению объемов отбойки руды зарядом ВВ, но обеспечить мелкое и равномерное дробление руды в этих условиях достаточно трудно.

Сопrotивляемость горных пород разрушению при ведении буровзрывных работ в карьерах принято оценивать двумя главными технологическими параметрами: взрываемостью горных пород и буримостью горных пород. В основе этих технологических параметров лежит энергия разрушения горных пород взрывом и энергия разрушения горных пород буровым инструментом. Эти технологические параметры не являются взаимозаменяемыми. Нельзя определить численное значение одного из этих параметров по численному значению другого параметра. Хотя такие попытки иногда предпринимаются. Если бы такой переход был возможен, не было бы необходимости вводить два технологических параметра разрушения горных пород: буримость и взрываемость.

Технологический параметр взрываемость горных пород прочно вошел в теорию и практику буровзрывных работ. Изучением взрываемости горных пород и составлением классификации горных пород по взрываемости занимались многие известные ученые.

В работах академика Ржевского В.В. критерием взрываемости горных пород принята величина эталонного удельного расхода ВВ. При ее определении принято допущение, что энергия ВВ затрачивается на создание новых поверхностей с преодолением пределов прочности породы на сжатие, сдвиг и растяжение. Расход энергии ВВ на дробление породы пропорционален площади вновь образованных поверхностей. Затраты энергии ВВ на преодоление силы тяжести пропорциональны плотности породы. Определение эталонного удельного расхода ВВ проводится в стандартных условиях взрывания.

Ржевским В.В. предложена классификация горных пород по взрываемости (таблица 1.5.1), разработанная по критерию эталонного удельного расхода ВВ. В классификации породы разделены на пять классов, каждый из которых включает пять категорий. При переходе к проектному удельному расходу ВВ вводятся поправочные коэффициенты на тип ВВ, степень дробления, трещиноватость породного массива, степень сосредоточенности заряда ВВ, высоту уступа, число свободных поверхностей.

Таблица 1.5.1.

Характеристика взрываемости горных пород (по Ржевскому В.В.)

Класс	Характеристика взрываемости массивов	Категория	Эталонный расход ВВ
I	Легковзрываемые	1+5	Менее 200 г/м ³
II	Средневзрываемые	6+10	200+400 г/м ³
III	Трудновзрываемые	11+15	400+600 г/м ³
IV	Весьма трудновзрываемые	16+20	600+800 г/м ³
V	Исключительно трудновзрываемые	21+25	Более 800 г/м ³

Переходные коэффициенты от эталонного к проектному удельному расходу ВВ колеблются в широких пределах и их обоснование требует проведения трудноосуществимых экспериментов.

В предложенной классификации классы взрываемости имеют номер, название и диапазон изменения эталонного удельного расхода ВВ. Категории взрываемости индивидуально не характеризуются.

Рубцов В.К. предложил свою классификацию горных пород по взрываемости. В качестве критерия в классификации принят расчетный удельный расход ВВ (таблица 1.5.2).

В классификации выделено пять категорий взрываемости. Категории взрываемости по Рубцову В.К. соответствуют классам взрываемости по Ржевскому В.В., но с другими диапазонами изменения расчетного удельного расхода ВВ. В классификацию включена дополнительная информация о трещиноватости горных пород, об их крепости и объемном весе.

Таблица 1.5.2.

Классификация горных пород по взрываемости (по Рубцову В.К.)

Категория взрываемости	Степень взрываемости	Расч. удельный расход ВВ, кг/м ³	Категория трещиноватости	Коэф. крепости	Объемный вес, т/м ³
I	Легковзрываемые	До 0,35	I	5-8	2,5-2,6
II	Средневзрываемые	0,35-0,60	II-III	3-6	2,5-2,6
III	Трудновзрываемые	0,60-0,90	III-IV	6-7	2,7-2,6
IV	Весьма трудновзрываемые	0,90-1,2	IV	10-12	3,5
V	Исключительно трудновзрываемые	Свыше 1,2	V	10-12	2,8-3,2

Но эта информация относится только к группе месторождений и не распространяется на все месторождения полезных ископаемых. Расчетный удельный расход ВВ по категориям Рубцова В.К. существенно отличается от эталонного удельного расхода ВВ по классам Ржевского В.В.

Кутузов Б.Н. предложил классификацию горных пород по взрываемости с учетом технологических свойств пород, которая широко применяется на карьерах черной и цветной металлургии. Классификация разработана для стандартных условий: высота уступа 12–15 м, угол откоса 65–70°, диаметр скважин 243–269 мм, ВВ – граммонит 79/21, схема взрывания короткозамедленная многорядная, величина перебура 2 м, величина забойки 6 м. Рассматриваемая классификация охватывает большое многообразие горных пород, встречающихся на разных карьерах, и учитывает степень влияния на категорию взрываемости различных факторов.

Нельзя не упомянуть широко распространенную классификацию горных пород по взрываемости Межведомственной комиссии по взрывному делу. Эта классификация содержит пять категорий горных пород по взрываемости.

Разнообразие классификаций горных пород объясняется наличием разнообразия горных пород на каждом конкретном горном предприятии.

1.6. Свойства взрывчатых веществ и промышленных зарядов

Буровзрывные работы на горных предприятиях ведутся с применением взрывчатых веществ. После размещения взрывчатого вещества в скважине оно становится промышленным зарядом взрывчатого вещества. Свойства взрывчатых веществ, хранящихся на складах горных предприятий, не всегда соответствуют свойствам промышленных зарядов, находящихся в скважине в условиях, существенно отличающихся от условий складских помещений.

Одним из основных свойств взрывчатого вещества является теплота взрыва. Ее цифровое значение определено техническими условиями на изготовление конкретного взрывчатого вещества. Это свойство используется при проектировании и выполнении почти всех взрывных работ.

Вторым важнейшим свойством взрывчатого вещества является скорость детонации. Цифровое значение скорости детонации тоже определяется техническими условиями. Но ее значение периодически определяется работниками горных предприятий, взрывниками. К сожалению, методики для проведения проверочных испытаний часто используются те, которые разработаны для нужд оборонной промышленности.

Важным свойством является плотность взрывчатого вещества, или плотность заряжения, что не одно и то же. Без этого свойства невозможно определить массу промышленного заряда.

Большой объем взрывчатых веществ для горной промышленности изготавливают из аммиачной селитры, смешанной с дизельным топливом или иными нефтепродуктами. При применении таких ВВ возникают два важных обстоятельства. Из-за низкой удерживающей способности гранул аммиачной селитры дизельное топливо стекает в нижнюю часть заряда. Заряд расслаивается, и состав его по высоте скважины становится нестабильным и неоптимальным. Аммиачная селитра растворяется в воде обводненных скважин. Тяжелый раствор опускается в нижнюю часть заряда. Уменьшается высота колонки заряда в скважине.

Расслоение и растворение компонентов взрывчатого вещества обуславливает нестабильность заряда во времени и в пространстве. Оно приводит к ухудшению качества дробления породы взрывом.

Главным достижением в разработке и применении стабильных, водостойчивых промышленных взрывчатых веществ является создание и применение эмульсионных взрывчатых веществ. Научно-исследовательские работы по изготовлению взрывчатых веществ непосредственно на горных предприятиях, допускающих механизацию взрывных работ, начались и проводились в нашей стране, под руководством первого директора ИПКОН РАН академика Мельникова Н.В. Были созданы и нашли применение на горных предприятиях игданиты, ифзаниты, первые зарядные машины, зарядчики разных конструкций. К решению этой проблемы были привлечены многие научно-исследовательские и конструкторские институты, машиностроительные заводы и горные предприятия [28, 29, 30, 31, 33, 61, 62, 64, 81, 95, 99, 100, 112, 113, 140, 143].

Достигнут огромный прогресс в механизации взрывных работ при разработке месторождений открытым способом. Основной объем взрывных работ в крупных карьерах выполняется механизированным способом при полном отсутствии ручного труда. Предприятия сами изготавливают основной объем эмульсионных взрывчатых веществ с использованием своих механизированных комплексов. Смеси компонентов становятся эмульсионными взрывчатыми веществами только в скважинах. Существенно сократилось число технологических операций, в которых производятся какие-либо операции со взрывчатыми веществами.

Эти горные предприятия в основном избавились от опасной и дорогой перевозки разрядных грузов по железным дорогам страны и по внутренним дорогам своего предприятия. На таких предприятиях существенно, в разы, сократились расходы на ведение взрывных работ.

Значительный вклад в разработку и внедрение ЭВВ на территории России внесли ученые: Е.В. Колганов; В.А. Соснин; Б.Н. Кукиб; В.Б. Иоффе; Е.И. Жученко и др.

Современный этап развития взрывного дела характеризуется заменой дорогостоящих и опасных в обращении тротилсодержащих мелкодисперсных взрывчатых веществ заводского производства на ВВ местного изготовления: гранулированные, водосодержащие, эмульсионные и суспензионные смеси типа «окислитель-горючее» на основе нитрата аммония. Это связано еще и с тем, что тротил вызывает в организме человека профессиональное заболевание глаз.

Глава 2. Используемые элементы и способы проектирования буровзрывных работ в карьерах

2.1. Типовой проект предприятия по буровзрывным работам

На каждом крупном горном предприятии по открытой разработке месторождений полезных ископаемых разрабатывается типовой проект буровзрывных работ. Проект разрабатывается силами геологической, маркшейдерской служб рудоуправления и комбината под руководством и с активным участием технических отделов рудоуправления и комбината. В разработке проекта принимают участие все службы буровзрывных работ. Проект утверждается главным инженером комбината.

Проект представляет собой рукописную книгу в твердом переплете, объемом до 150–200 страниц. Этот долгосрочно действующий проектный документ перерабатывается через несколько лет после его разработки, если в этом возникает острая необходимость в связи с изменившимися условиями ведения буровзрывных работ. Дополнения в него периодически вносятся в связи с совершенствованием технологии буровзрывных работ в карьере и в других подразделениях комбината.

В типовом проекте подробно описываются все применяемые на комбинате взрывчатые материалы и средства взрывания, все применяемые конструкции зарядов, подробно описываются все способы бурения скважин и шпуров.

Описываются подробно все способы изготовления компонентов взрывчатых веществ и изготовления смесевых взрывчатых веществ на данном горном предприятии.

Подробно описываются все применяемые на комбинате методы проектирования буровзрывных работ с учетом возможной их многовариантности.

Подробно изложены все средства и способы дробления негабарита.

Изложены условия ежедневного допуска взрывников к работе с учетом строгого соблюдения всех мер безопасности при обращении со взрывчатыми материалами и средствами взрывания.

Подробно изложены формы и способы оповещения в установленное время всех смежников, о месте и сроках проведения массовых взрывов в карьере.

В типовой проект внесены все типы руд и горных пород, встречающиеся в карьере. Внесены все известные свойства руд и пород.

В типовой проект включена таблица классификации крепости руд и пород, в таблицу внесены все встречающиеся в карьере руды и горные породы.

В типовой проект включена таблица классификации руд и пород карьера по трещиноватости. Иногда в эту таблицу вносятся по соответствующим категориям трещиноватости все руды и породы карьера.

В типовой проект включена разработанная для местных условий таблица классификации горных пород по категориям взрываемости.

В типовой проект включены многочисленные варианты возможных к применению в конкретных условиях карьера параметров сетки скважин и иных параметров буровзрывных работ.

Типовой проект снабжен многочисленными рисунками, чертежами, схемами, таблицами.

В типовой проект включены утвержденные Ростехнадзором методики расчета радиусов опасных зон.

Строго говоря, в типовом проекте есть все, что можно встретить при проектировании и ведении буровзрывных работ в этом карьере. Но типовой проект не является документом, по которому можно подготавливать и вести какие-нибудь конкретные буровзрывные работы.

2.2. Проектирование буровзрывных работ на блоке в карьерах

Взрывные работы на рабочем блоке карьера или работы по подготовке и проведению массовых взрывов одновременно на группе рабочих блоков карьера могут выполняться только по оперативным проектам массовых взрывов в карьере.

Оперативное проектирование массовых взрывов в карьерах – это не столько определение параметров буровзрывных работ на блоках, хотя и это в какой-то мере делается, сколько подготовка многочисленной проектной документации на группу рабочих блоков.

В систему квартального и месячного планирования направления развития горных работ в карьере включена перспектива подготовки рабочих блоков и проведения массовых взрывов.

На основе перспективного планирования развития горных работ, на основе погоризонтных планов карьера, оперативной информации геологической, маркшейдерской и буровзрывной служб определяются конкретные блоки карьера, включаемые в перспективные планы оперативного проектирования массовых взрывов.

Оперативный проект на каждый блок включает в себя около 10 проектных документов. За один массовый взрыв на карьере взрывают 10 и более блоков одновременно. В оперативный проект включают несколько общекарьерных проектных документов. В проект включают информативные документы, распоряжения, документы, регламентирующие ответственность работников и др. По одному экземпляру каждого проектного документа включают в общую скрепленную папку, которая и является оперативным проектом на массовый взрыв. В каждом оперативном проекте на массовый взрыв содержится от 150 до 200 проектных документов.

Оперативный проект на каждый массовый взрыв разрабатывается, комплектуется и представляется на утверждение проектной группой буровзрывного комплекса. Утверждается оперативный проект на каждый массовый взрыв главным инженером комбината.

Подготовка оперативных проектов ведется непрерывно. В этой работе участвует много специалистов и подразделений рудоуправления и комбината. К этой работе подключен и сервер комбината.

Предпринимались повсеместно попытки разрабатывать или использовать чужие компьютерные технологии разного качества при оперативном проектировании буровзрывных работ в карьерах. Частично, в эскизных ва-

риантах, компьютерные технологии используются в оперативном проектировании буровзрывных работ в карьерах.

В ИПКОН РАН под руководством профессора Викторова С.Д. разработана компьютерная программа «ОКП БВР» для оперативного проектирования буровзрывных работ в карьерах. Фактически это скомпонованный в единую программу комплекс программ.

Программа «ОКП БВР» предусматривает использование только электронной информации, содержащейся на сервере комбината. Серверная информация о блоках является достаточной для выполнения всех операций по оперативному проектированию взрывных работ на блоке.

Кроме того, программа «ОКП БВР» предусматривает возможность многоэтапного проектирования взрывных работ на блоке. Серверная информация на блоке пополняется непрерывно. Если возникает ситуация, когда буровые работы на блоке еще не завершены, а зарядание скважин вынуждены начинать (такая ситуация возникает постоянно), можно составить предварительный проект по состоянию на конкретное число и вести зарядные работы по этому предварительному проекту.

В формируемый по компьютерной программе «ОКП БВР» пакет проектных документов по блоку входят следующие проектные документы:

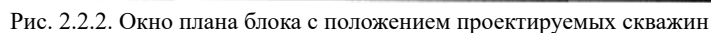
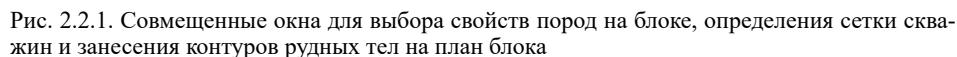
1. Сведение о горных породах;
2. Проект расположения скважин;
3. Таблица параметров проектного положения скважин на блоке;
4. План фактического расположения обуренных скважин на блоке;
5. Таблица корректировочного расчета зарядов;
6. Разрезы;
7. Схема коммутации взрывной сети;
8. Конструкция скважинных зарядов;
9. Расчет радиусов опасных зон блока;
10. Совмещенная схема проектного и фактического положения скважин.

Разработка проектных документов для блока начинается с определения свойств горных пород на блоке, занесения контуров рудных тел на план блока, определения сетки скважин.

На рис. 2.2.1 представлены, с частичным перекрытием, четыре совмещенных компьютерных окна, с помощью которых выполняется эта работа. Правое верхнее окно — это многофункциональное главное окно программы. Левое верхнее окно — это список видов горных пород на блоке.

В правом нижнем окне по названию горной породы, типу ВВ, размеру кондиционного куска и диаметру скважины определяется категория взрываемости породы и сетка скважин. В левое нижнее окно (план блока) заносятся контуры рудных тел. По этим материалам формируется проектный документ «Сведения о горных породах».

На плане блока (рис. 2.2.2) представлены: положение последнего ряда ранее взорванных скважин; верхняя бровка уступа; контур обуриваемой площадки (пунктирная линия); положение проектируемых скважин.



По этим материалам с помощью панели управления, расположенной под планом блока, формируются проектные документы:

1. Проект расположения скважин;
2. Таблица параметров «Таблица параметров проектного положения скважин на блоке».

В проектных документах «Таблица параметров проектного положения скважин на блоке» и «Таблица корректировочного расчета зарядов», сформированных программой «ОКП БВР», указываются координаты положения на плане проектируемых и фактически пробуренных скважин.

4. План фактического расположения скважин на блоке;
5. Таблица корректировочного расчета зарядов.

На рис. 2.2.4 представлены фрагменты окон совмещенного положения проектных и пробуренных скважин в разных масштабах. Масштаб выбирается проектировщиком с целью достижения большей наглядности. С помощью этих окон и панели, расположенной под ними, формируется проектный документ.

На рис. 2.2.3 представлены совмещенные фрагменты окон извлечения из сервера положения пробуренных скважин. С помощью этих окон и панели совмещаются схема проектного и фактического положения скважин.

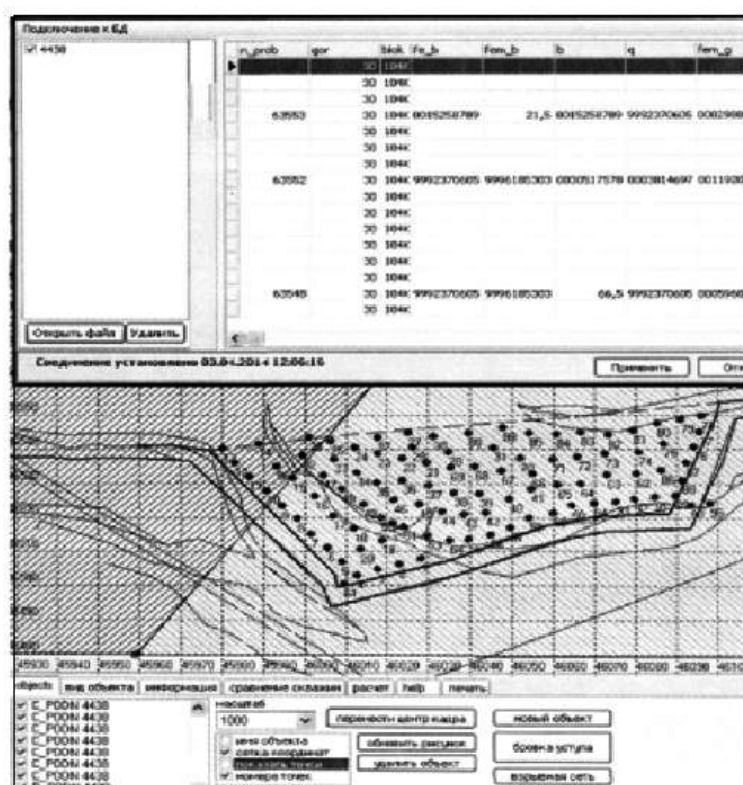


Рис. 2.2.3. Совмещенные фрагменты окон извлечения из сервера положения пробуренных скважин

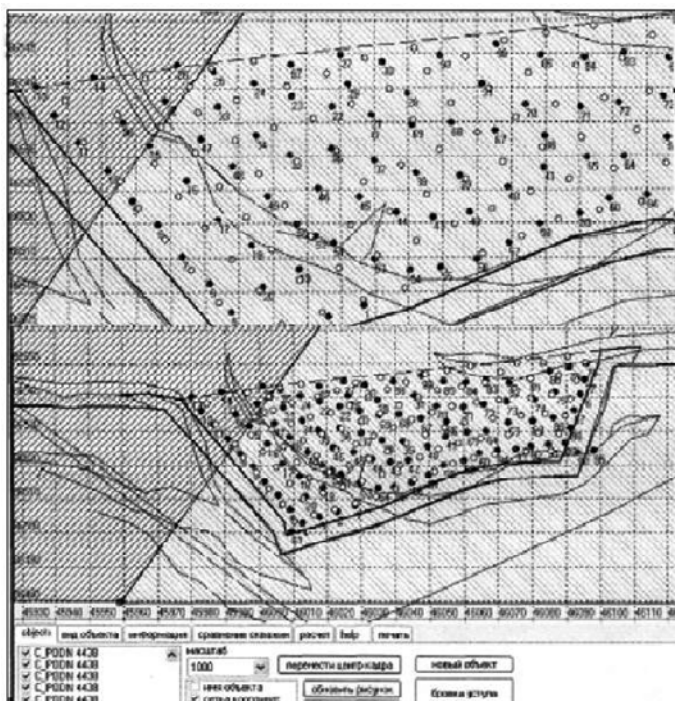


Рис. 2.2.4. Фрагменты окон совмещенного положения проектных и пробуренных скважин

Небрежное обуривание блока является одной из основных причин плохого качества дробления горной массы взрывом.

Установка бурового станка на проектную точку связана с его маневрированием, с потерей времени и особенно неприятна для малоопытных машинистов буровых станков. При существующем методе оперативного проектирования взрывных работ практически невозможно по плану расположения скважин определить места и размеры сделанных отклонений реальных скважин от точек их проектного заложения.

Исправить результаты небрежного бурения скважин на уже обурированном блоке невозможно. Но если эти факты не выявлять и не принимать меры воспитательного, экономического или административного порядка, такие факты будут повторяться и множиться.

Разработанный усовершенствованный метод оперативного проектирования взрывных работ предусматривает построение совмещенного плана фактического положения пробуренных скважин и их проектного положения. Фактически пробуренные скважины и проектные скважины на совмещенном плане наносятся разным цветом.

На рис. 2.2.4 представлен совмещенный план проектных и пробуренных скважин на демонстрационном блоке № 104. Проектные скважины залиты черным цветом, и рядом с ними проставлены номера скважин. Фактически пробуренные скважины нанесены кружочками. Видно, что при бурении скважин проект на бурение не всегда соблюдался.

Для детального анализа качества выполненных буровых работ план блока можно представить в любом другом масштабе. На рис. 2.2.4 представлен фрагмент плана в масштабе 1:300.

Совмещенный план предоставляет хорошую возможность визуального контроля качества обустройства блока, к сожалению, уже после его обустройства.

2.3. Эмпирические связи между условиями взрывания и результатами взрывов

Из-за недостаточной изученности многочисленных физических процессов в технологии дробления горных пород взрывом в проектировании и практике использования этой технологии широко используются эмпирические связи между условиями взрывания и какими-нибудь конечными результатами взрыва.

В основе проектных методик, как правило, используется очень упрощенная схема. По геологическим, маркшейдерским и технологическим условиям выбирается расчетный удельный расход взрывчатого вещества для конкретного места ведения взрывных работ. Этот расчетный удельный расход ВВ отождествляется с категорией взрываемости конкретной горной породы. Часто расчетный удельный расход не рассчитывается и не определяется каким-либо способом, а просто выбирается по названию породы из таблицы классификации горных пород по взрываемости для этого карьера.

В применяемой практике проектирования параметров буровзрывных работ существует два различных способа определения расчетного, эталонного удельного расхода взрывчатых веществ:

- выбор по названию горной породы из таблицы классификации горных пород карьера по взрываемости;
- определение расчетного, эталонного удельного расхода взрывчатых веществ по одной из многочисленных эмпирических формул.

Таблица 2.2.1.

Эталонный расход ВВ

Категория трещиноватости	Коэффициент крепости по Протодяконову			
	2 – 5	6 – 10	11 – 15	16 – 20
	Эталонный расход ВВ, кг/м ³			
I	до 0,3	до 0,35	до 0,40	до 0,45
II	0,4	0,5	0,55	0,6
III	0,65	0,75	0,82	0,9
IV	0,85	1,0	0,15	1,2
V	1,0	1,2	1,3	1,4

Широкое распространение получила эмпирическая зависимость Б.Н. Кузова

$$q_p = q_e k_d \gamma^{1/2,6},$$

где q_0 – эталонный расход граммонита 79/21; $e = 1$ – коэффициент работоспособности граммонита 79/21; k_d – поправочный коэффициент на размер кондиционного куска; γ – плотность горной породы.

В таблице 2.2.1 представлены значения расчетных, эталонных расходов ВВ, рассчитанных по формуле Б.Н. Кутузова для пород разной крепости и трещиноватости одного из карьеров.

Эталонный расход ВВ выбирается из таблицы 2.2.1 по коэффициенту крепости породы и по категории трещиноватости массива.

Могут вводиться дополнительные поправочные коэффициенты. Например, в таблице 2.2.2 представлены поправочные коэффициенты на размер кондиционного куска.

При известном эталонном расходе взрывчатых веществ, известном диаметре заряда и известной вместимости ВВ в одном метре заряда по этой формуле определяется величина линии наименьшего сопротивления

$$W = \sqrt{\frac{0,9P}{q_p}}$$

где P – вместимость ВВ в 1 м скважины, кг.

Таблица 2.2.2.

Поправочный коэффициент на размер кондиционного куска

Кондиционный кусок, мм	250	500	750	1000	1250	1500
k_d	1,3	1,0	0,85	0,75	0,7	0,65

По известной линии наименьшего сопротивления, по выбранной схеме обустройства, с учетом высоты уступа определяются остальные параметры буровзрывных работ.

Представленные формулы могут иметь разные начертания, в них может входить множество других параметров и коэффициентов, влияющих на процесс взрыва. Но это не меняет их главной сути. Все они построены на использовании принципа «черного ящика». Они связывают условия взрывания с какими-нибудь конечными результатами взрыва. Они не отвечают на вопросы: «Как развивается процесс?», «Почему он так развивается?», «Какие можно принять меры, чтобы изменить направление его развития?». Эти формулы всегда привязаны к конкретному месту. Строго говоря, они должны подвергаться уточнению при изменении условий при переходе к горным работам на другом месторождении.

2.4. Методы определения качества раздробленной породы в карьерах

Главной целью буровзрывных работ в карьере является качественное дробление отбитой взрывом горной массы. Качество дробления горной массы является итогом всех технологических операций буровзрывных работ и зависит от многих геологических, технических, технологических и организационных факторов. Оно тесно связано с себестоимостью буровзрывных работ.

Качество дробления горной массы взрывом в карьерах оказывает существенное влияние на все последующие технологические операции по добыче и переработке руд и горных пород, начиная от экскавации горной массы и заканчивая измельчением руды в мельницах на обогатительной фабрике.

Качество раздробленной породы можно характеризовать по одному из двух показателей: по грансоставу раздробленной породы и по выходу негабарита.

Самым объективным способом определения качества раздробленной породы является рассев всего объема породы на классы крупности на ситах и определение грансостава дробленной породы по выделенным классам крупности. Огромные объемы породы, дробимой в карьере, невозможно рассеять на ситах. Поэтому применяют косвенные методы определения грансостава. Но чаще ограничиваются определением косвенными методами выхода негабарита. Но и косвенными методами качественные показатели дробления породы определяются не на стадии проектирования, а по результатам уже проведенных взрывов.

Из-за трудности расчета грансостава по условиям взрывания и сложности его экспериментального определения в проектах буровзрывных работ не предусматриваются качественные показатели дробления породы. В проектах только указывается размер кондиционного куска как верхний предел крупности дробления породы. Размер кондиционного куска определяется по габаритам технологического оборудования.

До настоящего времени нет технологичного и надежного способа экспериментального определения качества дробления горной массы в карьерах. Поэтому качество дробления часто оценивают визуально терминами «хорошо раздроблено», «плохо раздроблено» и им подобными или выходом негабарита. Определение выхода негабарита осуществляют обмером отложенных негабаритных кусков или расчетами по расходу средств взрывания на вторичное дробление.

Наиболее полной и общепризнанной характеристикой качества дробления горной массы является ее гранулометрический состав.

В ИПКОН РАН профессором Викторovým С.Д. при активном творческом участии доктора технических наук Казакова Н.Н. и кандидатов технических наук Шляпина А.В. и Лапикова И.Н. разработаны «Способ определения грансостава раздробленной породы в карьерах» и компьютерная программа «Грансостав-2008». И способ, и компьютерная программа защищены патентами. Компьютерная программа разработана в программной оболочке Delphi.

Способ экспериментального определения грансостава с использованием компьютерной программы «Грансостав-2008» технологичен, не требует больших затрат труда и времени, позволяет получать объективные результаты, в максимальной степени избавленные от субъективного влияния исполнителей. Он позволяет проводить повторные, контрольные перерасчеты грансостава разными лицами по одним и тем же фотопланограммам.

Работы по определению грансостава раздробленной взрывом горной массы с использованием компьютерной программы «Грансостав» необходимо выполнять в последовательности, изложенной в инструкции.

Установка программы «Грансостав» в компьютер

Программу «Грансостав» необходимо установить на жесткий диск в раздел «Документы» или на жесткий диск «С». После установки программы на компьютер активизировать «Грансостав» и дважды щелкнуть левой кнопкой мышки. Откроются начальные файлы программы. Рядом добавить две новые папки, присвоив им названия «Фотопланограммы» и «Архив фотопланограмм».

В файле «Фотопланограммы» будут размещаться фотопланограммы, подлежащие обработке, а в папку «Архив фотопланограмм» будут перемещаться фотопланограммы, использование которых, по мнению оператора, уже завершилось.

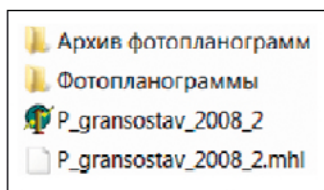


Рис. 2.4.1. Размещение информации в памяти компьютера

В папке «Архив фотопланограмм» фотопланограммы могут храниться длительное время, не мешая работе оператора.

Фотографирование участков развала

На развале взорванного блока необходимо сделать несколько фотопланограмм. На поверхности развала укладывают параллельно две маркшейдерские рейки одинаковой длины на расстоянии длины рейки одну от другой так, чтобы концы реек образовали углы квадрата со сторонами, равными длине реек. Образованный рейками квадрат является «масштабирующим квадратом». В последующем с использованием его размеров определяют масштаб фотопланограммы и степень панорамного искажения размеров кусков породы на фотопланограмме.

После укладки реек участок развала фотографируют цифровым фотоаппаратом с такого расстояния, чтобы сфотографированный участок включал в себя «масштабирующий квадрат» и был в несколько раз больше «масштабирующего квадрата». Чем большая площадь развала попадет в объектив фотоаппарата, тем лучше. Но куски породы на фотографии должны быть четкими.

После фотографирования одного положения рейки переносятся в другое место развала и описанным выше способом делают вторую, а затем и последующие фотопланограммы.

Если фотопланограммы делают в забое работающего экскаватора, то рейки прислоняют к откосу в забое отгружаемой горной массы. Фотографировать забой лучше из кабины экскаватора, отъехавшего на несколько метров от забоя. Желательно, чтобы в объектив фотоаппарата попадал весь забой, обрабатываемый в данный момент экскаватором. Последующие фотопланограммы следует делать после работы экскаватора, в результате которой забой продвинулся не менее чем на два метра.

Занесение фотопланограмм в компьютер

Занесение фотографий из фотоаппарата в компьютер осуществляется путем копирования, предусмотренного инструкцией по эксплуатации применяемого фотоаппарата: переносом карты памяти из фотоаппарата в компьютер и копированием с нее информации; по проводной или по беспроводной связи фотоаппарата с компьютером и копированием информации непосредственно с фотоаппарата.

Начало работы с программой «Грансостав»

Открывается первое, главное окно программы «Грансостав-2008» (рис. 2.4.2). Выполнение многих операций начинается в этом окне.

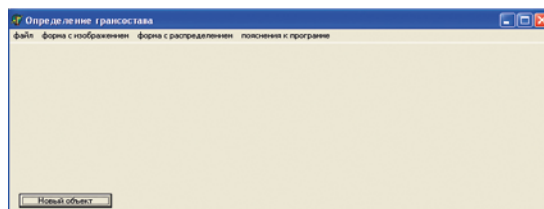


Рис. 2.4.2. Первое, главное окно программы

Преобразование цифровых фотографий в фотопланограммы с расширением bmp

В программе «Грансостав» открывается папка, в которую занесены сделанные фотоаппаратом фотопланограммы. Необходимо скопировать все фотопланограммы блока и вставить их в папку № 1, в папке «Фотопланограммы».

Щелкнуть по фотографии правой кнопкой мышки, затем выбрать «Открыть с помощью» – «Paint» – «Файл» – «Сохранить как» – «Изображение в формате bmp» – «Сохранить». Закрыть фотографию в редакторе Paint. «Вид» – «Список». Вы увидите, что выбранная вами фотография имеет два изображения: с расширением bmp и изображение, перенесенное из фотоаппарата. Изображение из фотоаппарата необходимо удалить. Все эти операции необходимо проделать со всеми фотопланограммами первого блока.

Затем необходимо активизировать первую фотографию в папке «Фотопланограммы», «Блок № 1».

На фрагменте программы представлены шесть фотопланограмм с расширением bmp после успешного их преобразования (рис. 2.4.3).

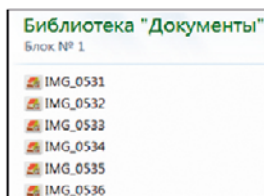


Рис. 2.4.3. Шесть фотопланограмм

При создании папки нового блока в папке нового блока нет фотографий. Фотопланограммы нужно вставить в папку обычным способом.

Фотопланограммы нужно занести в программу «Грансостав».

В папке «Фотопланограммы» создаются папки Блоков с номерами. Желательно принимать нумерацию блоков в программе такую же, какой она принята в карьере. В каждую папку блока заносятся все фотопланограммы, сделанные на этом блоке. Заносятся с использованием команд «копировать» и «вставить».

В каждый блок заносится длина реек, использованных на этом блоке при получении фотопланограмм. В нашем примере длинна реек 1,2 метра.

По программе «Грансостав» сделайте два щелчка левой кнопкой мышки. Активизируйте команду «P_gransosav_2008_Z2», сделайте два щелчка левой кнопкой мышки. Открывается первое, главное окно программы, представленное на рис. 2.4.2.

В первом, главном окне программы нажмите кнопку «Новый объект». Активизируйте и щелкните по кнопке «Новый объект». Активизируйте и щелкните по кнопке «Фотопланограммы». Активизируйте и щелкните по кнопке «Блок № 1». На экране окно со всеми фотопланограммами блока (рис. 2.4.4).

Щелкните по первой фотопланограмме. Щелкните по первой фотопланограмме еще два раза. На экране первая фотопланограмма введена в программу (рис. 2.4.5).

На экране 2.4.5 щелкните «Новый объект». Щелкните по кнопке «Фотопланограммы». Щелкните по кнопке «Блок № 1». Щелкните по второй фотопланограмме. Вторая фотопланограмма введена в программу, и т. д.

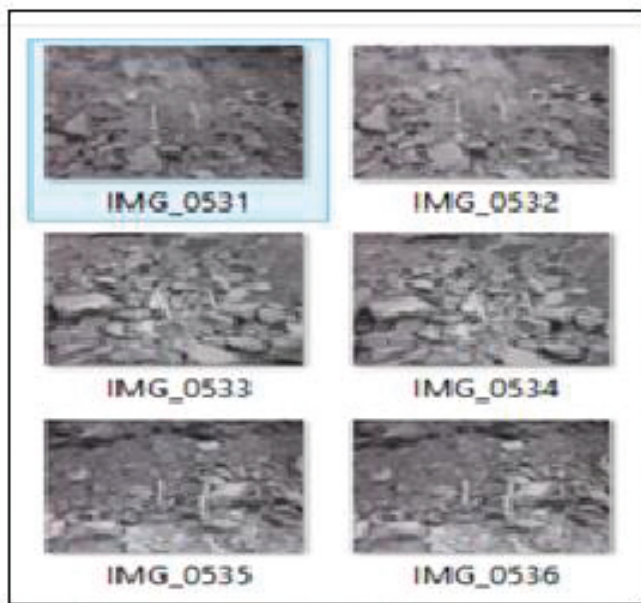


Рис. 2.4.4. Окно со всеми фотопланограммами блока

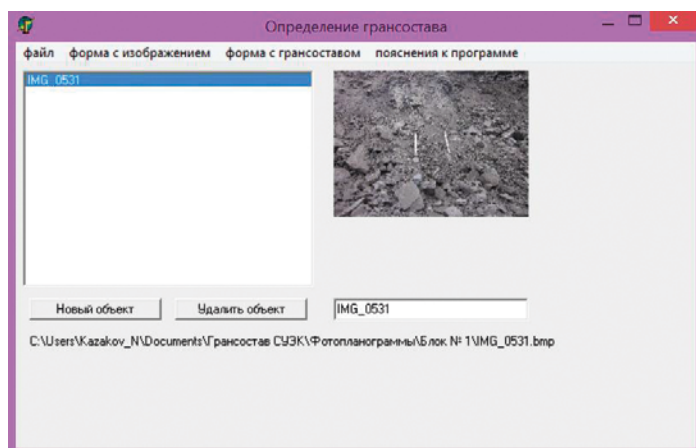


Рис. 2.4.5. Первая фотопланограмма на экране

После ввода всех фотопланограмм экран выглядит как на рис. 2.4.6. Масштабирование осуществляется для каждой фотопланограммы индивидуально. Активизируйте первую фотопланограмму (строку) на рис. 2.4.6. В верхней строке рис. 2.4.6 нажимаем раздел «Форма с изображением». На экране рис. 2.4.6, выбранная фотопланограмма. Активизируйте строку «опорные точки» и поставьте в ней галочку в правом нижнем окне. Нажмите кнопку «Koordinats». На экране рис. 2.4.7. В таблицу внизу справа (рис. 2.4.7) вставьте координаты углов масштабирующего квадрата.

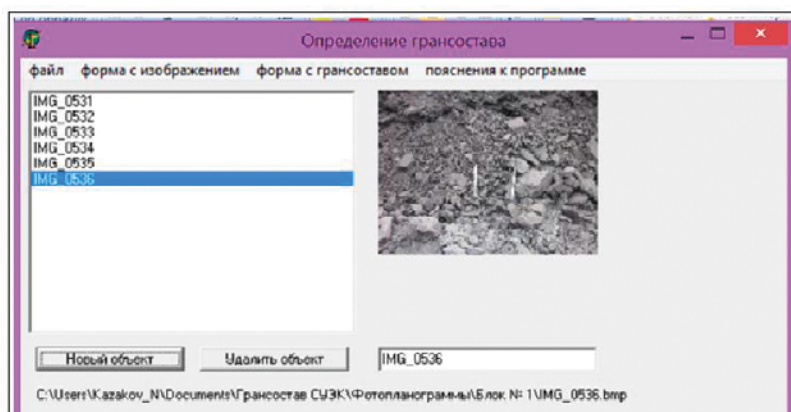


Рис. 2.4.6. Шесть фотопланограмм введены в программу

Если поле координат видно не все, пользуйтесь линейками прокрутки. Обозначим буквой «А» длину рейки. В нашем примере $A=1.2$ м. В программе «Грансостав» в дробных числах нужно ставить не запятую, а точку. Нулевая точка имеет координаты: 0–0. Координаты первой точки: длина масштабирующей рамки в метрах, 1.2 м – 0. Координата второй точки: 0 – длина масштабирующей рамки 1.2 м. Координаты третьей точки: длина масштабирующей рамки 1.2 м – длина масштабирующей рамки 1.2 м. Активизируйте первую фотопланограмму (строку) на рис. 2.4.6. В верхней строке рис. 2.4.6 нажимаем раздел «Форма с изображением». На экране рис. 2.4.6, выбранная фотопланограмма. Активизируйте строку «опорные точки» и поставьте в ней галочку в правом нижнем окне. Нажмите кнопку «Koordinats». На экране рис. 2.4.7. В таблицу внизу справа (рис. 2.4.7) вставьте координаты углов масштабирующего квадрата.

визируйте строку «опорные точки» и поставьте в ней галочку в правом нижнем окне. Нажмите кнопку «Koordinates». В таблицу внизу справа (рис. 2.4.7) вставьте координаты углов масштабирующего квадрата. Если поле координат видно не все, пользуйтесь линейками прокрутки. Обозначим буквой «А» длину рейки. В нашем примере $A=1.2$ м. В программе «Грансостав» в дробных числах нужно ставить не запятую, а точку. Нулевая точка имеет координаты: 0-0. Координаты первой точки: длина масштабирующей рамки в метрах, $1.2 \text{ м} - 0$; Координата второй точки: $0 -$ длина масштабирующей рамки 1.2 м . Координаты третьей точки: длина масштабирующей рамки $1.2 \text{ м} -$ длина масштабирующей рамки 1.2 м . Удалите все точки контура, последовательно нажимая кнопку «Удалить точку». Поставьте все точки контура левой кнопкой мышки в нужные вам места в последовательности 0–1–2–3. Убедитесь, что последовательность их не перепутана.

Щелкните по слову «Цвет линий». Определить цвет. Щелкните по белому квадратику. Добавить в набор. ОК. Расчетный контур показан белым цветом, который лучше виден на темном фоне фотопланограммы.

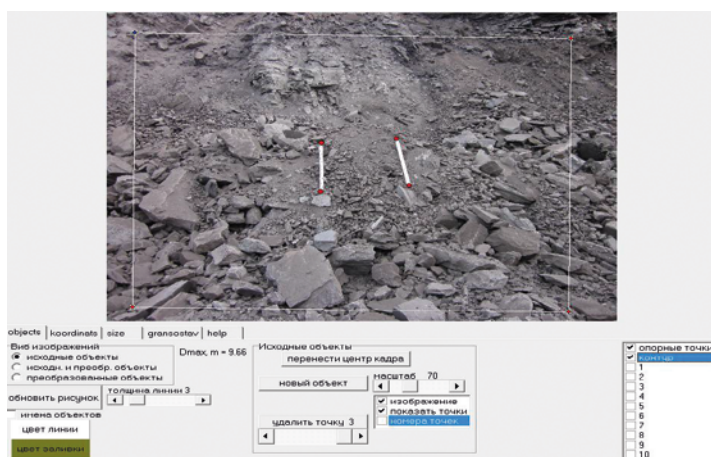


Рис. 2.4.7. Занесение координат углов масштабирующего квадрата

Снимите галочку в квадрате «Номера точек». На экране рис. 2.4.8 можно сделать контур в виде многоугольника любой формы с любым числом углов.

Длины масштабирующей рамки определяют длиной выбранной маркшейдерской рейки при фотографировании в карьере.

После занесения координат нажмите кнопку «Применить» на рис. 2.4.8. Затем нажмите кнопку «Objects» слева внизу рис. 2.4.8. На рис. 2.4.9 показан экран с множеством управляющих кнопок. Поставьте галочку в квадрате «Показать точки» по центру (рис. 2.4.9).левой кнопкой мышки переместите масштабирующие точки в углы масштабирующей рамки, соблюдая нумерацию 0–1–3–2.

Нажмите кнопку «Номера точек» и поставьте рядом галочку. Убедитесь, что последовательность их не перепутана. Снимите галочку в квадрате «Номера точек».

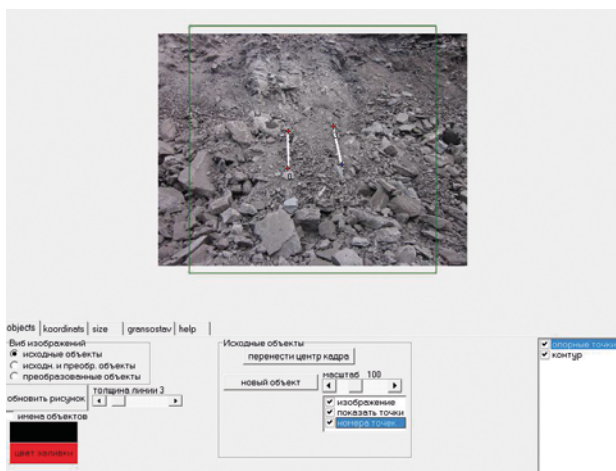


Рис. 2.4.8. Окно перед перемещением координирующих точек

Фотопланограмма, показанная на экране на рис. 2.4.9, привязана к системе координат с учетом масштаба изображения и длины сторон масштабирующего квадрата (длины рек и расстояния между ними).

Нанесение расчетного контура на первую фотопланограмму

Расчетный контур наносится на каждую фотопланограмму индивидуально.

Активизируйте надпись «Контур» в правой нижней рамке (рис. 2.4.7). Нажмите кнопку «Номера точек» и поставьте галочку.

Внутри расчетного контура не должны попадать: обнаженный откос верхнего уступа (как правило, сложенный крупными блоками) при обработке фотопланограммы, сделанной в забое работающего экскаватора; не должны попадать негабаритные куски, отложенные в сторону машинистом экскаватора.

Увеличьте масштаб изображения, несколько раз щелкая по левой стрелке кнопки «Масштаб».

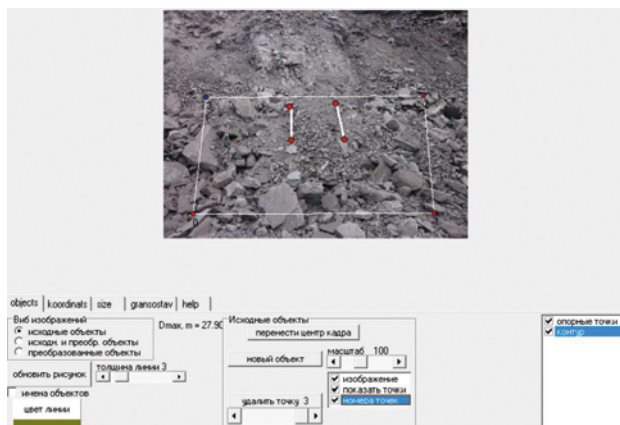


Рис. 2.4.9. Расчетный контур нанесен

Оконтуривание кусков породы на фотопланограмме

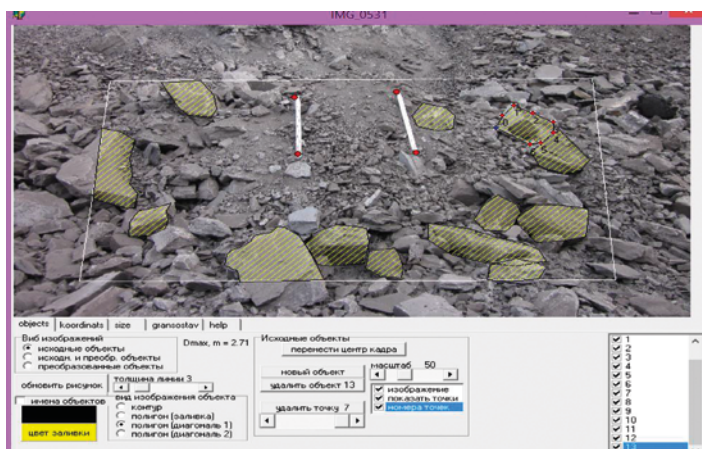


Рис. 2.4.10. Оконтуренные куски породы

Нажимая кнопку «Переместить центр кадра» и щелкая мышкой по любому месту кадра, можно переместить часть кадра из невидимой зоны в видимую зону.

Правой кнопкой мышки ставьте точки по контуру выбранного куска. Нажмите кнопку «Новый объект» (рис. 2.4.9.).

После завершения оконтуривания куска породы нажмите кнопку «Новый объект». Обводите контур любого другого куска породы. Оконтуривайте максимальное количество крупных кусков. Неоконтуренные куски автоматически войдут в мелкие заданные вами классы крупности.

После завершения оконтуривания всех намеченных вами кусков породы (выбор их числа определяет сам автор) в пределах расчетного контура на экране появится изображение, представленное на рис. 2.4.10.

Исправление контура куска породы

Пользуясь кнопками «масштаб» и «перенести центр кадра», переместите нужный вам кусок в центр изображения и резко увеличьте его масштаб.

Последовательно активизируйте номера объектов в правом нижнем окне до тех пор, пока вокруг выбранного вами куска не появится ранее сделанный вами контур куска.

Нажимайте несколько раз кнопку «Удалить точку», пока синяя точка не окажется на контуре куска. Затем правой кнопкой мышки завершайте более точную обводку контура куска.

Если нужно переместить точку в середине контура, захватите ее левой кнопкой мышки и перемещайте в нужное место.

Определение грансостава

После оконтуривания достаточного с вашей точки зрения количества кусков нажмите кнопку «Size», затем кнопки «Сортировка» и «Расчет».

После завершения расчета активизируйте первое главное окно программы, на которую занесены все фотопланограммы Блока № 1. Нажмите кнопку «Форма с грансоставом».

Поставьте галочку в квадрате около названия фотопланограммы, с помощью линейек прокрутки и клавиатуры выбрав четыре границы диапазона. Устанавливаем в миллиметрах границы диапазонов. В нашем примере 300 мм, 600 мм, 1000 мм и 1500 мм. Нажимаем «Применить», затем «Вычисление грансостава». На экране появиться рассчитанный по первой фотопланограмме грансостав (рис. 2.4.11).

Нажмите кнопку «Записать информацию в Excel». Открывается Книга 1 в Excel (рис. 2.4.11). Затем «файл» – «печать». Печатается Книга 1.

Работа с первой фотопланограммой завершена.

Аналогичным образом необходимо повторить операции для последующих фотопланограмм.

Заканчивается работа со второй фотопланограммой в главном окне командами: «Форма с грансоставом» — галочка в квадрате около второй фотопланограммы. С помощью линейек прокрутки и клавиатуры выбираем четыре границы диапазона. Ставим в миллиметрах границы диапазонов. В нашем примере 300 мм, 600 мм, 1000 мм и 1500 мм. Нажимаем «применить». Нажимаем «Вычисление грансостава». На экране появится Грансостав (рис. 2.4.12).

Рис. 2.4.11. Грансостав по первой фотопланограмме

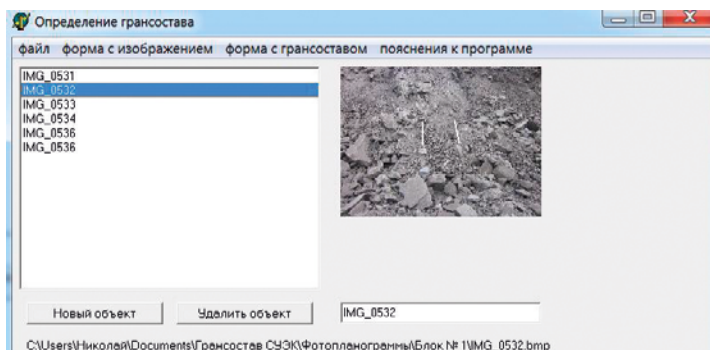


Рис. 2.4.12. Активизированное Главное окно программы

Определение грансостава по сумме нескольких фотопланограмм

Работа с третьей, четвертой, пятой и шестой фотопланограммами осуществляется точно так, как со второй фотопланограммой. При этом на каждом шаге работы нужно помнить, с какой фотопланограммой вы работаете. На рис. 2.4.13 представлен грансостав по завершающей (шестой) фотопланограмме для Блока № 1.

Исходные данные | определение грансостава

выполнен замеры

служба, отдел, цех

тип (разв. забой экскаватора) должность

время выполнения замеров 9:31:19 номер цеха

дата выполнения замеров 14.10.2008 номер блока

границы диапазонов фракций

границы диапазонов	d, mm
1	300
2	600
3	1000
4	1500

Вычисление грансостава

грансостав

фракции, мм	%
< 300	97.1
300 - 600	2.7
600 - 1000	0.1
1000 - 1500	0.0
≥ 1500	0.0

Разброс (%) = 0.59093

Запись информации в Excel

Рис. 2.4.13. Грансостав по последней шестой фотопланограмме

Обратите внимание на левый верхний угол рис. 2.4.13. Здесь показаны названия всех шести обработанных фотопланограмм Блока № 1. Если мы будем ставить галочки перед любой фотопланограммой и нажимать на кнопку «Вычисление грансостава», то будет показан грансостав по каждой выбранной фотопланограмме.

А если мы поставим галочки перед всеми фотопланограммами и нажмем кнопку «Вычисление грансостава», то будет показан совместный грансостав по всем фотопланограммам (рис. 2.4.14).

Исходные данные | определение грансостава

выполнен замеры

служба, отдел, цех

тип (разв. забой экскаватора) должность

время выполнения замеров 9:31:19 номер цеха

дата выполнения замеров 14.10.2008 номер блока

границы диапазонов фракций

границы диапазонов	d, mm
1	300
2	600
3	1000
4	1500

Вычисление грансостава

грансостав

фракции, мм	%
< 300	75.4
300 - 600	11.4
600 - 1000	8.2
1000 - 1500	3.3
≥ 1500	1.7

Рис. 2.4.14. Совместный грансостав по всем фотопланограммам Блока № 1

При установке галочек перед всеми фотопланограммами и последующем нажатии кнопки «Вычисление грансостава» будет рассчитан совместный грансостав по всем фотопланограммам.

Результаты определения грансостава могут быть сохранены в рабочих файлах программы.

Сохранение полученных результатов

Для сохранения полученных результатов, в том числе и промежуточных, при прерывании работ по определению грансостава в главном окне пройдите по цепочке команд «Файл – Записать информацию в файл – Фотопланограммы – Блок № 1 – Сохранить».

Все материалы с обработанными изображениями и формы грансостава с частичным заполнением будут сохранены.

Чтобы сохранить результаты итогового расчета грансостава в формате Excel, рассчитанного по группе фотопланограмм, сделайте следующие операции.

В разделе компьютера «Документы» еще до начала работы с программой «Грансостав» создайте папку «Грансостав, рассчитанный по блокам». Сделайте необходимые дополнительные записи в ней. Совершите следующие команды «Файл – Сохранить как – Документы – Грансостав расчетный по блокам – Блок № 1 – Сохранить».

Данные с распределением грансостава сохраняются в файлах с расширением «.gas». Для сохранения в первом главном окне необходимо выбрать «Файл», затем «Записать информацию в файл». Присвоив результатам то же имя – «Блок 1», завершить сохранение. Сохраненные формы с графическим изображением будут обладать расширением файла «.mig». После чего все окна программы могут быть закрыты.

Перемещение обработанных материалов в папку «Архив фотопланограмм»

Для перемещения обработанных файлов выполните следующие команды – «Грансостав – Р_gransostzv_2 – Файл – Считать информацию из файла – Фотопланограммы – Блок № 1 – Выберите изображение – Открыть – Файл – Записать информацию в файл – Архив фотопланограмм». В строке имя файла написать «Блок № 1», затем «Сохранить».

Итоговые таблицы грансостава, записанные в файл рядом с программой «Грансостав», можно открыть только на том компьютере, на котором они записаны.

Определение ошибки измерения

При определении грансостава раздробленной породы по нескольким фотопланограммам карьерного развала отбитой горной массы с использованием компьютерной программы «Грансостав» погрешность измерения определяется среднеквадратичным отклонением S^2 , которое является классическим параметром при статистической обработке результатов любых экспериментов. Среднеквадратичное отклонение S^2 определяется программой «Грансостав» при обработке нескольких фотопланограмм.

Погрешность измерения — это отклонение выходов по классам крупности на всех фотопланограммах от средних значений выходов по классам крупности.

Ошибка измерения определяется по формуле

$$ОИ = \frac{s^2 V_{\kappa}}{100},$$

где V_{κ} – выход в процентах по классу крупности.

В демонстрационном примере ошибка измерения выхода негабаритного класса крупности составляет

$$ОИ = \frac{s^2 V_{\kappa}}{100} = (6,69 \times 3)/100 = 0,20\%$$

Границы доверительного интервала определяются прибавлением и вычитанием отклонения по классу крупности из выхода по классу крупности.

$$V_{\kappa} = 3 \pm 0,20\%.$$

Для самого крупного класса крупности (для негабарита) интервал изменения выхода суммарно по всем фотопланограммам составляет от 2,83% до 3,33%.

По самому мелкому классу крупности

$$ОИ = \frac{s^2 V_{\kappa}}{100} = (6,69 \times 75,8)/100 = 0,82\%.$$

Границы доверительного интервала для самого мелкого класса крупности составляет

$$V_{\kappa} = 75,4 \pm 0,82\%.$$

На объективность экспериментального определения физических величин оказывает существенное влияние «представительность пробы». Если отобранная проба в малом объеме не является копией по искомым показателям основной исследуемой массы, то проба не является «представительной». В отборе представительной пробы существует понятие минимально допустимой пробы.

В приложении к нашей задаче определение грансостава отбитой горной массы обсчитываемая площадь есть размер «пробы». Она должна регламентироваться.

Сумма всех обсчитываемых площадей на фотопланограммах по взрываемому блоку не должна быть меньше 5% площади развала породы, отбитой на блоке. Она рассчитывается по следующим формулам.

Приблизительная площадь развала

$$S_p = N_a a (N_b b + 30).$$

Представительная суммарная площадь фотопланограмм

$$S_{\min} = 0,05 (N_a a (N_b b + 30)),$$

где N_a – количество скважин в первом ряду; a – расстояние между скважинами в ряду, м; N_b – количество рядов скважин на блоке; b – расстояние между рядами скважин; 30 м – приблизительная длина развала от первого ряда скважин при диаметре заряда 250 мм и при высоте уступа 15 м.

Пример.

При $N_a = 10$, $A = 6$, $N_b = 4$, $b = 6$.

$S_p = 10 \times 6(4 \times 6 + 30) = 3240 \text{ м}^2$. $S_{\min} = 0.05(10 \times 6(4 \times 6 + 30)) = 162 \text{ м}^2$.

Общая площадь расчетных контуров по шести фотопланограммам составляет 190 м^2 , что больше минимально допустимой площади пробы для нашего примера, которая равна 162 м^2 .

Вторым условием представительности пробы является равномерное расположение фотопланограмм по площади развала, особенно если на развале одновременно присутствуют участки с крупным и мелким дроблением.

На рис. 2.4.15 представлена итоговая компьютерные таблицы рассчитанного грансостава по всем фотопланограммам блоков № 2.

13	номер блока							Блок № 2.
14								Итоговый суммарный грансостав
15	время выполнения замеров							по всем фотопланограммам
16	9:31:19							
17	дата выполнения замеров							
18	14.10.2008							
19								
20	Грансостав найденный в результате обработки фотопланограмм (%)							
21								
22	фракции, мм							
23		< 300	300 - 600	600 - 100	1000 - 15	>= 1500		S2, m2
24								
25	IMG_0538	90,2	6,5	2,2	0,7	0,3		37,77
26	IMG_0539	90,2	6,5	2,2	0,7	0,3		57,8
27	IMG_0540	90,2	6,5	2,2	0,7	0,3		55,46
28	IMG_0541	90,2	6,5	2,2	0,7	0,3		60,13
29	IMG_0542	90,2	6,5	2,2	0,7	0,3		41,96
30	IMG_0537	90,2	6,5	2,2	0,7	0,3		37,28
31								
32	ИТОГОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ							
33		90,2	6,5	2,2	0,7	0,3		290,39
34								
35	Разброс, %	1,95						
36								
37	Диапазон возможных значений негабарита, %							
38		0,33	0,34					

Рис. 2.4.15. Итоговая таблица компьютерных расчетов по блоку №2

Если обчисленная площадь меньше минимально необходимой, нужно сделать и совместно обработать еще несколько фотопланограмм по этому блоку.

Фотографировать развал нужно с такого расстояния, чтобы обчисляемая площадь на одной фотопланограмме была не меньше 50 м^2 .

Глава 3. Многофазная и многозонная теория технологического дробления горных пород взрывом в карьерах

3.1. Научная идея новой теории технологического дробления пород взрывом

Широкое распространение получило представление, что энергия взрыва передается в породный массив в виде волны напряжений. По параметрам волны напряжений, по их величине или по интенсивности изменения этих параметров при распространении волны по массиву можно определить конечные результаты взрыва, в том числе и крупность дробления горных пород взрывом. В рамках этого представления дробление пород взрывом рассматривается как однофазный процесс.

Выполнено очень много теоретических и экспериментальных работ по изучению скалярных и векторных параметров волн напряжений в породе. Но исследование и проектирование прикладных задач дробления горных пород взрывом в горном производстве по параметрам волн напряжений не нашло применения.

Технологическое дробление горных пород в карьерах осуществляется взрывом скважинных зарядов конечной длины. Процесс воздействия взрыва скважинных зарядов конечной длины на горный массив является многофазным и многозонным.

Фазы процесса: камуфлетная, волновая, квазистатическая, фаза формирования развала отбитой горной массы, фаза разлета отдельных кусков породы на большие расстояния от центра взрыва, формирование и распространение пылегазового облака, сейсмическая фаза, фаза распространения воздушной ударной волны.

Каждая фаза процесса имеет свою зону действия на горный массив и окружающую среду. Их зоны формируются в разное время развития процесса. Они могут быть маленькими, например, камуфлетная зона измеряется метрами, и очень большими, например, зона действия сейсмической волны, которая распространяется на километры и уходит далеко за пределы карьера. Зоны действия фаз могут накладываться одна на другую.

Исследованием процессов передачи энергии взрыва в горный массив, распределением энергии в массиве горных пород занимаются многие ученые [2–3, 14–15, 41–42, 52, 75–80].

Процесс дробления горных пород осуществляется главным образом тремя фазами: камуфлетной, волновой и квазистатической.

Наименее изученной из них является квазистатическая фаза взрыва. Лишь некоторые исследователи упоминают в своих трудах о ее существовании, называя ее поршневым действием взрыва или газовым фактором. Но упоминанием о ее существовании и ограничиваются.

А между тем именно эта фаза взрыва, по нашему мнению, осуществляет технологическое дробление основной отбитой взрывом горной массы.

В практике горных работ, как правило, используются эмпирические зависимости, при исследовании процессов технологического дробления горных пород, и при проектировании буровзрывных работ [28, 34, 81, 118].

По инициативе члена-корреспондента Академии наук СССР Дмитрия Михайловича Бронникова, под его непосредственным руководством, на первых этапах исследования, а в последующем под руководством Николая Николаевича Казакова и при его активном участии в разработках, а так же при активной творческой работе Алексея Владимировича Шляпина и Ивана Николаевича Лапикова, в ИПКОН РАН разработана принципиально новая «Многофазная и многозонная теория технологического дробления горных пород взрывом» [55].

Технологическое дробление горных пород взрывом — это дробление горных пород группой зарядов до крупности, приемлемой с технологической точки зрения. Размер зоны технологического дробления горных пород определяется параметрами сетки скважин. Размер зоны технологического дробления породы взрывом одного скважинного промышленного заряда взрывчатого вещества соизмеримы с площадью одной ячейки обуренной сетки скважин.

В таблице 3.1.1 представлена схема, в соответствии с которой, по разработанной теории, по признаку «зоны действия» и «фазы процесса», процесс технологического дробления породы одиночным вертикальным зарядом в карьере, при наличии обнаженной поверхности распадается на 12 индивидуальных участков. Каждый участок имеет индивидуальную физическую закономерность развития и описывается индивидуальными математическими зависимостями.

Таблица 3.1.1.

Зоны и фазы дробления породы взрывом заряда в карьере

№	Зоны действия фаз	Фазы действия взрыва		
		Камуфлетная	Волновая	Квазистатическая
1	Средняя зона	Камуфлетная фаза в средней зоне	Волновая фаза в средней зоне	Квазистатическая фаза в средней зоне
2	Верхняя зона	Камуфлетная фаза в верхней зоне	Волновая фаза в верхней зоне	Квазистатическая фаза в верхней зоне
3	Нижняя зона	Камуфлетная фаза в нижней зоне	Волновая фаза в нижней зоне	Квазистатическая фаза в нижней зоне
4	Зоны нерегулируемого дробления	Камуфлетная фаза в зонах нерегулируемого дробления	Волновая фаза в зонах нерегулируемого дробления	Квазистатическая фаза в зонах нерегулируемого дробления

Количество условно выделяемых зон и фаз процесса развития взрыва зависит от многих факторов: от формы и количества зарядов, от положения зарядов в массиве, от наличия и положения обнаженных поверхностей, от последовательности взрывания зарядов.

При взрыве одного скважинного заряда в карьере, при наличии обнаженной поверхности, основная масса горной породы отбивается и дробится в средней зоне уступа, во взрываеом блоке. Это первая строка таблицы. В этой зоне отбивается и дробится до 60% горной массы, приходящейся на один заряд. Все фазы в этой зоне: камуфлетная, волновая и квазистатическая, имеют цилиндрическую симметрию, но имеют разные модели развития и описываются разными математическими зависимостями.

При взрыве одного скважинного заряда в карьере, при наличии двух обнаженных поверхностей (боковой и верхней) и при наличии забойки, в верхней зоне уступа (вторая строка в таблице 3.1.1) отбивается и дробится до 40% горной массы, приходящейся на один заряд. Все фазы в этой зоне: камуфлетная, волновая и квазистатическая, имеют сферическую симметрию, но имеют разные модели развития и описываются разными математическими зависимостями. Их модели и описания не повторяют модели и описания цилиндрических зон первой строки.

Нижняя зона таблицы 3.1.1 лежит ниже подошвы обуренного уступа, в зоне перебура. Она не предназначена для отбойки и дробления горной породы. Ее задача обеспечить проработку подошвы уступа. Но при решении этой задачи в нижней зоне таблицы 3.1.1 происходит и дробление породы. В этой, на первый взгляд, малоинтересной зоне развиваются процессы цилиндрической, волновой и квазистатической фаз с индивидуальными моделями развития и индивидуальными методами описания процесса их развития.

Четвертые зоны, расположенные в таблице 3.1.1 в четвертой строке, являются зонами нерегулируемого дробления. По разным технологическим причинам зоны нерегулируемого дробления могут появляться в любых трех зонах, представленных в таблице 3.1.1. Породы в этих зонах будут подчиняться моделям, схемам и методам тех зон, в которые они попали. Но результат будет один: «породы в зонах нерегулируемого дробления» будут развалены взрывом по «естественным отдельностям». Осталось ответить на вопросы. Почему эти локальные зоны оказались зонами нерегулируемого дробления? Нельзя ли исключить возможность их появления? На куски каких размеров будет развалена порода в конкретной зоне нерегулируемого дробления? Как повлияет развал породы в зонах нерегулируемого дробления на грансостав раздробленной породы по всему блоку?

Научная идея новой теории технологического дробления пород взрывом заключается в следующем. Часть горного массива, подлежащая дроблению, должна быть тщательно разделена на возможные индивидуальные зоны, в каждой зоне должны быть определены возможные фазы развития процесса. Для каждой фазы в каждой зоне разработаны геометрические и физические модели развития процесса, составлено математическое описание их развития, разработаны компьютерные программы, описывающие процессы развития фаз и их взаимодействия вплоть до определения количественных значений показателей качества дробления породы взрывом в карьере.

Второй важной идеей нашей теории технологического дробления горных пород взрывом является порядок определения энергетических параметров процесса. Нам всегда известна энергия промышленного скважинного

заряда взрывчатого вещества, или она легко определима в самом начале сложных расчетных операций.

Определяется количественное распределение энергии заряда между зонами обуреваемого блока. Энергия зон обуреваемого блока распределяется количественно между зонами действия фаз и между фазами каждой зоны. В каждой зоне действия фаз определяется энергия разрушения. Определяется распределение энергии разрушения по объему фазовых зон. Определяется распределение плотности энергии разрушения по объему фазовых зон. По распределению плотности энергии разрушения по фазовому объему определяется крупность кусков породы в каждом элементарном расчетном объеме. Определяется суммарная распределенная по объему плотность энергии разрушения всех фаз процесса. По суммарной распределенной по объему плотности энергии разрушения всех фаз процесса определяется крупность кусков породы в каждом элементарном расчетном объеме, сформировавшаяся под действием всех фаз процесса в каждой зоне.

3.2. Теоретические основы процессов технологического дробления горных пород взрывом

Во многих отраслях промышленности широко применяется дробление горных пород взрывом зарядов различных взрывчатых веществ. Многочисленные технологии дробления горных пород взрывом с различной целенаправленностью детально разработаны учеными, практиками и проектировщиками, успешно и эффективно применяются.

Из-за многовариантности технологий и чрезвычайной сложности процессов передачи энергии взрыва в породный массив, из-за сложности процессов распределения энергии взрыва в массиве и превращения распределенной энергии в работу дробления породы в практике преобладают эмпирические зависимости между некоторыми параметрами процесса и конечными результатами взрыва. Часто используется принцип так называемого «черного ящика», в котором конечные результаты взрыва связываются с начальными условиями взрывания с помощью эмпирических зависимостей. До сих пор важнейший показатель дробления породы, грансостав дробленного продукта, проектами не определяется.

Признавая важную роль эмпирической науки о взрывном дроблении горных пород в успешной работе многих горных предприятий, нельзя отрицать, что теоретические знания о развитии процессов, особенно в наш компьютерный век, откроют существенно более широкие перспективы создания новых и совершенствования уже применяемых технологий дробления горных пород взрывом.

Взрыв многолик и многообразен. Ученые утверждают, что сама жизнь зародилась на земле благодаря взрыву и все живое на земле погибнет в результате взрыва. Сама Вселенная возникла благодаря большому взрыву. Поэтому полезно уточнить, о какой частичке этого грандиозного процесса мы будем говорить.

Нас будут интересовать только некоторые варианты дробления породы. Не разрушения породы, а дробления породы. К сожалению, в научно-тех-

нической литературе термины «разрушение» и «дробление» неправомерно воспринимаются как синонимы.

Нас будет интересовать только технологическое дробление породы взрывом. Технологическое дробление породы взрывом — это дробление группой зарядов условно выделенного в массиве объема породы до крупности, приемлемой с технологической точки зрения.

Нас будет интересовать только технологическое дробление взрывом горных пород на уступах карьеров. Это наиболее массовый вид дробления породы. Он более других вариантов доступен для наблюдения. Он проще в описании. Хотя нужно сказать, что в основе других вариантов технологического дробления горных пород взрывом лежат те же теоретические положения, что и в выбранном нами для изучения и описания варианте.

Несмотря на то, что технологическое дробление породы взрывом одиночных зарядов технологически неприемлемо, в том числе и из-за ухудшения качества дробления породы, мы начнем с описания процесса взрыва одиночного заряда. Это проще и понятнее.

Взрыв скважинного заряда взрывчатого вещества на уступе карьера является процессом многозонным и многофазным. При взрыве скважинного заряда промышленного взрывчатого вещества на уступе карьера реализуются три фазы процесса: камуфлетная, волновая и квазистатическая. Именно эти фазы процесса при групповом взрывании зарядов обеспечивают технологическое дробление породы взрывом. Кинетическая фаза процесса, обеспечивающая формирование развала и разлет кусков породы, принимает незначительное участие в дроблении породы. Возможна разработка и применение специальных методов повышения дробящего действия кинетической фазы взрыва.

Принятая форма бурения скважин с перебуром в карьерах и принятые формы зарядания скважин с забойкой, обуславливают формирование по высоте уступа трех зон (рис. 3.1.1). Основная по объему зона, с преобладанием цилиндрической симметрии, примыкает к заряду от перебура до забойки. Вторая по объему зона, с преобладанием сферической симметрии, расположена от верхних концов зарядов до верха уступа. Третья зона, примыкающая к перебуру, содержит в себе цилиндрические, конические и сферические элементы развития параметров возмущения. Эта зона мало изучена теоретически.

В ходе развития фаз процесса фазы могут сменять одна другую, могут накладываться одна на другую. Появляются локальные зоны действия фаз, в том числе локальные зоны действия наложившихся фаз.

В научно-технической литературе часто делаются попытки определять конечные результаты взрыва, в том числе и крупность дробления породы взрывом, по одному из параметров волны напряжений, чаще всего по максимальной массовой скорости. Такие попытки никогда не приводили к успеху. Не потому, что падающая волна сжимает породу, а предел прочности породы на сжатие выше предела прочности породы на растяжение. Тангенциальная растягивающая составляющая тензора напряжения падающей волны часто бывает больше радиальной сжимающей составляющей тензора напряжений. А потому, что волна напряжений в камуфлетной зоне

потеряла почти всю свою энергию, потеряла способность дробить породу и только способна образовывать радиальные трещины на небольшом отрезке за пределами камуфлетной зоны. В научно-технической литературе можно встретить утверждения, что отраженная от обнаженной поверхности волна напряжений становится растягивающей, ее разрушающая способность возрастает, и она осуществляет дробление породы на куски. Дробление породы на горных предприятиях – это ее работа. Это укоренившееся заблуждение. Радиальная составляющая тензора напряжений отраженной волны действительно становится растягивающей. Но тангенциальная составляющая тензора напряжений отраженной волны стала сжимающей. А энергии в волне к моменту отражения осталось так мало, что волна способна только производить локальные разрушения в ослабленных местах массива.

Волновая фаза взрыва есть обыкновенное ослабленное продолжение сильной волны напряжений. Граница между этими фазами определяется по равенству максимального радиального напряжения в волне пределу прочности породы на сжатие. Сильная волна напряжений в камуфлетной зоне распространяется на метры от заряда, а волна в волновой фазе распространяется на километры от заряда. Внешний радиус зоны образования радиальных трещин определяется по равенству максимального тангенциального напряжения в волне пределу прочности породы на растяжение. Радиальные трещины перестают расти задолго до выхода волны напряжений к обнаженной поверхности.

Волновая фаза взрыва выполняет важную роль «спускового крючка». Отраженная от обнаженной поверхности волна напряжений распространяется назад вглубь массива, доходит до еще замкнутой полости, заполненной продуктами детонации. С этого момента начинается вторая стадия расширения полости, уже по другим законам, за счет оставшейся энергии продуктов детонации. С этого момента начинается развитие квазистатической фазы взрыва.

Под квазистатическим действием взрыва мы понимаем физические процессы, происходящие в газовой полости и в породном массиве с момента прихода отраженной волны к газовой полости и до момента прорыва продуктов детонации в атмосферу через разрушенную породу у обнаженной поверхности.

Если волна напряжений не вернется к остановившейся полости с продуктами детонации, или волна придет чрезвычайно ослабленной, вторичной стадии расширения полости не будет. Квазистатическая фаза не реализуется, и основная масса породы останется нераздробленной. Только около скважины будет небольшой объем раздробленной породы, образовавшийся при развитии камуфлетной фазы взрыва.

Наличие квазистатической фазы взрыва упоминается в научно-технической литературе давно под разными терминами. Эту фазу называют поршневым действием взрыва, или газовым фактором, или фугасным действием взрыва. Иногда квазистатическим действием взрыва в литературе называют понятия, совершенно отличные от нашего понимания содержания этого термина.

При технологическом дроблении горных пород взрывом в карьерах она иногда только упоминается и описывается качественно словами. Параметры ее участия в дроблении породы никогда не рассчитываются и никогда не измеряются экспериментально. И только в ИПКОН РАН в течение нескольких десятилетий изучением этой фазы процесса стали заниматься всерьез.

В рассматриваемом варианте энергия квазистатической фазы сопоставима, а часто и превосходит суммарную энергию камуфлетной и волновой фаз. А объем горной породы, раздробленный квазистатической фазой, в десятки раз превосходит объем породы, раздробленной камуфлетной и волновой фазами взрыва.

На рис. 3.2.1 представлены совмещенные геометрические модели камуфлетной (левой), волновой и квазистатической (правой) фаз взрыва. Две черных вертикальных полосы – это геометрические модели скважинных цилиндрических зарядов, с полушаровыми концами, радиусом, равным радиусу цилиндрического заряда. Модели зарядов на правой и левой половине рисунка окружены более толстыми цилиндрами с полушаровыми концами, равными диаметру цилиндрической камуфлетной полости. Это геометрические модели камуфлетных цилиндрических полостей, всегда образующихся вокруг цилиндрического заряда при взрыве.

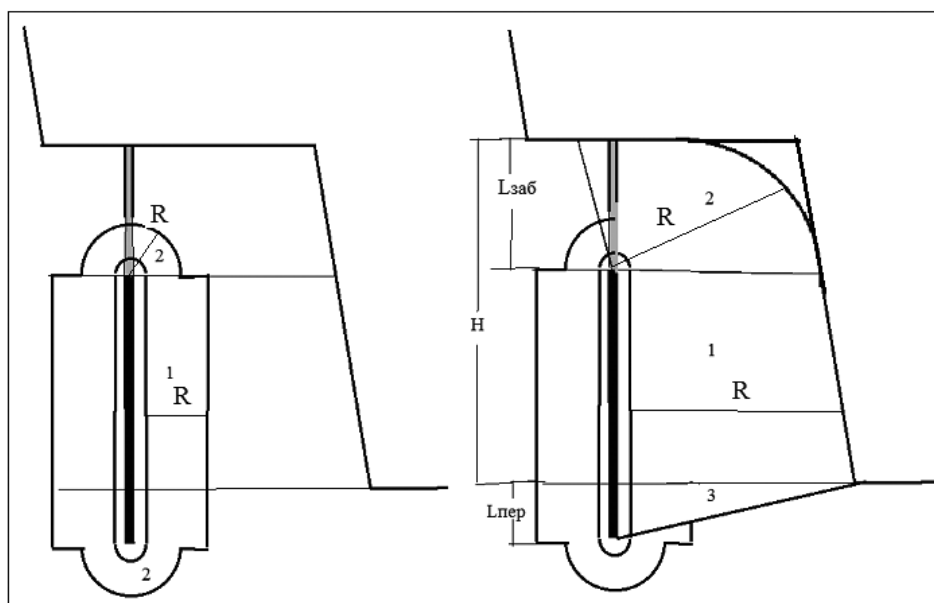


Рис. 3.2.1. Модели камуфлетной и квазистатической фаз взрыва

Полость окружают прямоугольники с полуокружностями на концах. Это сечения геометрических цилиндрических, со сферическими концами, зон камуфлетного действия взрыва.

За пределами зон камуфлетного действия взрыва во все стороны до границ рисунка и далее распространяется зона действия волновой цилиндрической и волновых сферических фаз взрыва. Зона действия волновых фаз

взрыва продолжается во всех направлениях и уходит на большие расстояния от заряда.

При развитии камуфлетной фазы взрыва на результаты действия камуфлетной и волновой фаз накладывается квазистатическое действие взрыва.

В квазистатической фазе взрыва формируются три локальные зоны. Центральная зона (1) как сектор с цилиндрической симметрией. Верхняя зона (2) как часть шара с шаровой симметрией. Нижняя зона (3) как часть конуса с цилиндрической симметрией.

В основу построения теории многофазного и многозонного развития процесса технологического дробления породы взрывом заложены следующие положения или этапы описания.

1. Энергия заряда распределяется между фазами процесса.
2. Энергия фаз процесса распределяется между частями зон ее действия (при наличии таких различий).
3. Из энергии, переданной в зону действия фазы или в часть фазовой зоны, выделяется энергия разрушения.
4. Затем осуществляется распределение энергии разрушения по объему зоны или по объему части зоны.
5. Выполняется условное разделение зоны действия фазы на расчетные объемы.
6. Определяется энергия разрушения и плотность энергии разрушения в каждом расчетном объеме.
7. Определяется линейный размер кусков дробленой породы в каждом расчетном объеме.
8. Формируется грансостав при взрыве одиночного заряда и при взрыве группы зарядов.

На каждом участке пути при продвижении от начала к концу любой решаемой задачи всегда составляется суммарный баланс энергии и сравнивается с энергией заряда. Этот прием гарантирует, что грубые ошибки в решении будут быстро обнаружены и по возможности устранены.

3.3. Модели формы кусков раздробленной породы

При дроблении в карьере горных пород взрывом образуются куски разных размеров и форм. Отобразить реальные формы многочисленных кусков различных форм не представляется возможным. Поэтому при исследованиях процессов дробления горных пород взрывом используют упрощенные модели формы кусков, как правило, в виде куба либо шара. Шар и куб удобны при исследованиях и расчетах, так как хорошо известны аналитические зависимости, связывающие линейные размеры, объемы и поверхности кусков таких форм. Но в развале отбитой горной массы кусков кубической или шарообразной формы нет.

Иван Николаевич Лапиков предложил все многообразие форм кусков, образующихся при дроблении изотропных массивов горных пород, отображать моделями кусков двух форм: псевдокубической (рис. 3.3.1) и псевдотетраэдрной (рис. 3.3.2).

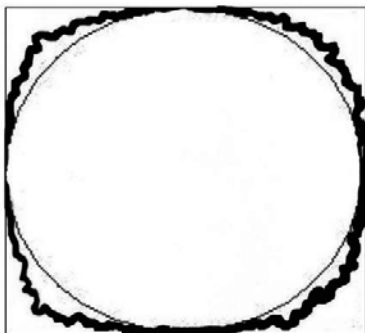


Рис. 3.3.1. Модель куска псевдокубической формы

Псевдокуб — это модель формы куска породы со строго фиксированным объемом и фиксированной площадью поверхности. Контуры поверхности псевдокуба находятся внутри куба, но снаружи вписанного в него шара, и имеют непостоянные очертания. Кусок породы псевдокубической формы — это куб с отколовшимися углами и ребрами.

Проще всего форму псевдокубического куска можно представить следующей аналогией. Внутри некоторого куба находится вписанный в него шар, который в свою очередь вложен в резиновую оболочку со стенками переменной толщины.

Если внутри этой оболочки надувать воздух, то размер ее будет увеличиваться до разных размеров в разных направлениях, заполняя внутренний объем куба, но не выходя за его границы. Любое промежуточное положение надутой резиновой оболочки представляет собой поверхность псевдокуба, а объем внутри этой оболочки является объемом псевдокуба.

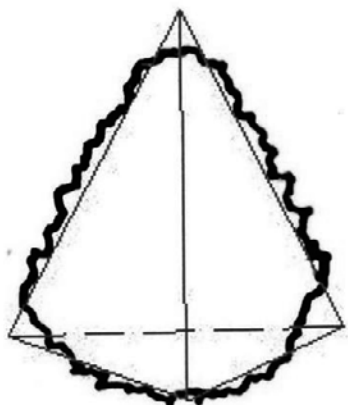


Рис. 3.3.2. Модель куска псевдотетраэдрной формы

Псевдотетраэдр — это модель формы куска породы, объем которого равен объему тетраэдра, а площадь его поверхности равна площади поверхности тетраэдра. Контуры поверхности псевдотетраэдра местами лежат вну-

три, а местами выходят за пределы контура тетраэдра и имеет непостоянные очертания. Кусок породы псевдотетраэдрной формы образуется из осколков углов куба.

Чтобы такими формами кусков можно было пользоваться при исследованиях и при решении практических задач, необходимо разработать аналитические зависимости для определения связи их линейных размеров с их объемом и поверхностью, используя известные связи для кусков кубической и шарообразной форм.

Связь между максимальным линейным размером псевдокуба и его поверхностью определяется следующим образом.

Поверхность куба S_k определяется по формуле

$$S_k = 6l_k^2, \quad (3.3.1)$$

где l_k – длина грани куба.

Поверхность вписанного в куб шара $S_{ш}$ определяется по формуле

$$S_{\theta} = 4\pi \left(\frac{l_k}{2} \right)^2 = \pi l_k^2, \quad (3.3.2)$$

где l_k – диаметр шара, равный грани куба.

Характерным параметром поверхности куба и поверхности вписанного в него шара является параметр l_k^2 . В формулах (3.3.1) и (3.3.2) перед l_k^2 стоят численные коэффициенты, 6 у куба и 3,14 у шара. Если коэффициент 3,14 у шара увеличивать, то поверхность фигуры, уже не шарообразной, будет увеличиваться. Когда коэффициент станет равным 6, фигура превратится в куб, а ее поверхность станет поверхностью куба.

Любое из промежуточных значений коэффициента может быть выбрано в качестве постоянного коэффициента в формуле определения поверхности псевдокуба. Чем больше будет выбранное значение этого коэффициента, оставаясь меньше 6, тем ближе псевдокуб будет приближаться к кубу. И наоборот, чем меньше будет выбранное значение этого коэффициента, оставаясь больше 3,14, тем ближе псевдокуб будет приближаться к шару. Предложено выбрать среднее значение коэффициента, равное 4,57, и определять поверхность псевдокуба по формуле

$$S_{pk} = 4,57 l_k^2 = 4,57 d_{pk}^2. \quad (3.3.3)$$

Аналитическая связь между максимальным линейным размером псевдокуба и его объемом определяется следующим образом.

Объем куба V_k определяется по формуле

$$V_k = l_k^3 \quad (3.3.4)$$

Объем шара $V_{ш}$ определяется по формуле

$$V_{ш} = \frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{4\pi}{3} \cdot \frac{l_k^3}{8} = \frac{\pi}{6} l_k^3. \quad (3.3.5)$$

Характерным параметром объема куба и объема вписанного в него шара является параметр l_k^3 . В формулах (3.3.4) и (3.3.5) перед l_k^3 стоят численные коэффициенты 1 у куба и $\pi/6 = 0,523$ у шара. Если коэффициент $\pi/6 = 0,523$ у куба увеличивать, то объем фигуры, уже не шара, но находящейся внутри куба, будет увеличиваться. Когда коэффициент сравняется с 1, фигура превратится в куб, а ее объем станет равным объему куба.

Любое значение коэффициента может быть выбрано в качестве постоянного коэффициента в формуле определения объема псевдокуба, но с учетом выбора коэффициента в формуле определения поверхности псевдокуба. Предложено принять для псевдокуба среднее значение коэффициента, равное 0,762. При таком коэффициенте объем псевдокуба V_{pk} определяется по формуле

$$V_{pk} = 0,762 \cdot l_k^3. \quad (3.3.6)$$

Максимальный линейный размер псевдокуба равен длине грани куба, из которого он образуется. Поэтому объем псевдокуба можно определять по формуле

$$V_{pk} = 0,762 \cdot d_{pk}^3, \quad (3.3.7)$$

где d_{pk} — максимальный линейный размер псевдокуба.

Максимальный линейный размер псевдотетраэдра принят равным половине максимального линейного размера псевдокуба и определяется по формуле

$$d_{pt} = 0,5 \cdot d_{pk}, \quad (3.3.8)$$

где d_{pt} — максимальный линейный размер псевдотетраэдра.

Площадь поверхности псевдотетраэдра S_{pt} определяется по формуле

$$S_{pt} = 1,73 \cdot d_{pt}^2 = 0,432 \cdot d_{pk}^2. \quad (3.3.9)$$

Объем псевдотетраэдра V_{pt} определяется по формуле

$$V_{pt} = 0,12 \cdot d_{pt}^3 = 0,015 \cdot d_{pk}^3. \quad (3.3.10)$$

Куб и шар имеют строго фиксированные количественные соотношения между гранями, поверхностями, объемами и радиусами. Они имеют строго фиксированное состояние поверхностей. У куба это шесть плоских поверхностей. У шара это шаровая поверхность.

Псевдокуб и псевдотетрадр тоже имеют строго фиксированные количественные соотношения между максимальными линейными размерами, поверхностями и объемами. Но их состояние поверхности строго не фиксируется. Выступы и впадины на разных кусках могут находиться в самых разных местах. По известному максимальному линейному размеру псевдокуба можно рассчитать все параметры псевдокуба и псевдотетраэдра. Можно рассчитать их максимальные линейные размеры, их объемы и их поверхности.

Полученные аналитические зависимости между максимальными линейными размерами кусков псевдокубической и псевдотетраэдрной форм, их объемами и поверхностями дают возможность использовать предложенные формы кусков при исследовании физических процессов дробления породы взрывом.

3.4. Особенности дробления горных пород в карьере

Технологическое дробление породы взрывом, которое реализуется на близких расстояниях от места взрыва скважинного заряда, осуществляется под воздействием трех фаз процесса: камуфлетной, волновой и квазистатической.

Фазы процесса сопрягаются и накладываются одна на другую во времени и пространстве.

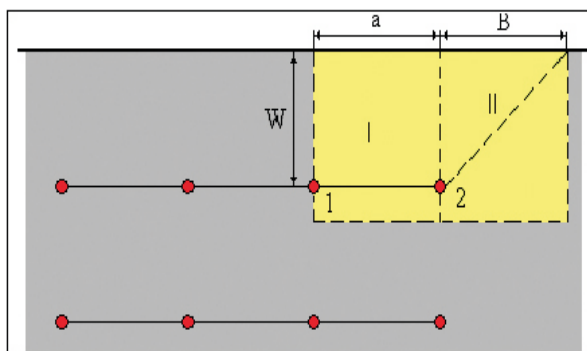


Рис. 3.4.1. Схема расположения объемов I и II при порядной схеме взрывания

Наиболее распространенной сеткой обурирования скважин на уступе карьера является квадратная. При квадратной сетке обурирования чаще всего применяют порядные или диагональные схемы короткозамедленного взрывания, рассмотрев которые, нами были определены два объема, свойственные выбранной группе схем взрывания. Условия взрывания, закономерности развития процессов и результаты дробления, определенные для выбранных объемов, могут быть распространены на весь массив горных пород, подвергающийся разрушению согласно выбранной схеме взрывания. Именно конкретные выбранные объемы являются основой модели разрушения массива горных пород и объектом компьютерного моделирования.

Чтобы определить характер распределения плотности энергии взрыва во всем отбиваемом объеме при многорядном взрывании скважинных зарядов, достаточно определить его для двух объемов, показанных на рис. 4.3.1 и 4.3.2.

Все другие объемы отбиваемой породы при многорядном взрывании являются повторениями выделенных расчетных объемов.

Исследуемый объем I представляет собой часть массива, отбиваемого между двумя одновременно взрывающимися зарядами в ряду и ограничивается, с одной стороны, ЛНС, а с другой стороны — расстоянием между

скважинными зарядами в ряду. Объем II является частью массива, примыкающего к крайнему скважинному заряду в ряду и ограничивается, с одной стороны, ЛНС, а с другой стороны – полушириной воронки разрушения, формирующейся в момент начала прорыва продуктов детонации в атмосферу квазистатической фазы развития взрыва.

На представленных рис. 3.4.1 и 3.4.2: W – линия наименьшего сопротивления; a – расстояние между скважинами в ряду одновременно взрывающихся скважинных зарядов; B – полуширина воронки выброса, формирующаяся в момент начала прорыва продуктов детонации в атмосферу квазистатической фазы взрыва; сплошной линией обозначена обнаженная поверхность; кружочками красного цвета показаны скважинные заряды; цифрами 1 и 2 выделены рассматриваемые скважинные заряды. На рис. 3.4.1 показано положение и основные параметры объемов I и II при порядной схеме взрывания, а на рис. 3.4.2 при диагональной схеме взрывания.

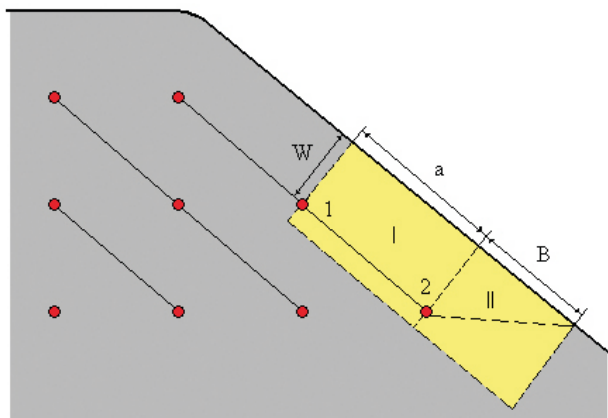


Рис. 3.4.2. Схема расположения объемов I и II при диагональной схеме взрывания

Нами была принята физическая модель процесса передачи и распределения плотности энергии взрыва в зоне технологического дробления породы при групповом взрывании скважинных зарядов, в соответствии с которой в зоне технологического дробления породы распределение плотности энергии формируется под действием трех фаз процесса: камуфлетной, волновой и квазистатической, соприкасающихся границами и накладывающихся друг на друга во времени и пространстве. В каждом из выделенных нами расчетных объемов энергетическая характеристика является суммой энергетических характеристик, сформировавшихся под воздействием камуфлетной фазы, падающей волны напряжений, отраженной волны напряжений и квазистатической фазы действия взрыва. В объеме I между двумя соседствующими скважинными зарядами в ряду суммируются восемь энергетических характеристик, за пределами крайнего заряда в ряду суммируются четыре.

Несмотря на одинаковую сетку обурирования, положение и параметры объемов I и II при порядной и диагональной схеме взрывания существенно различаются.

Положение скважинного заряда в массиве горных пород карьерного блока способствует формированию трех слоев по высоте уступа, в каждом из которых разная симметрия развития процессов, разное количество обнаженных поверхностей и разное их положение по отношению к заряду взрывчатого вещества. Каждый из этих слоев описывается своими аналитическими зависимостями.

Анализ и сопоставление распределения плотностей энергии взрыва выбранных нами объемов разрушаемого массива горных пород при различных схемах взрывания позволяет объективно судить о недостатках и преимуществах рассматриваемых схем взрывания на стадии проектировки БВР.

3.5. Гипотеза многоуровневого дробления горных пород взрывом

В технической литературе используется модель дробления породы взрывом на куски, в соответствии с которой с удалением от центра взрыва размер кусков возрастает. На любом конкретном расстоянии от центра взрыва образуются куски одного размера. Вдоль радиуса образуется цепочка кусков с возрастающим размером.

Ситовой анализ результатов дробления взрывом разноцветных бетонных блоков показывает, что в условно выделенном объеме в любом месте блока образуется множество кусков различных размеров, от крупных кусков до пылевидных частиц. При таком дроблении площадь вновь образованной поверхности существенно превышает значение площади поверхности, определяемой по гипотезе одноуровневого дробления породы. Для ее образования необходимо затратить гораздо больше энергии. Величина вновь образованной поверхности является важным параметром при расчетах крупности дробления породы взрывом.

С целью адекватного отображения результатов дробления с учетом образования мелких фракций в любом месте наряду с крупными кусками, д.т.н. Н.Н. Казаковым предложена многоуровневая гипотеза дробления породы взрывом. В этой гипотезе за дробимый элемент принимается условно выделенный объем породы, размер которого выбирается по условию достаточной его энергонасыщенности [38].

В соответствии с предположенной гипотезой на каждом уровне дробления породы образуются куски псевдокубической и псевдотетраэдрной форм. Количество кусков псевдокубической формы, образующееся из дробимого объема породы на любом уровне, определяется по формуле

$$N_{pki} = 12i, \quad (3.5.1)$$

где i – номер уровня дробления породы.

Количество кусков псевдотетраэдрной формы, образующееся в восьми углах дробимого кубического объема породы на любом уровне, определяется по формуле

$$N_{pti} = 8 \cdot N_{pki}. \quad (3.5.2)$$

Суммарное количество образующихся кусков псевдокубической и псевдотетраэдрной формы на любом уровне дробления определяется по формуле

$$N_i = N_{pki} + N_{pti} . \quad (3.5.3)$$

Суммарный объем образующихся кусков на любом уровне дробления определяется по формуле

$$V_i = N_{pki} \cdot V_{pki} + N_{pti} \cdot V_{pti} = 0,882^i \cdot d_{pk0}^3 . \quad (3.5.4)$$

На любом уровне дробления образуется остаточный объем породы, который на следующих уровнях дробится на более мелкие куски. Его величина определяется по формуле

$$V_{oi} = 0,118^i d_{pk}^3 . \quad (3.5.5)$$

Объем дробимого элемента кубической формы на любом уровне дробления определяется по формуле

$$V_{ki} = \frac{V_{oi}}{N_{pki}} . \quad (3.5.6)$$

Максимальный линейный размер псевдокуба на любом уровне дробления определяется по формуле

$$d_{pki} = \sqrt[3]{V_{ki}} . \quad (3.5.7)$$

Максимальный линейный размер одного куска породы псевдотетраэдрной формы на любом уровне дробления определяется по формуле

$$d_{pti} = 0,5 \cdot d_{pki} . \quad (3.5.8)$$

Объем восьми кусков породы псевдотетраэдрной формы, образующихся во всех углах дробимого кубического объема и сопутствующих одному псевдокубу, определяется по формуле

$$8V_{pt} = 0,12d_{pk}^3 . \quad (3.5.9)$$

В таблице 3.5.1 представлены результаты расчета количества кусков, образующихся на разных уровнях одного условно выделенного объема породы.

В первом столбце представлены номера десяти уровней дробления. Во втором и третьем столбцах представлены, соответственно, количество кусков псевдокубической формы и количество кусков псевдотетраэдрной формы, образующихся на разных уровнях дробления выделенного кубического объема.

В четвертом столбце представлено суммарное количество кусков, образующихся на каждом уровне дробления. По гипотезе одноуровневого дробления породы в дробимом элементе сформировался бы один кусок. По гипотезе десятиуровневого дробления породы только на девятом уровне в дробимом элементе сформировалось более пяти миллиардов кусков псевдокубической формы и более сорока одного миллиарда кусков псевдотетраэдрной формы.

Таблица 3.5.1.

**Количество кусков псевдокубической (N_{pk})
и псевдотетраэдрной (N_{pt}) форм в дробимом объеме**

Уровень	N_{pk}	N_{pt}	ΣN
0	1	8	9
1	12	96	108
2	144	1152	1296
3	1728	13824	15552
4	20736	165888	186624
5	248832	1990656	2239488
6	2985984	23887872	26873856
7	35831808	286654464	322486272
8	429981696	3439853568	3869835264
9	5159780352	41278242816	46438023168

Площадь вновь образованной поверхности одной группы кусков, состоящей из одного псевдокуба и восьми псевдотетраэдров, на любом уровне дробления определяется по формуле

$$S_{li} = 8,03(d_{pk})^2.$$

Площадь вновь образованной поверхности всех групп кусков на любом уровне дробления определяется по формуле

$$S_i = S_{li} \cdot N_i.$$

Вновь образованная поверхность всех кусков на всех уровнях дробления определяется по формуле

$$S_V = \sum_i S_i.$$

Предложенная гипотеза многоуровневого дробления горных пород взрывом более адекватно отображает структуру раздробленной взрывом горной массы, состоящую из большого количества кусков разного размера в любом месте дробимого массива. Она использована нами для определения величины вновь образованной поверхности при дроблении породы, при расчетах крупности дробления породы взрывом.

Глава 4. Цилиндрическая камуфлетная фаза взрыва

4.1. Модель камуфлетной фазы и геометрические параметры зон ее действия

Зона камуфлетного действия взрыва охватывает относительно небольшой объем отбиваемой горной массы. Но на реализацию этой фазы взрыва затрачивается большая доля энергии заряда. Под термином «камуфлетное действие взрыва» будем понимать первую фазу взаимодействия взрыва с горной породой, которая развивается при любых взрывах в зоне, прилежащей к промышленному заряду, независимо от присутствия или отсутствия обнаженной поверхности и воронки выброса.

Форма цилиндрического заряда в карьере, его положение по отношению к верхней и боковой обнаженным поверхностям, расположение части заряда в перебуре обусловили формирование по высоте уступа трех зон. Первая зона примыкает к цилиндрической части заряда и развивается с цилиндрической симметрией. Вторая и третья фазовые зоны практически лежат над зарядом и под зарядом и развиваются со сферической симметрией [53, 57].

Во время развития камуфлетной фазы воздействия взрыва на горную породу процесс еще не ощущает наличия обнаженных поверхностей, и развивается во все стороны от заряда, в том числе и противоположном направлении от обнаженной поверхности.

Под цилиндрической камуфлетной фазой взрыва будем понимать часть первой фазы взаимодействия взрыва скважинного заряда с горным массивом при максимальном напряжении на фронте волны выше предела прочности породы на сжатие. Эта часть фазы взрыва развивается в массиве горных пород, примыкающих к скважинному заряду, на участке от забойки до подошвы обуренного уступа. На рис. 4.1.1 эта часть зоны действия цилиндрической камуфлетной фазы взрыва отмечена цифрой 1.

На рис. 4.1.1 представлены: предложенная модель формы цилиндрического скважинного заряда, газовой полости и зоны камуфлетного действия взрыва.

Центральная затемненная вытянутая фигура на рис. 4.1.1 — это модель скважинного карьерного промышленного заряда взрывчатого вещества в скважине. Центральная светлая полость — это газовая полость к концу развития камуфлетной фазы взрыва скважинного карьерного заряда. К концу развития камуфлетной фазы взрыва газовая полость заполнена продуктами детонации. Затемненный цилиндрический объем с примыкающими к нему полусферическими объемами — это камуфлетная зона в породном массиве к концу развития камуфлетной фазы взрыва, заполненная раздробленным или частично разрушенным породным материалом.

За пределами камуфлетной зоны во все стороны распространяются волны напряжений. В центральной части зоны волны напряжений имеют цилиндрическую симметрию, в верхней и в нижней части волны напряжений имеют сферическую симметрию. Радиусы внешних границ камуфлетной

зоны являются радиусами излучения цилиндрических и сферических волн напряжений с максимальными напряжениями на фронте волны меньше предела прочности породы на сжатие.

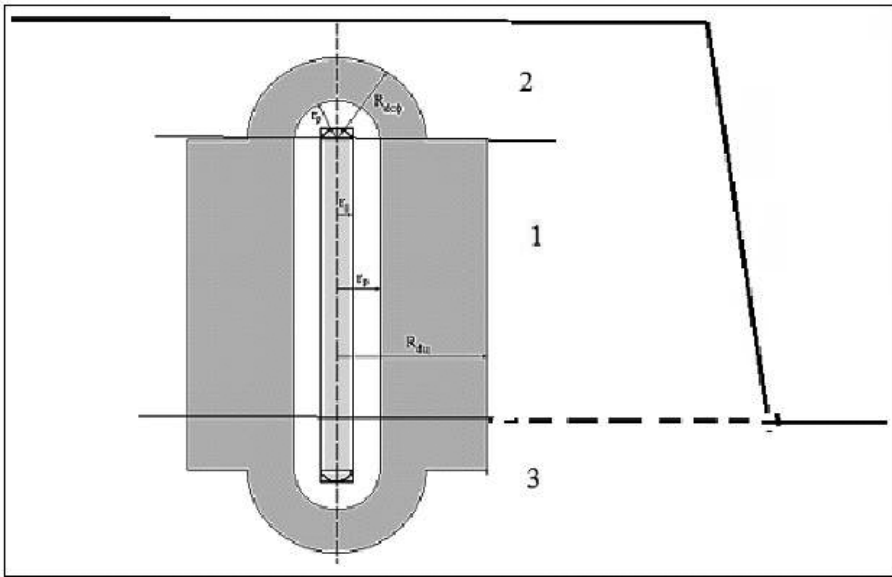


Рис. 4.1.1. Схема принятой модели зоны действия камуфлетной фазы взрыва скважинного заряда в карьере

Закономерности развития волновых фаз взрыва существенно отличаются от закономерностей развития камуфлетных фаз взрыва. В этой главе излагаются только закономерности развития цилиндрической камуфлетной фазы взрыва.

В соответствии с предложенной моделью форма заряда принимается в виде цилиндра с полусферами на концах заряда. Радиус полусфер r_0 принимается равным радиусу скважинного заряда. Принята такая же форма камуфлетной газовой полости. Приняты одинаковые радиусы r_p цилиндрической и сферической частей газовой полости. Радиус цилиндрической зоны действия камуфлетной фазы взрыва $R_{дц}$ и радиус сферической части камуфлетной зоны $R_{дсф}$ имеют разные численные значения из-за разной симметрии расхождения волн.

Параметры цилиндрической и сферической камуфлетных фаз тесно связаны между собой. Они еще не разделены во времени и в пространстве. Поэтому некоторые параметры их развития целесообразно рассмотреть совместно.

Масса промышленного скважинного заряда в карьере определяется по формуле

$$M = \pi r_0^2 \rho_0 (L_{скв} - L_{зab}),$$

где ρ_0 – плотность заряжания; $L_{скв}$ – глубина скважины; $L_{зab}$ – длина забойки.

Верхняя часть скважины в условиях карьера не всегда заполняется забоечным материалом. Поэтому под длиной забойки в этой формуле следует понимать верхнюю часть скважины, не заполненную взрывчатым веществом.

В производственных условиях при оперативном проектировании буровзрывных работ и при зарядании скважин большее распространение получила формула для определения массы скважинного заряда

$$M = L_{зар} p,$$

где p – вместимость одного метра скважин в кг.

Энергия заряда (в джоулях) рассчитывается по формуле

$$\mathcal{E}_{зар} = 4186,8 M Q,$$

где Q – теплота взрыва ВВ, ккал/кг.

Формулу определения объема камуфлетной газовой полости позаимствовали из работы академика В.В. Адушкина [2, 3]

$$V_p = \frac{38 \mathcal{E}_{зар}}{\rho c^2} \left(\frac{\rho c^2}{250 \sigma_{сж}} \right)^{2/3},$$

где ρ – плотность породы; c – скорость продольных волн в породе; $\sigma_{сж}$ – предел прочности породы на сжатие.

Радиус камуфлетной полости определяется следующим образом. Составляется специальное уравнение разницы объема модели заряда и объема камуфлетной полости. Корень этого уравнения r_p , искомый радиус камуфлетной полости. Уравнение решали автоматически программными средствами MathCad.

$$r_p := \text{root} \left[\left[\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r_0^3 + [\pi \cdot r_0^2 \cdot (L_{зар} - 2 \cdot r_0)] - V_p \right], r_0 \right].$$

Радиусы и объемы камуфлетных полостей определяются из совместного решения уравнений:

$$V_{pц} = \pi r_p^2 (L_{зар} - 2r_0); V_{pсф} = \frac{4}{3} \pi r_0^3; V_p = V_{pц} + V_{pсф},$$

где $V_{pц}$ – объем цилиндрической части полости; $V_{pсф}$ – объем сферической части полости.

С использованием разработанных и позаимствованных математических зависимостей разработаны компьютерные программы в программной оболочке MathCad для определения численных значений многих параметров цилиндрической квазистатической фазы взрыва.

$M := \pi \cdot r_0^2 \cdot L_{зар} \cdot \rho_0$	Масса заряда	$M = 486 \text{ кг}$
$\mathcal{E}_з := M \cdot Q \cdot 1000 \cdot 4.1868$	Энергия заряда	$\mathcal{E}_з = 2034638738 \text{ Дж}$
Параметры в полости и при ее расширении		
Объем газовой полости к концу первой стадии ее расширения		
$V_p := \frac{38 \cdot \mathcal{E}_з}{\rho \cdot c^2} \cdot \left(\frac{\rho \cdot c^2}{250 \cdot \sigma_{сж}} \right)^{\frac{2}{3}}$		$V_p = 1.91 \text{ м}^3$
Составляется специальное уравнение разницы объема модели заряда и объема камуфлетной полости. Корень этого уравнения, искомый радиус камуфлетной полости. Уравнение решается автоматически программными средствами MatCad.		
$gr := \text{root} \left[\left[\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r_0^3 + [\pi \cdot r_0^2 \cdot (L_{зар} - 2 \cdot r_0)] - V_p \right], r_0 \right]$		$gr = 0.237 \text{ м}^3$
$gr_{сф} := gr$		$gr_{сф} = 0.237 \text{ м}^3$
Радиусы цилиндрической и сферической частей газовой полости принимаются равными		
	$gr = 0.237 \text{ м}$	$gr_{сф} = 0.237 \text{ м}$
Объем цилиндрической части зарядной полости		
$V_{ц} := \pi \cdot r_0^2 \cdot (L_{зар} - 2 \cdot r_0)$		$V_{ц} = 0.53 \text{ м}^3$

Рис. 4.1.2. Фрагмент компьютерной программы определения объемов и радиусов цилиндрической камуфлетной полости

На рис. 4.1.2 представлен фрагмент компьютерной программы определения радиусов и объемов частей газовой полости.

Во фрагменте компьютерной программы определяются масса и энергия заряда, объем и радиус цилиндрической квазистатической полости.

Радиус цилиндрической части камуфлетной полости принимается равным радиусу сферической части полости

$$r_{rc} = r_{pcf} = r_p.$$

Внешняя граница камуфлетной полости определяется по условию равенства максимального напряжения в волне пределу прочности породы на сжатие. Но так как расчеты ведутся в скоростях смещения частиц в волне напряжений, предложено максимальную массовую скорость определять по формуле

$$U = \frac{c \sigma_{сж} (1 - \mu^2)}{E (1 - 0,36 \mu)},$$

где E – модуль упругости горной породы; μ – коэффициент Пуассона горной породы; c – скорость продольной волны в породе; $\sigma_{сж}$ – предел прочности породы на сжатие.

Эта максимальная массовая скорость в волне напряжений является критерием внешней границы камуфлетной зоны действия взрыва.

Радиусы внешних границ цилиндрической и сферической частей камуфлетной зоны являются радиусами излучения цилиндрической и сферической волн напряжений.

Радиус излучения цилиндрической волны напряжений определяется по формуле [2, 3].

$$R_{dц} = r_{рц} \sqrt{\frac{\rho c^2}{4\sigma_{сж}}}$$

Радиус излучения сферической волны напряжений определяется по формуле

$$R_{dсф} = r_{рсф} \sqrt[3]{\frac{\rho c^2}{4\sigma_{сж}}}$$

На внешних границах цилиндрической и сферической камуфлетной зоны формируется одинаковая максимальная массовая скорость. Но она формируется на разных расстояниях от центра взрыва.

Это обусловлено разными показателями расхождения волн в цилиндрической и в сферической частях зоны.

Длина волны на границе цилиндрической зоны определяется по формуле излучения и максимальной массовой скорости на границе излучения

$$\Lambda = 3R_{dц}$$

На рис. 4.1.3 представлен фрагмент компьютерной программы расчета радиусов излучения и максимальной массовой скорости на границе излучения.

Расчет сделан для условий взрывания скважинного заряд тротила диаметром 250 мм в граните.

После взрыва заряда объем газовой полости составил 1,95 м³. Радиус излучения волны напряжений, внешний радиус камуфлетной цилиндрической полости составил 1.98 м, внешний радиус камуфлетной сферической части полости составил 0,97 м. Длина цилиндрической волны 5,9 м. Максимальная массовая скорость на границе излучения волны 11,8 м/с.

Радиус излучения цилиндрической волны	
$Rd := r_p \cdot \sqrt{\frac{\rho \cdot c^2}{4 \cdot \sigma_{сж}}}$	$Rd = 1.96 \text{ м}$
Радиус излучения сферической волны	
$Rdсф := r_p \cdot \sqrt[3]{\frac{c^2 \cdot \rho}{4 \cdot \sigma_{сж}}}$	$Rdсф = 0.97 \text{ м}$
Максимальная массовая скорость на границе излучения цилиндрической и сферической волн одинаковая и определяется по формуле	
$U := \frac{(c \cdot \sigma_{сж}) \cdot (1 - \mu^2)}{E \cdot (1 - 0.36 \cdot \mu)}$	$U = 11.8 \text{ м/с;}$
$\Lambda := 3 \cdot Rd$	Длина цилиндрической волны $\Lambda = 5.89 \text{ м}$

Рис. 4.1.3. Фрагмент программы определения радиусов

4.2. Определение энергии цилиндрической и сферической волн на границе излучения

Для определения энергии, переданной в цилиндрическую и сферическую волны, необходимо и достаточно определить тензор изменения относительных деформаций в волнах напряжений на границе излучения волн.

Изменение относительной радиальной и тангенциальной деформации по длине волны определяются по предложенным формулам

$$\varepsilon_r = \frac{-U}{0.18 \cdot c \cdot \Lambda} \left(2\lambda - \frac{3\lambda^2}{0.54 \cdot \Lambda} \right), \text{ при } 0 \leq \lambda \leq 0.36\Lambda;$$

$$\varepsilon_r = \frac{-2.222 \cdot U}{c \cdot \Lambda} \left(\left(\frac{3\lambda^2}{0.54 \cdot \Lambda} - 6\lambda \right) + 1.44\Lambda \right), \text{ при } 0.36\Lambda \leq \lambda \leq 0.54\Lambda;$$

$$\varepsilon_r = \frac{-0.4U}{c\Lambda} \left(\frac{2\lambda}{0.92} - 2.17 \cdot \Lambda \right), \text{ при } 0.54\Lambda \leq \lambda \leq \Lambda.$$

где ε_r – радиальная относительная деформация; λ – фаза длины волны; U — максимальная массовая скорость частиц на границе излучения волн; c — скорость продольной волны в породе;

Изменение относительной тангенциальной деформации по длине волны определяются по предложенным формулам

$$\varepsilon_{\Theta} = \frac{U}{0.18 \cdot c \cdot \Lambda \cdot R_{du}} \left(\lambda^2 - \frac{\lambda^3}{0.54 \cdot \Lambda} \right), \text{ при } 0\Lambda \leq \lambda \leq 0.36\Lambda;$$

$$\varepsilon_{\Theta} = \frac{0.4U}{0.18c\Lambda R} \left(\left(\frac{\lambda^3}{0.54\Lambda} - 3\lambda^2 \right) + 1.44\lambda\Lambda - 0.108\Lambda^2 \right), \text{ при } 0.36\Lambda \leq \lambda \leq 0.54\Lambda;$$

$$\varepsilon_{\Theta} = \frac{0.4U}{c\Lambda \cdot R_{du}} \left(\frac{\lambda^2}{0.92} - 2.17 \cdot \lambda\Lambda + 1.335 \cdot \Lambda^2 \right), \text{ при } 0.54\Lambda \leq \lambda \leq \Lambda$$

где ε_{Θ} – тангенциальная относительная деформация; λ – фаза длины волны.

С шагом счета $0,25\Lambda$

$\lambda := 0, 0,25 \dots \Lambda$

Радиальная относительная деформация в
цилиндрической волне $\varepsilon_r(\lambda)$ на каждом шаге расчета

$$\varepsilon_{r1}(\lambda) := \frac{-U}{0,18 \cdot c \cdot \Lambda} \cdot \left(2\lambda - \frac{3\lambda^2}{0,54 \cdot \Lambda} \right)$$

$$\varepsilon_{r2}(\lambda) := \frac{-0,4 \cdot U}{c \cdot \Lambda \cdot 0,18} \cdot \left(\frac{3\lambda^2}{0,54 \cdot \Lambda} - 6 \cdot \lambda + 1,44 \cdot \Lambda \right)$$

$$\varepsilon_{r3}(\lambda) := \frac{-0,4 \cdot U}{c \cdot \Lambda} \cdot \left(\frac{2\lambda}{0,92} - 2,17 \cdot \Lambda \right)$$

$$\varepsilon_r(\lambda) := \begin{cases} \varepsilon_{r1}(\lambda) & \text{if } 0 < \lambda \leq 0,36 \cdot \Lambda \\ \varepsilon_{r2}(\lambda) & \text{if } 0,36 \cdot \Lambda < \lambda \leq 0,54 \cdot \Lambda \\ \varepsilon_{r3}(\lambda) & \text{if } 0,54 \cdot \Lambda < \lambda \leq \Lambda \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Рис. 4.2.1. Фрагмент компьютерной программы определения радиальных фазовых относительных деформаций

На рис. 4.2.1 и рис. 4.2.2 представлены фрагменты компьютерной программы определения фазовых относительных деформаций вдоль длины волны.

Фазовые деформации определяются при условии фиксированного положения цилиндрической поверхности, через которую проходит волна, и последовательного изменения фазы волны по ее длине от 0 до Λ .

Изменение составляющих тензора напряжений вдоль длины волны на границе излучения определяются по известным зависимостям [3]

$$\sigma_r = \frac{E}{1 - \mu^2} (\varepsilon_r + \mu \varepsilon_\Theta);$$

$$\sigma_\Theta = \frac{E}{1 - \mu^2} (\varepsilon_\Theta + \mu \varepsilon_r);$$

$$\sigma_z = \mu(\sigma_r + \sigma_\Theta),$$

где $\sigma_r, \sigma_\Theta, \sigma_z$ – составляющие тензора напряжений; E – модуль упругости; μ – коэффициент Пуассона.

Тангенциальная относительная деформация в цилиндрической волне $\varepsilon_{\theta}(\lambda)$ на шаге расчета

$$\varepsilon_{\theta 1}(\lambda) := \frac{U}{0.18 \cdot c \cdot \Lambda \cdot R} \cdot \left(\lambda^2 - \frac{\lambda^3}{0.54 \cdot \Lambda} \right)$$

$$\varepsilon_{\theta 2}(\lambda) := \frac{0.4 \cdot U}{c \cdot \Lambda \cdot R \cdot 0.18} \cdot \left(\frac{\lambda^3}{0.54 \cdot \Lambda} - 3 \cdot \lambda^2 + 1.44 \cdot \Lambda \cdot \lambda - 0.108 \cdot \Lambda^2 \right)$$

$$\varepsilon_{\theta 3}(\lambda) := \frac{0.4 \cdot U}{c \cdot \Lambda \cdot R} \cdot \left[\frac{\lambda^2}{0.92} - (2.17 \cdot \Lambda \cdot \lambda) + 1.335 \cdot \Lambda^2 \right]$$

$$\varepsilon_{\theta}(\lambda) := \begin{cases} \varepsilon_{\theta 1}(\lambda) & \text{if } 0 < \lambda \leq 0.36 \cdot \Lambda \\ \varepsilon_{\theta 2}(\lambda) & \text{if } 0.36 \cdot \Lambda < \lambda \leq 0.54 \cdot \Lambda \\ \varepsilon_{\theta 3}(\lambda) & \text{if } 0.54 \cdot \Lambda < \lambda \leq \Lambda \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Рис. 4.2.2. Фрагмент компьютерной программы определения тангенциальных фазовых относительных деформаций

На рис. 4.2.3 представлен фрагмент компьютерной программы определения главных составляющих тензора напряжений. Во фрагменте программы определяются: главное радиальное напряжение, главное тангенциальное напряжение и главное осевое напряжение.

Эти фрагменты программы и им подобные используются не только при определении фазовых деформаций на границе излучения волны, но и при распространении волн напряжений за пределами камуфлетной зоны.

Энергия волны напряжений, которую она пронесет через цилиндрическую поверхность с радиусом R_{dcf} , определяется предложенной по формуле

$$\mathcal{E}_{вц} = \frac{\pi(L - 2r_0)R_{dcf}}{E} \left[\int_0^{\Lambda} \left(\sigma_r^2 + \sigma_{\theta}^2 + \sigma_z^2 \right) - 2\mu(\sigma_r \sigma_{\theta} + \sigma_{\theta} \sigma_z + \sigma_z \sigma_r) d\lambda \right]$$

где L – длина скважинного заряда.

Относительные деформации в сферической волне определяются по тем же формулам с заменой R_{dcf} на R_{scf} с определением $\Lambda = 3R_{scf}$ и с определением $\sigma_z = \sigma_{\theta}$.

Энергия волны напряжений, которую она пронесет через сферическую поверхность с радиусом R_{scf} , определяется по предложенной формуле

$$\mathcal{E}_{всф} = \frac{2\pi R_{scf}^2}{E} \left[\int_0^{\Lambda} \left(\sigma_r^2 + \sigma_{\theta}^2 + \sigma_z^2 \right) - 2\mu(\sigma_r \sigma_{\theta} + \sigma_{\theta} \sigma_z + \sigma_z \sigma_r) d\lambda \right]$$

Расчет фазовых напряжений

Радиальная, тангенциальная и осевая составляющие тензора напряжений в цилиндрической волне на каждом шаге расчета

$$\sigma_1(\lambda) := \frac{E}{1 - \mu^2} \cdot (\varepsilon_r(\lambda) + \mu \cdot \varepsilon_\theta(\lambda))$$

$$\sigma_2(\lambda) := \frac{E}{1 - \mu^2} \cdot (\varepsilon_\theta(\lambda) + \mu \cdot \varepsilon_r(\lambda))$$

$$\sigma_3(\lambda) := \mu \cdot (\sigma_1(\lambda) + \sigma_2(\lambda))$$

Перевод напряжений в мегапаскали

$$\sigma_{11}(\lambda) := \frac{\sigma_1(\lambda)}{1000000} \quad \sigma_{33}(\lambda) := \frac{\sigma_3(\lambda)}{1000000} \quad \sigma_{22}(\lambda) := \frac{\sigma_2(\lambda)}{1000000}$$

Рис. 4.2.3. Фрагмент компьютерной программы определения главных составляющих тензора напряжений

На рис. 4.2.4 представлен фрагмент компьютерной программы определения энергии, излученной в цилиндрическую и в сферическую волну. Определение параметров волны напряжений и энергетических параметров на внешней границе камуфлетной зоны определяются при фиксированных значениях внешних радиусов камуфлетных зон.

Энергия рассчитывается в Джоулях и в процентах по отношению к энергии всего заряда. В цилиндрическую волну напряжений передано 4% энергии заряда, в сферическую волну напряжений передано 0,23% энергии заряда.

Энергия, переданная в цилиндрическую и сферическую волны напряжений, определяется по формуле

$$\mathcal{E}_6 = \mathcal{E}_{вц} + \mathcal{E}_{есф}.$$

Энергия, затраченная на разрушение породы в камуфлетной зоне взрыва, определяется по предложенной формуле

$$\mathcal{E}_{рк} = \mathcal{E}_з - (\mathcal{E}_o + \mathcal{E}_6).$$

Энергия, излученная в цилиндрическую волну		
Промежеточный параметр $A(\lambda)$		
$A(\lambda) := 2 \cdot \mu \cdot (\sigma_1(\lambda) \cdot \sigma_2(\lambda) + \sigma_2(\lambda) \cdot \sigma_3(\lambda) + \sigma_3(\lambda) \cdot \sigma_1(\lambda))$		
$\text{Эвц} := \frac{\pi \cdot R \cdot (L_{\text{зар}} - 2 \cdot r_0)}{E} \cdot \int_0^{\Lambda} [[(\sigma_1(\lambda))^2 + (\sigma_2(\lambda))^2 + (\sigma_3(\lambda))^2 - A(\lambda)]] d\lambda$		
$\text{Эвц} = 81345584 \quad \text{Дж}$	$\text{Эвц}\% := \frac{\text{Эвц} \cdot 100}{\text{Эз}}$	$\text{Эвц}\% = 4 \quad \%$
Энергия, излученная в сферическую волну		
Промежеточный параметр $A(\lambda)$		
$A(\lambda) := 2 \cdot \mu \cdot (\sigma_1(\lambda) \cdot \sigma_2(\lambda) + \sigma_2(\lambda) \cdot \sigma_3(\lambda) + \sigma_3(\lambda) \cdot \sigma_1(\lambda))$		
$\text{Эвсф} := \frac{\pi \cdot 2 \cdot R^2}{E} \cdot \int_0^{\Lambda} [[(\sigma_1(\lambda))^2 + ((\sigma_2(\lambda)))^2 \cdot 2 - A(\lambda)]] d\lambda$		
$\text{Эвсф}\% := \frac{\text{Эвсф} \cdot 100}{\text{Эз}}$	$\text{Эвсф} = 4654213 \quad \text{Дж}$	$\text{Эвсф}\% = 0.23 \quad \%$
Энергия, излученная в цилиндрическую и в сферическую волну		
$\text{Эво} := \text{Эвц} + \text{Эвсф}$	$\text{Эво} = 85999797 \quad \text{Дж}$	
$\text{Эво}\% := \frac{(\text{Эвц} + \text{Эвсф}) \cdot 100}{\text{Эз}}$	$\text{Эво}\% = 4.2 \quad \%$	

Рис. 4.2.4. Фрагмент компьютерной программы определения энергии, излученной в цилиндрическую и в сферическую волну

С использованием изложенных формул составлены части компьютерной программы в оболочке MathCad, позволяющие рассчитать энергию волн напряжений, излученных за пределы камуфлетной зоны.

4.3. Определение остаточной энергии в продуктах детонации к концу камуфлетной фазы

При решении вопросов определения остаточной энергии в продуктах детонации к концу камуфлетной фазы взрыва мы использовали классические положения «Физики взрыва» и «Физики ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений» [2, 8–9, 103, 114].

Среднее давление в зарядной полости определяется по формуле

$$P_{cp} = \frac{\rho_0 D^2}{8},$$

где D – скорость детонации; ρ_0 – плотность заряжения.

Л.Д. Ландау и К.П. Станюкович предложили описывать процесс расширения газовой полости с достаточной для практики точностью двумя сопряженными изэнтропиями с разными фиксированными показателями изэнтроп [35]. Наши теоретические построения основаны на этом предложении.

Объем полости в точке сопряжения изэнтроп можно определить по формуле

$$V_c = V_3 \sqrt{\frac{P_{cp}}{0.35\rho_0 \left(427Qg - \frac{D^2}{16} \right)}}$$

где Q – теплота взрыва ВВ; g – ускорение силы тяжести; V_3 – объем заряда. Давление в точке сопряжения изэнтроп

$$P_c = \left(\frac{V_3}{V_c} \right)^3$$

Зная объем заряда, давление в полости и объем полости в точке сопряжения изэнтроп, можно определить давление продуктов детонации в предельной камуфлетной полости. Давление в камуфлетной полости определяется из решения уравнений

$$P_p = P_{cp} \left(\frac{V_3}{V_c} \right)^3; P_p = P_c \left(\frac{V_c}{V_p} \right) \text{ при } V_p > V_c;$$

$$P_p = P_{cp} \left(\frac{V_3}{V_c} \right)^3 \text{ при } V_p > V_c,$$

где V_p – объем камуфлетной полости.

Энергия в камуфлетной полости, оставшаяся в продуктах детонации, определяется из решения уравнений

$$\mathcal{E}_o = \frac{P_p V_c}{2} - \frac{P_c V_c}{2} + \frac{P_c V_c}{0,3} \text{ при } V_p < V_c;$$

$$\mathcal{E}_o = \frac{P_p V_p}{0,3} \text{ при } V_p < V_c.$$

На рис. 4.3.1 представлен фрагмент компьютерной программы определения давления в зарядной полости при ее расширении.

Уже израсходованная к этому моменту энергия взрыва затрачена на чрезмерное измельчение породы в камуфлетной зоне и частично передана в цилиндрическую и сферическую волну.

К концу развития камуфлетной зоны развивающийся в массиве горных пород процесс еще не чувствует присутствия обнаженной поверхности. Вторая стадия расширения полости, в квазистатической фазе, начнется, когда волна напряжений отразится от свободной поверхности, вернется назад к газовой полости.

Если обнаженной поверхности нет или она очень далеко от заряда, развитием камуфлетной фазы дело и заканчивается. Образуется вертикальная полость небольшого диаметра, заполненная мелко раздробленной породой. От стенок полости вглубь массива на небольшие расстояния уходят трещи-

ны разной длины. Для горного производства такой взрыв является браком, сопоставимым с браком «отказавшего заряда».

Объем полости в точке сопряжения изентроп

$$V_c := V_{зк} \cdot \sqrt{\frac{P_{сг}}{\rho_0 \cdot \left[\frac{(3-1) \cdot (1.3-1)}{3-1.3} \cdot \left(427 \cdot Q \cdot g - \frac{D^2}{16} \right) \right]}} \quad V_c = 0.93 \text{ м}^3$$

Давление в точке сопряжения изентроп

$$P_c := P_{сг} \cdot \left(\frac{V_{зк}}{V_c} \right)^3 \quad P_c = 506793530 \text{ Па}$$

По этим формулам рассчитывается давление в полости при $V_p < V_c$

$$P_{11} := P_{сг} \cdot \left(\frac{V_{зк}}{V_c} \right)^3 \quad P_{12} := P_c \cdot \left(\frac{V_c}{V_p} \right)^{1.3} \quad P_{13} := P_{сг} \cdot \left(\frac{V_{зк}}{V_p} \right)^3$$

Выбор значения давления в полости

$$P_1 := \begin{cases} P_{13} & \text{if } V_c > V_p \\ P_{12} & \text{if } V_c \leq V_p \end{cases} \quad P_1 = 199177050 \text{ Па}$$

Рис. 4.3.1. Фрагмент программы. Расчет давлений в газовой полости

На рис. 4.3.2 представлен фрагмент компьютерной программы определения энергии, оставшейся в продуктах детонации к концу камуфлетной фазы взрыва. Энергия, оставшаяся в камуфлетной полости к концу развития камуфлетной фазы, в нашем демонстрационном примере равна 1266 899 806 Дж, или 1266 МДж.

Определение энергии в полости при $V_p < V_c$

$$\mathcal{E}_{o11} := \frac{P_1 \cdot V_c}{2} - \frac{P_c \cdot V_c}{2} + \frac{P_c \cdot V_c}{0.3} \quad \mathcal{E}_{o12} := \frac{P_1 \cdot V_p}{0.3}$$

Выбор значения энергии, оставшейся в полости

$$\mathcal{E}_{o1} := \begin{cases} \mathcal{E}_{o11} & \text{if } V_p < V_c \\ \mathcal{E}_{o12} & \text{if } V_p \geq V_c \end{cases} \quad \mathcal{E}_{o1} = 1266899806 \text{ Дж}$$

Рис. 4.3.2. Остаточная энергия в газовой полости

Полученные результаты представляют возможность составления баланса распределения энергии заряда по фазам и зонам в конце развития камуфлетной фазы взрыва.

4.4. Распределение энергии заряда по фазам, зонам и видам затрат

За время развития камуфлетной фазы часть энергии заряда затрачена на дробление горных пород в камуфлетной зоне, часть энергии передана в волны напряжений, ушедшие за пределы камуфлетной зоны, часть энергии осталась в продуктах детонации.

Энергия, затраченная на разрушение породы в камуфлетной зоне взрыва, определяется по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{рк}} = \mathcal{E}_3 - (\mathcal{E}_0 + \mathcal{E}_\text{в}).$$

Изложенные аналитические зависимости и составленная компьютерная программа позволяют составить баланс энергии, сложившийся к моменту завершения развития камуфлетной фазы взрыва. Баланс предоставит возможность наглядно увидеть, как распределилась между фазами и зонами энергия заряда, ко времени завершения развития камуфлетной фазы взрыва. Баланс составлен в Дж, в МДж и в процентах, с контрольными строчками в конце фрагментов.

На рис. 4.4.1 представлен фрагмент программы, в котором рассчитывается энергия, оставшаяся в продуктах детонации и переданная в волны напряжений к концу развития камуфлетной фазы взрыва. Энергия представлена в Дж и процентах. Знание цифровых значений этих частей энергии дает возможность определить энергию разрушения в квазистатической зоне. Энергия разрушения в квазистатической зоне определяется как разница между энергией, переданной в породный массив, и энергией, переданной в волны напряжений.

Остаточная активная энергия в продуктах детонации к концу развития камуфлетной фазы			
	$\mathcal{E}_3 = 2034638738$	Дж	
$\mathcal{E}_{01}\% := \frac{\mathcal{E}_{01} \cdot 100}{\mathcal{E}_3}$	$\mathcal{E}_{01}\% = 62.3$	%	
Энергия, переданная в породу			
$\mathcal{E}_{13} := \mathcal{E}_3 - \mathcal{E}_{01}$	$\mathcal{E}_{13} = 767738932$	Дж	
$\mathcal{E}_{13}\% := \frac{\mathcal{E}_{13} \cdot 100}{\mathcal{E}_3}$	$\mathcal{E}_{13}\% = 37.7$	%	
Энергия, переданная в волны напряжений			
$\mathcal{E}_{\text{во}} = 85999797$	Дж	$\mathcal{E}_{\text{во}}\% = 4.2$	%
Энергия разрушения $\mathcal{E}_{\text{р}} := \mathcal{E}_3 - \mathcal{E}_{\text{во}} - \mathcal{E}_{01}$			
	$\mathcal{E}_{\text{р}} = 681739135$	Дж	
Контрольная сумма	$\mathcal{E}_{\text{р}}\% := \frac{\mathcal{E}_{\text{р}} \cdot 100}{\mathcal{E}_3}$	$\mathcal{E}_{\text{р}}\% = 33.5$	%
$\mathcal{E}_{01}\% + \mathcal{E}_{\text{во}}\% + \mathcal{E}_{\text{р}}\% = 100 \quad \%$			

Рис. 4.4.1. Фрагмент программы. Распределение энергии по зонам и фазам

Такие большие цифры значений энергии в джоулях трудно поддаются визуальному анализу. Поэтому целесообразно перевести их в мегаджоули для облегчения визуального анализа баланса распределенной энергии.

Перевод энергии в мегаджоули				
$\text{ЭзМ} := \frac{\text{Эз}}{1000000}$	Энергия заряда	$\text{ЭзМ} = 2034.6$	МДж	100 %
Осталось в продуктах детонации				
$\text{Эо1М} := \frac{\text{Эо1}}{1000000}$		$\text{Эо1М} = 1266.9$	МДж	62.3 %
Передано в породе				
$\text{Э1зМ} := \frac{\text{Э1з}}{1000000}$		$\text{Э1зМ} = 767.7$	МДж	37,7 %
Переданная в волны напряжений				
$\text{ЭвоМ} := \frac{\text{Эво}}{1000000}$		$\text{ЭвоМ} = 86$	МДж	4,2 %
Энергия разрушения в камуфлетной зоне				
$\text{ЭрМ} := \frac{\text{Эр}}{1000000}$		$\text{ЭрМ} = 681.7$	МДж	33,5 %
Энергия разрушения в цилиндрической части камуфлетной зоны				
$\text{ЭрМц} := \text{ЭрМ} \cdot \frac{\Delta V_{\text{ц}}}{\Delta V_{\text{км}}}$		$\text{ЭрМц} = 658.9$	МДж	32,4 %
Энергия разрушения в сферической части камуфлетной зоны				
$\text{ЭрМсф} := \text{ЭрМ} \cdot \frac{\Delta V_{\text{сф}}}{\Delta V_{\text{км}}}$		$\text{ЭрМсф} = 22.9$	МДж	1,1 %
Контрольная сумма				
$\text{ЭзМ} := \text{Эо1М} + \text{ЭвоМ} + \text{ЭрМц} + \text{ЭрМсф}$		$\text{ЭзМ} = 2034.6$	МДж	

Рис. 4.4.2. Фрагмент программы. Распределение энергии в МДж по фазам процесса к моменту завершения развития камуфлетной фазы взрыва

На рис. 4.4.2 представлен рассчитанный компьютерной программой баланс энергии. В продуктах детонации к концу развития камуфлетной фазы осталось 62,3% энергии заряда в нашем демонстрационном варианте. Эта энергия в последующем будет затрачена на развитие квазистатической фазы взрыва и на формирование развала отбитой и раздробленной горной массы.

На разрушение породы в цилиндрической части камуфлетной полости затрачено в нашем варианте 658,9 МДж, что составляет 32,4% от энергии заряда. В волны напряжений излучено 4,2% энергии заряда.

Последняя строчка на рис. 4.4.2 проверочная сумма распределенных частей энергии и в натуральном выражении хорошо совпадает с распределяемой энергией.

4.5. Распределение энергии разрушения в камуфлетной зоне по расчетным слоям

После завершения развития камуфлетной фазы взрыва в зоне ее действия поглощена часть энергии заряда. Эта энергия является энергией разрушения камуфлетной фазы взрыва. Величина энергии разрушения камуфлетной фазы взрыва определяется из равенства

$$\mathcal{E}_p = \mathcal{E}_3 - (\mathcal{E}_0 + \mathcal{E}_e).$$

где \mathcal{E}_z – энергия заряда; \mathcal{E}_o – энергия, оставшаяся в продуктах детонации к концу развития камуфлетной фазы; \mathcal{E}_e – энергия, излученная в волны напряжений.

Для условий взрывания заряда тротила диаметром 250 мм в граните, по разработанной компьютерной программе, выполнен расчет основных геометрических и энергетических параметров в камуфлетной зоне действия взрыва. Для этого варианта взрывания в зоне камуфлетной фазы затрачено 681,7 МДж энергии разрушения, что составляет 33,5% от энергии заряда.

Эта энергия разрушения состоит из двух частей: из энергии разрушения цилиндрической зоны $\mathcal{E}_{pc} = 658864261$ Дж и энергии разрушения сферической зоны $\mathcal{E}_{сф} = 22874874$ Дж. Эти энергии разрушения будут распределяться по объему своих зон по разным закономерностям, из-за разной геометрической симметрии развивающихся в них процессов.

В данном параграфе мы будем рассматривать только цилиндрическую часть зоны и будем распределять по объему энергию разрушения цилиндрической камуфлетной зоны $\mathcal{E}_{pc} = 658864261$ Дж.

Эта энергия распределена в зоне камуфлетного действия взрыва неравномерно. Вопрос распределения энергии разрушения в зоне камуфлетного действия взрыва изучен недостаточно. А ответить на вопрос, как дробится порода в зоне камуфлетного действия взрыва, как и в других зонах, можно только, зная, как распределена энергия разрушения по разрушаемому объему.

При решении этой задачи разработчики стремились выполнить следующие требования:

- величина поглощенной энергии вдоль радиуса должна изменяться монотонно, без перегибов и разрывов;
- сумма распределенной по объему зоны энергии разрушения должна примерно совпадать с распределяемой энергией разрушения;
- в последнем расчетном слое в камуфлетной зоне энергия разрушения должна приближаться к энергии в излучаемой волне напряжений;
- вся энергия разрушения должна быть распределена по объему зоны независимо от геометрических размеров зоны.

Решение задачи распределения энергии разрушения в цилиндрической камуфлетной зоне упрощается тем, что зона ее действия имеет цилиндрическую симметрию, развивается во все боковые стороны совершенно одинаково. Эта фаза взрыва не чувствует еще наличия обнаженных поверхностей, которые в недалеком будущем совершенно изменят ход развития процесса воздействия взрыва на горный массив. Камуфлетная фаза заканчивает свое развитие до начала этих кардинальных изменений.

Изменение величины еще не распределенной части энергии разрушения вдоль радиуса в цилиндрической части камуфлетной зоны предложено определять по формуле

$$\mathcal{E}(R) = \mathcal{E}_{pc} \left(1 - \sqrt{\frac{R - r_0}{Rd - r_0}} \right),$$

где \mathcal{E}_{pc} – вся распределяемая энергия разрушения в цилиндрической части камуфлетной зоны; R_d – радиус излучения цилиндрической волны напряжений; R – переменный радиус до границ расчетных зон.

Это выражение можно записать в виде

$$\mathcal{E}(R) = \mathcal{E}_{pц} \left(1 - \left(\frac{R - r_0}{Rd - r_0} \right)^{0.5} \right).$$

В такой записи при поисковых исследованиях легче перебирать в расчетах разные показатели степени.

В этой формуле за полноту распределения энергии разрушения отвечает дробь в скобках. Какой бы ни была энергия разрушения, она должна быть распределена на отрезке $r_0 \dots Rd$.

Распределение поглощенной энергии по расчетным слоям определяется по предложенной формуле

$$\Delta \mathcal{E}_{pц} = \mathcal{E}_{pц}(R + \Delta R) - \mathcal{E}_{pц}(R),$$

где ΔR – произвольно выбираемая толщина цилиндрического расчетного слоя, шаг счета.

Величина поглощенной энергии в расчетном слое пропорциональна ширине расчетного слоя и является величиной нестабильной. Плотность поглощенной энергии в каждом расчетном слое определяется по предложенной формуле

$$П\mathcal{E}(R) = \frac{\Delta \mathcal{E}_{pц}}{\pi \left((R + \Delta R)^2 - R^2 \right) (L_{zap} - 2r_0)}.$$

С использованием приведенных зависимостей и теоретических положений, изложенных в работах, разработана расчетная методика, по которой составлена компьютерная программа расчета распределения энергии разрушения и крупности дробления породы в цилиндрической камуфлетной зоне при взрыве скважинного заряда конечной длины.

На рис. 4.5.1 представлен фрагмент программы определения еще не распределенной энергии разрушения вдоль радиуса в камуфлетной зоне в нашем демонстрируемом варианте при взрыве заряда тротила диаметром 250 мм в граните.

$R := r_0, (r_0 + \Delta R) \dots Rd$
Изменение еще не распределенной поглощенной энергии цилиндрической волны в камуфлетной зоне
$\mathcal{E}(R) := \begin{cases} \mathcal{E}_{pц} \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{R - r_0}{Rd - r_0}} \right) & \text{if } R \leq Rd \\ 0 & \text{if } r_0 < R < Rd \end{cases}$
Энергия разрушения в цилиндрическом слое толщиной ΔR и высотой 1 м в камуфлетной зоне
$\Delta \mathcal{E}(R) := \begin{cases} 0 & \text{if } R \leq r_0 \\ \mathcal{E}(R - \Delta R) - \mathcal{E}(R) & \text{if } r_0 < R \leq Rd \\ 0 & \text{if } r_0 > R > Rd \end{cases}$

Рис. 4.5.1. Фрагмент программы. Распределение энергии разрушения по объему цилиндрической камуфлетной зоны

В этом же фрагменте программы рассчитывается энергия разрушения, в произвольно выбираемом по толщине цилиндрическом расчетном слое.

Для упрощения переноса результатов расчета на заряды любой длины, - высота расчетного слоя в программе выбрана равной 1 м.

На рис. 4.5.2 представлены компьютерные графики изменения вдоль радиуса еще не поглощенной энергии разрушения в Дж, (левый график) и энергии разрушения в расчетных слоях в Дж, (правый график).

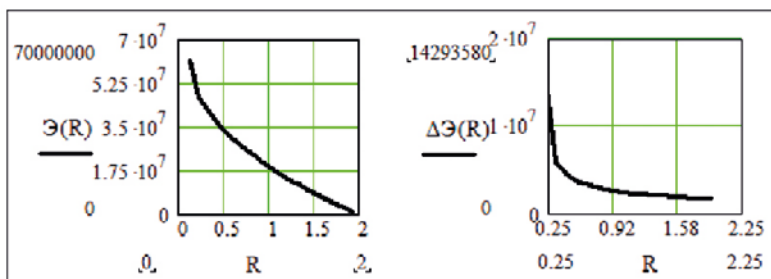


Рис. 4.5.2. Компьютерные графики изменения вдоль радиуса еще не поглощенной энергии и энергии разрушения в расчетных слоях

На рис. 4.5.3 представлена компьютерная методика определения объемов расчетных слоев, плотности энергии разрушения в расчетных слоях и размера кусков породы в расчетных слоях.

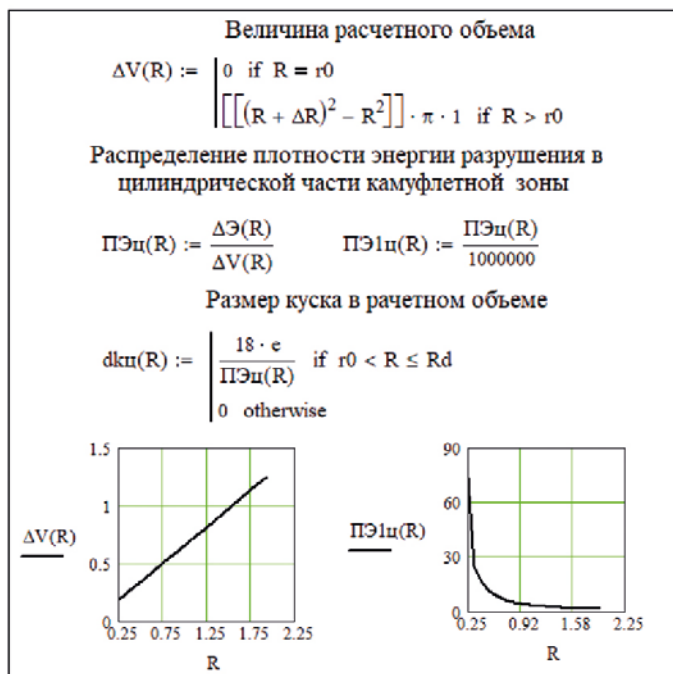


Рис. 4.5.3. Фрагмент программы. Определение объемов расчетных слоев, плотности энергии разрушения и размера кусков породы в расчетных слоях

В нижней части фрагмента представлены графики изменения объема и плотности энергии разрушения в расчетных слоях.

На рис. 4.5.4 представлена компьютерная таблица с рассчитанными значениями размеров кусков в метрах. В первом столбце таблицы представлены расстояния расчетных слоев от центра взрыва. Во втором столбце представлена энергия разрушения в Дж в цилиндрических расчетных слоях. В третьем столбце объем расчетных слоев. В четвертом столбце представлена плотность энергии разрушения в Дж/м³ в каждом расчетном слое. В последнем столбце представлены линейные размеры кусков в метрах в каждом расчетном слое.

В нашем примере горная порода будет раздроблена на куски размером 20 см и меньше действием камуфлетной фазы и без помощи других фаз процесса.

Но такая крупность дробления горных пород в карьерах при отработке месторождений полезных ископаемых открытым способом является излишне мелкой.

$R =$	$\Delta \mathfrak{E}(R) =$	$\Delta V(R) = \Pi \mathfrak{E}_{\Pi \mathbb{K} \mathbb{M}}(R) \, d\mathbb{k}_{\Pi}(R)$		
0.125	0	0	0	0
0.325	20936627	0.534	39201974	0.01
0.525	8672235	0.785	11041833	0.03
0.725	6654440	1.037	6418709	0.04
0.925	5609952	1.288	4355374	0.07
1.125	4942467	1.539	3210686	0.09
1.325	4468332	1.791	2495288	0.12
1.525	4109055	2.042	2012235	0.14
1.725	3824615	2.293	1667689	0.17
1.925	3592157	2.545	1411629	0.2

Рис. 4.5.4. Компьютерная таблица расчета размера кусков в расчетных цилиндрических слоях при толщине расчетных слоев 20 см

Кроме этого, объем раздробленной породы в камуфлетной зоне составляет лишь около 25% от объема зоны технологического дробления горных пород взрывом.

Глава 5. Цилиндрическая волновая фаза взрыва

5.1. Общие сведения о цилиндрической волновой фазе взрыва

Волна напряжений, возникающая в массиве горных пород и распространяющаяся по горному массиву на тысячи метров от места взрыва, остается предметом многочисленных научных исследований. Ее используют при определении свойств массива горных пород и при решении многих прикладных задач.

Распространяясь по горному массиву, волна напряжений сама подвергается существенным изменениям. В широком диапазоне меняется энергия волны, ее форма, длина волны. Выделяют три фазы волны напряжений по зонам ее распространения: сильная (камуфлетная) волна напряжений, прилегающая к заряду; волна напряжений в зоне технологического дробления горных пород взрывом и сейсмическая волна.

На границе с очагом взрыва напряжения в волне во много раз превосходят прочность горной породы и измельчают ее до более мелкой крупности, чем это необходимо горному предприятию. На этом относительно коротком участке волну напряжений иногда называют ударной. Зону действия этой волны мы называем камуфлетной зоной. А процессы, происходящие в этой зоне, мы называем камуфлетной фазой взрыва промышленного заряда взрывчатого вещества в горном массиве.

Внешние границы камуфлетной зоны являются границей излучения волн напряжений.

Цилиндрическая волновая фаза взрыва является одной из двенадцати фаз сложного процесса технологического дробления горных пород взрывом. Процессы, происходящие в этой зоне, мы называем волновой фазой взрыва заряда промышленного взрывчатого вещества в горном массиве [15, 39, 40, 41, 42, 45, 51, 52].

Внешняя граница волновой зоны действия взрыва определяется целью и условиями ведения горных работ и практически почти совпадает с одной ячейкой технологических параметров сетки обуренных скважин на уступе карьера.

Цилиндрическая волновая зона действия взрыва в массиве — это часть зоны технологического дробления горных пород взрывом.

На параметры волны напряжений в зоне технологического дробления пород взрывом оказывают влияние многие свойства горных пород: коэффициент крепости, предел прочности породы на сжатие, плотность горной породы, модуль упругости, коэффициент Пуассона, скорость продольных волн в массиве горных пород и др.

В предыдущей главе рассматривались условия формирования на границе излучения волны напряжений следующих параметров волны: радиуса излучения цилиндрической волны, длины волны и начальной массовой скорости частиц в волне на границе излучения.

В этой главе будут рассматриваться условия формирования и методики определения численных параметров волны напряжений и энергетических ее параметров в зоне действия цилиндрической волновой фазы взрыва сква-

жинного заряда в зоне технологического дробления горных пород при взрыве скважинного заряда в карьере. Все виды воздействия волн напряжений на горные породы за пределами сравнительно небольшой зоны технологического дробления горных пород взрывом будут оставаться за пределами наших интересов в этом исследовании.

У исследователей любимыми параметрами волн напряжений являются максимальные напряжения на фронте волны и максимальная массовая скорость на фронте волны. Начнем с максимальной массовой скорости частиц на фронте волны напряжений.

5.2. Максимальная скорость частиц в волне напряжений

Одним из основных параметров волны напряжений, распространяющейся при взрыве по массиву горных пород, является максимальная массовая скорость частиц породы. С удалением волны от места взрыва максимальная массовая скорость частиц уменьшается за счет геометрического расхождения и поглощения энергии волны породой.

Этот параметр волны на протяжении многих лет являлся предметом теоретических и экспериментальных исследований многих авторов. В работе [2] приведен в логарифмических координатах график изменения максимальной массовой скорости при взрыве сосредоточенного заряда, построенный по экспериментальным точкам, полученным многими авторами. По оси абсцисс отложено приведенное к массе сосредоточенного заряда расстояние от центра взрыва $r/\sqrt[3]{G}$, по оси ординат отложена максимальная массовая скорость U . Все экспериментальные точки, полученные при взрыве сосредоточенных зарядов различной массы, в выбранной системе координат хорошо укладываются на эту кривую.

Экспериментальная кривая имеет точку перелома, которая разделяет кривую на два отрезка с разными коэффициентами поглощения. Местоположение точки перелома для сосредоточенного заряда взято по экспериментальной кривой.

$$R_n / \sqrt[3]{G} = 0,7.$$

По утверждению авторов работы [2] этот график может быть использован при решении практических задач с достаточной для практики точностью. Он хорошо аппроксимируется зависимостями

$$U = U_n \left(\frac{R_n / \sqrt[3]{G}}{r / \sqrt[3]{G}} \right)^{2,1}, \text{ при } r / \sqrt[3]{G} \geq R_n / \sqrt[3]{G}; \quad (5.2.1)$$

$$U = U_n \left(\frac{R_n / \sqrt[3]{G}}{R_n / \sqrt[3]{G}} \right)^{2,1} \left(\frac{R_n / \sqrt[3]{G}}{r / \sqrt[3]{G}} \right)^{1,6}, \text{ при } r / \sqrt[3]{G} \leq R_n / \sqrt[3]{G}, \quad (5.2.2)$$

где U – максимальная массовая скорость частиц в начальной точке отсчета; R_n – радиус начальной точки отсчета; R_n – радиус точки перелома кривой; r – радиус фронта волны; G – масса сосредоточенного заряда, кг.

При аппроксимации формул в качестве начальной выбрана точка на кривой с координатами $U_n = 1000$ м/с, $R_n/\sqrt[3]{G} = 0,08$. Подставив эти значения в формулы 5.2.1 и 5.2.2, получим кривую (рис. 5.2.1), которая точно повторяет экспериментальную кривую, представленную в работе [2].

Сосредоточенный заряд радиусом 125 мм при плотности заряжения 0,9 г/см³ имеет массу $G = 7,36$ кг. Если в формулы 1 и 2 вместо $r/\sqrt[3]{G}$, $R_n/\sqrt[3]{G}$ и $R_n/\sqrt[3]{G}$ подставить r , $R_n = 0,08 \sqrt[3]{7,36} = 0,156$, и $R_n = 0,7 \sqrt[3]{7,36} = 1,362$, то будет получена кривая массовой скорости в зависимости от радиуса для заряда массой 7,36 кг. Она представлена сплошной линией на рис. 5.2.1. Здесь по оси абсцисс отложен радиус фронта волн r . Так может быть осуществлен переход к определению максимальных массовых скоростей при взрыве сосредоточенного заряда любой массы.

Для получения формул, описывающих изменение максимальной массовой скорости при взрыве цилиндрического заряда, примем следующие условия. В начальной точке отсчета на экспериментальной кривой максимальные массовые скорости сосредоточенного и цилиндрического зарядов равны. Эта точка находится довольно близко к зарядной полости. Все наши построения не распространяются на зону, непосредственно прилегающую к границе зарядной полости. В качестве массы цилиндрического заряда в формулах принимается не вся его масса, а часть цилиндрического заряда с высотой цилиндра, равной диаметру заряда. Расстояние до точки перелома кривой принимается в 1,5 раза больше, чем при взрыве сосредоточенного заряда.

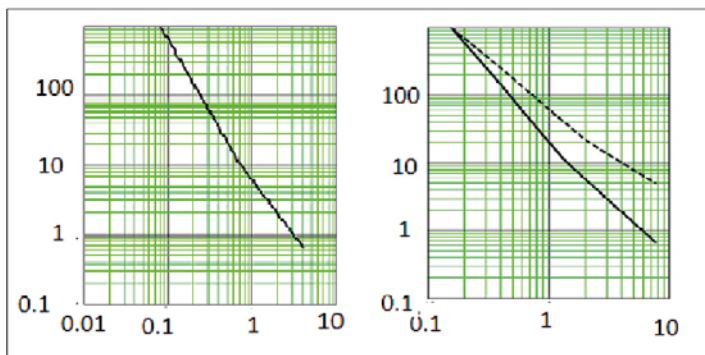


Рис. 5.2.1. Изменение максимальной массовой скорости частиц на фронте волны в зависимости от расстояния, приведенного к массе сосредоточенного заряда

Выбрав в качестве опорных несколько точек с экспериментально замеренными массовыми скоростями, аппроксимировали кривую, проходящую через эти точки, зависимостями для цилиндрического заряда

$$U = U_n \left(\frac{R_n}{r} \right)^{1.5}, \text{ при } r \geq R_n \quad (5.2.3)$$

$$U = U_n \left(\frac{R_n}{R_n} \right)^{1.5} \left(\frac{R_n}{r} \right)^{1.1}, \text{ при } r \leq R_n \quad (5.2.4)$$

На правой части рис. 5.2.1 пунктирной линией представлена кривая изменения с расстоянием максимальной массовой скорости частиц для цилиндрического заряда, рассчитанная по формулам 5.2.3 и 5.2.4.

Переход к другой системе координат осуществляется следующим образом. Часть массы цилиндрического заряда диаметром 250 мм с высотой цилиндра 250 мм составляет 11 кг. В начальной точке отсчета приведенный к массе цилиндрического заряда диаметром 250 мм радиус $R_n = 0,156\sqrt{11} = 0,047$, $R_n = 1000$ м/с. Точка перелома кривой $R_n\sqrt{G} = 1,362/\sqrt{11} = 0,411$.

Используя параметры начальной точки отсчета и перелома кривой формулы 5.2.3 и 5.2.4, можно записать в виде

$$U = U_n \left(\frac{R_n / \sqrt{G}}{r / \sqrt{G}} \right)^{2.1}, \text{ при } r / \sqrt{G} \geq R_n / \sqrt{G}; \quad (5.2.5)$$

$$U = U_n \left(\frac{R_n / \sqrt{G}}{R_n / \sqrt{G}} \right)^{2.1} \left(\frac{R_n / \sqrt{G}}{r / \sqrt{G}} \right)^{1.6}, \text{ при } r / \sqrt{G} \leq R_n / \sqrt{G}, \quad (5.2.6)$$

Расчетом по формулам 5.2.5 и 5.2.6 получена кривая (рис. 5.2.1) изменения максимальной массовой скорости в координатах «скорость – расстояние», приведенное к массе цилиндрического заряда».

Есть основания считать, что все экспериментальные точки максимальной массовой скорости частиц, полученные при взрыве цилиндрического заряда любого диаметра и массы, будут ложиться на эту кривую, если в качестве G принимать массу заряда в отрезке скважины высотой, равной ее диаметру. В качестве начальной точки отсчета может быть выбрана любая точка, отстоящая дальше от центра взрыва, чем R_n . Но в этом случае для сферического и цилиндрического зарядов должны быть определены разные начальные параметры расчета, соответствующие выбранной начальной точке отсчета.

Изложенная методика позволяет рассчитывать изменение максимальной массовой скорости частиц с удалением от центра взрыва, сосредоточенного и цилиндрического зарядов любой массы и радиуса.

5.3. Форма волны напряжений во времени

Максимальная массовая скорость частиц является амплитудой волны напряжений. Наша цель — получить распределенную по объему зоны технологического дробления плотность энергии разрушения волны напряжений. Для определения энергетических параметров волны напряжений необходимо знать как минимум еще два параметра волны: форму волны и ее длину.

Выбор формы волны дело непростое. При распространении по горному массиву волна напряжений изменяет свою форму, длину и амплитуду. Около границы с зарядом волну называют ударной. Ее форма здесь — вертикальный разрыв амплитуды. На внешних границах камуфлетной зоны она имеет

четко выраженную форму и длину. На расстояниях в сотни и даже в тысячи метров от места взрыва одиночная волна напряжений превращается в цуг волн. Все эти изменения волны лежат за пределами интересующей нас зоны.

При диаметре скважины 250 мм в карьере и при расстоянии до обнаженной поверхности 6 м длина падающей волны напряжений равна примерно 6 м. Размер зоны технологического дробления горных пород взрывом и длина падающей волны напряжений соизмеримы. Поэтому мы можем упростить задачу и принять форму и длину волны в пределах зоны технологического дробления горных пород взрывом постоянными при конкретных условиях взрывания.

Наиболее объективно, по нашему мнению, отображает реальность экспериментально зафиксированная графическая форма волны, представленная в работе [2]. Мы аппроксимировали эту форму волны тремя сопряженными функциями так, чтобы соотношения между ее основными параметрами оставались неизменными при произвольном изменении численных значений этих параметров. Амплитуда положительной фазы в два с половиной раза больше амплитуды отрицательной фазы; длина отрицательной фазы в 1,8 раза больше длины положительной фазы; время нарастания положительной фазы, время спада положительной фазы и время нарастания отрицательной фазы равны между собой. Аналитические зависимости в такой аппроксимации имеют вид:

$$u = U \left(\frac{2t}{0,18T} - \left(\frac{t}{0,18T} \right)^2 \right), \text{ при } 0 \leq \frac{t}{T} \leq 0,36;$$

$$u = 0,4U \left(\left(\frac{t-0,36T}{0,18T} \right)^2 - \frac{2t-0,36T}{0,18T} + 2 \right), \text{ при } 0,36 \leq \frac{t}{T} \leq 0,54;$$

$$u = 0,4U \left(\frac{t}{0,46T} - 2,17 \right), \text{ при } 0,54 \leq \frac{t}{T} \leq 1,$$

где T – длина волны во времени, t – фаза волны во времени; u – фазовая массовая скорость частиц в волне напряжений; U – максимальная массовая скорости частиц в волне в точке измерения, т. е. амплитуда волны по времени.

Составлены компьютерные программы для расчета различных параметров волны напряжений и построения графических зависимостей. Построенные компьютером принятые нами формы волны представлены на рис 5.3.1. На левом рисунке график в координатах «относительное время – фазовая массовая скорость частиц в волне», на правом график в координатах «время – фазовая массовая скорость частиц в волне»,

На рис. 5.3.2 представлена принятая форма волны в фазах длины волны. В этой статье все графические построения и демонстрируемые численные результаты взяты из компьютерного решения одного варианта задачи – взрывания скважинного заряда тротила диаметром 250 мм в граните. Предел прочности гранита на сжатие 157 МПа, предел прочности на растяже-

ние 14,7 МПа, модуль упругости 54936 МПа, скорость продольной волны 4000 м/с.

В зоне, прилежащей к скважинному заряду, развивается камуфлетная зона взрыва. В пределах камуфлетной зоны распространяется сильная волна напряжений, которую иногда называют ударной волной. В камуфлетной зоне нужно принимать другую форму волны, с активно нарастающей длиной волны. Камуфлетная зона имеет небольшой объем в сравнении с зоной технологического дробления горных пород взрывом. При нормальных условиях взрывания в камуфлетной зоне всегда обеспечивается избыточно мелкое дробление породы. За пределами зоны технологического дробления горных пород взрывом использовать предложенную нами форму цилиндрической волны напряжений мы не рекомендуем без предварительного тщательного анализа правомерности ее использования.

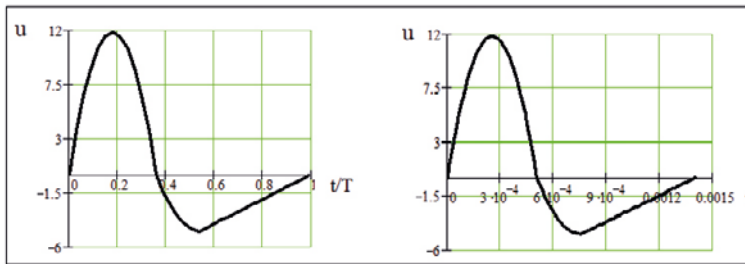


Рис. 5.3.1. Принятая форма волны во времени

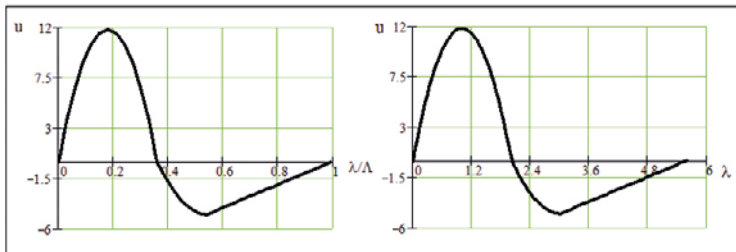


Рис. 5.3.2. Принятая форма волны в фазах длины волны

Часто при решении локальных конкретных задач возникает настоятельная необходимость использовать уравнения формы волны в смещениях.

5.4. Форма волны напряжений в смещениях

Проинтегрировав формулы формы волны во времени, и подобрав постоянные интегрирования и коэффициенты, исключаящие разрыв функции в точках сопряжения, получили формулы, которые описывают изменение смещения частиц "a" во времени:

$$a = U \left(\frac{t^2}{0.18 \cdot T} - \frac{t^3}{3 \cdot 0.18^2 \cdot T^2} \right), \text{ при } 0 \leq t \leq 0.36T;$$

$$a = -0.4U \left(\frac{3t^2}{0.18 \cdot T} - \frac{t^3}{3 \cdot 0.18^2 \cdot T^2} - 8t + 0.6T \right), \text{ при } 0.36T \leq t \leq 0.54T;$$

$$a = 0.4U \left(\frac{t^2}{2 \cdot 0.46 \cdot T} - 2.17 \cdot t + 1.335 \cdot T \right), \text{ при } 0.54T \leq t \leq T.$$

Заменив в этих формулах временные параметры на параметры длины волны, получили формулы, описывающие смещение частиц по длине волны:

$$a = \frac{U}{0.18 \cdot c \cdot \Lambda} \left(\lambda^2 - \frac{\lambda^3}{0.54 \cdot \Lambda} \right), \text{ при } 0 \leq \lambda \leq 0.36\Lambda;$$

$$a = \frac{0.4U}{0.18 \cdot c \cdot \Lambda} \left(\left(\frac{\lambda^3}{0.54 \cdot \Lambda} - 3\lambda^2 \right) + 1.44\lambda\Lambda - 0.108\Lambda^2 \right), \text{ при } 0.36\Lambda \leq \lambda \leq 0.54\Lambda;$$

$$a = \frac{0.4U}{c\Lambda} \left(\frac{\lambda^2}{0.92} - 2.17 \cdot \lambda\Lambda + 1.335 \cdot \Lambda^2 \right), \text{ при } 0.54\Lambda \leq \lambda \leq \Lambda,$$

где c – скорость волны в породе; Λ – длина волны; λ – фазы волны по ее длине.

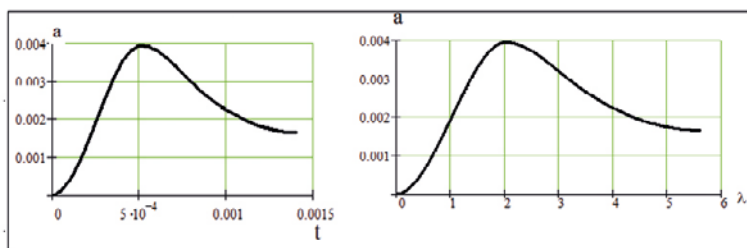


Рис. 5.4.1. Фазовое смещение частиц породы во времени и вдоль волны в фиксированной точке

На рис. 5.4.1 представлены компьютерные кривые фазовых смещений во времени и по длине волны в нашем демонстрационном варианте.

5.5. Тензор деформации цилиндрической волны

При исследовании цилиндрических волн в горных породах напряжения молчаливо подразумеваются векторными величинами. В действительности цилиндрическая волна напряжений формирует в горном массиве плоско деформируемое напряженное состояние, которое описывается тензором деформаций в цилиндрической системе координат следующим тензорным выражением

$$T_D = \begin{pmatrix} \varepsilon_r & \frac{1}{2}\gamma_{r\theta} \\ \frac{1}{2}\gamma_{\theta r} & \varepsilon_\theta \end{pmatrix},$$

где ε_r – радиальная относительная деформация; ε_θ – тангенциальная относительная деформация; $\gamma_{r\theta}$ и $\gamma_{\theta r}$ – относительные сдвиги.

Продифференцировав уравнения смещения частиц по λ , получили уравнения относительной радиальной и тангенциальной деформации по длине волны [54, 57, 62].

При принятой нами форме волны фазовые значения радиальной относительной деформации определяются по формулам:

$$\varepsilon_r = \frac{-U}{0.18 \cdot c \cdot \Lambda} \left(2\lambda - \frac{3\lambda^2}{0.54 \cdot \Lambda} \right); \text{ при } 0 \leq \lambda \leq 0.36\Lambda;$$

$$\varepsilon_r = \frac{-0.4 \cdot U}{0.18c \cdot \Lambda} \left(\left(\frac{3\lambda^2}{0.54 \cdot \Lambda} - 6\lambda \right) + 1.44\Lambda \right); \text{ при } 0.36\Lambda \leq \lambda \leq 0.54\Lambda;$$

$$\varepsilon_r = \frac{-0.4U}{c\Lambda} \left(\frac{2\lambda}{0.92} - 2.17 \cdot \Lambda \right), \text{ при } 0.54\Lambda \leq \lambda \leq \Lambda,$$

где Λ – длина волны; λ – фаза длины волны; c – скорость продольной волны в породе.

Фазовые значения тангенциальной относительной деформации определяются по формулам:

$$\varepsilon_\theta = \frac{U}{0.18 \cdot c \cdot \Lambda \cdot R} \left(\lambda^2 - \frac{\lambda^3}{0.54 \cdot \Lambda} \right); \text{ при } 0 \leq \lambda \leq 0.36\Lambda;$$

$$\varepsilon_\theta = \frac{0.4U}{0.18 \cdot c \cdot \Lambda \cdot R} \left(\left(\frac{\lambda^3}{0.54 \cdot \Lambda} - 3\lambda^2 \right) + 1.44\lambda\Lambda - 0.108\Lambda^2 \right); \text{ при } 0.36\Lambda \leq \lambda \leq 0.54\Lambda;$$

$$\varepsilon_\theta = \frac{0.4U}{c\Lambda \cdot R} \left(\frac{\lambda^2}{0.92} - 2.17 \cdot \lambda\Lambda + 1.335 \cdot \Lambda^2 \right); \text{ при } 0.54\Lambda \leq \lambda \leq \Lambda,$$

где ε_r – радиальная относительная деформация; ε_θ – тангенциальная относительная деформация.

На рис. 5.5.1 представлены кривые изменения вдоль длины волны радиальной относительной деформации (сплошная линия) и тангенциальной относительной деформации (пунктирная линия) в нашем демонстрационном варианте.

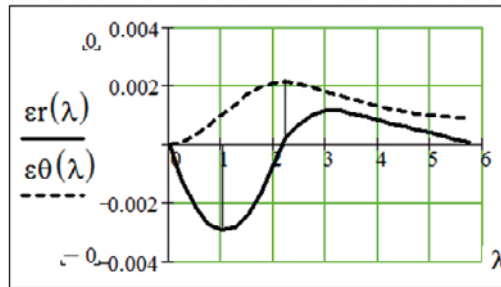


Рис. 5.5.1. Фазовая радиальная (сплошная) и тангенциальная (пунктирная) относительной деформации

5.6. Тензор напряжений цилиндрической волны

Цилиндрическая волна напряжений формирует в горном массиве тензор напряжений в цилиндрической системе координат в представленном виде

$$T_{ii} = \begin{pmatrix} \sigma_r & \tau_{r\theta} & 0 \\ \tau_{\theta r} & \sigma_\theta & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_z \end{pmatrix},$$

где ε_r – главное радиальное напряжение; ε_θ – главное тангенциальное напряжение; σ_z – главное осевое напряжение; $\tau_{r\theta}$ и $\tau_{\theta r}$ – касательные напряжения на площадках, перпендикулярных осям главных напряжений.

Зная относительные деформации и упругие свойства породы, традиционными методами определили изменение составляющих тензора напряжений вдоль длины волны:

$$\sigma_r = \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_r + \mu \varepsilon_\theta);$$

$$\sigma_\theta = \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_\theta + \mu \varepsilon_r);$$

$$\sigma_z = \mu (\sigma_r + \sigma_\theta),$$

где E – модуль упругости; μ – коэффициент Пуассона.

Составлены компьютерные программы для расчета главных составляющих тензора напряжений.

На рис. 5.6.1 представлен фрагмент компьютерной программы определения главных составляющих тензора напряжений.

Радиальная составляющая тензора напряжений в цилиндрической волне		
$\sigma 1(\lambda, R) := \frac{E}{1-\mu^2} \cdot (\varepsilon r(\lambda, R) + \mu \cdot \varepsilon \theta(\lambda, R))$	$\sigma 11(\lambda, R) := \frac{\sigma 1(\lambda, R)}{1000000}$	
Тангенциальная составляющая тензора напряжений в цилиндрической волне		
$\sigma 2(\lambda, R) := \frac{E}{1-\mu^2} \cdot (\varepsilon \theta(\lambda, R) + \mu \cdot \varepsilon r(\lambda, R))$		
Составляющая тензора напряжений вдоль оси z в цилиндрической волне на каждом шаге расчета		
$\sigma 3(\lambda, R) := \mu \cdot (\sigma 1(\lambda, R) + \sigma 2(\lambda, R))$		
$\sigma 11(\lambda, R) := \frac{\sigma 1(\lambda, R)}{1000000}$	$\sigma 22(\lambda, R) := \frac{\sigma 2(\lambda, R)}{1000000}$	$\sigma 33(\lambda, R) := \frac{\sigma 3(\lambda, R)}{1000000}$

Рис. 5.6.1. Фрагмент компьютерной программы определения главных составляющих тензора напряжений двумя циклами одновременно

На рис. 5.6.2 представлены компьютерные графики изменения численных значений, главных составляющих тензора напряжений в двух фиксированных

рованных точках среды: на границе излучения волны, левый рисунок, и при $R=4$ м, правый рисунок. Такие графики можно представить для фиксированной точки на любом удалении от границы излучения волны в зоне технологического дробления породы взрывом.

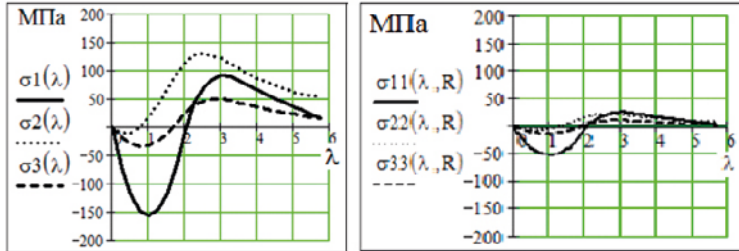


Рис. 5.6.2. Графики изменения численных значений, главных составляющих тензора напряжений в двух фиксированных точках

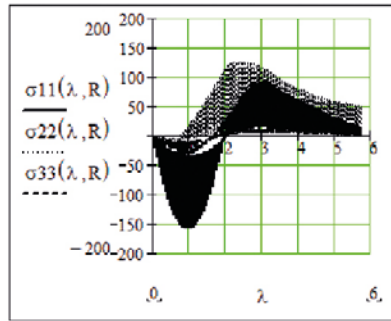


Рис. 5.6.3. Совмещенный компьютерный график всех рассчитанных главных составляющих тензора напряжений

Интересно выглядит совмещенный компьютерный график главных составляющих тензора напряжений всех рассчитанных составляющих двух расчетных циклов (рис. 5.6.3).

Во всех расчетных точках вдоль радиуса в зоне технологического дробления горных пород взрывом рассчитаны все фазовые значения по длине волны главных составляющих тензора напряжений. Несмотря на странный вид совмещенного компьютерного графика, информация, хранящаяся в памяти компьютера, позволяет строить компьютерным методом выборочные графики и локальные таблицы.

Предложены формулы для определения максимальных сжимающих напряжений на любом расстоянии от границы излучения волны:

$$\varepsilon_r 2(R) = \frac{-0.4U(R)}{0.18c\Lambda} \left(\frac{3(0.42\Lambda)^2}{0.54\Lambda} - 6(0.42\Lambda) + 1.44\Lambda \right);$$

$$\varepsilon_\theta 1(R) = \frac{-U(R)}{0.18cAR} \left((0.18\Lambda)^2 - \frac{3(0.18\Lambda)^3}{0.54\Lambda} \right);$$

$$M\sigma_r(R) = \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_r l(R) + \mu \varepsilon_\theta l(R)).$$

Предложены формулы для определения максимальных растягивающих напряжений на любом расстоянии от границы излучения волны:

$$\varepsilon_r 2(R) = \frac{-0.4U(R)}{0.18c\Lambda} \left(\frac{3(0.42\Lambda)^2}{0.54\Lambda} - 6(0.42\Lambda) + 1.44\Lambda \right);$$

$$\varepsilon_\theta 2(R) = \frac{-0.4U(R)}{0.18c\Lambda R} \left(\frac{(0.42\Lambda)^3}{0.54\Lambda} - 3(0.42\Lambda)^2 + 1.44\Lambda - 0.108\Lambda^2 \right);$$

$$M\sigma_\theta(R) = \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_\theta 2(R) + \mu \varepsilon_r 2(R)),$$

где $M\sigma_r(R)$ и $M\sigma_\theta(R)$ – максимальное сжимающее и максимальное растягивающее напряжения на расстоянии R от центра заряда.

В компьютерной таблице 5.6.4 представлены численные значения сжимающих и растягивающих напряжений в падающей волне на различных расстояниях от центра взрыва скважинного заряда.

R =	$M\sigma_r(R)$	$M\sigma_\theta(R)$
2	-157	125
2.5	-111	71
3	-84	45
3.5	-66	30
4	-53	22
4.5	-47	17
5	-42	14
5.5	-38	11
6	-34	10
6.5	-31	8

Рис. 5.6.4. Компьютерная таблица численных значений максимальных напряжений

Из таблицы видно, что в падающей волне, в так называемой волне «сжатия», присутствуют растягивающие тангенциальные напряжения (напряжения с положительным знаком). В демонстрируемом примере растягивающие тангенциальные напряжения выше предела прочности гранита на растяжение (14,7 МПа) остаются до 5 м от центра заряда. На более далеком расстоянии в нашем примере они становятся меньше предела прочности гранита на растяжение, но остаются растягивающими напряжениями.

В этой связи можно еще раз напомнить читателям об отсутствии у отраженной от обнаженной поверхности волны напряжений магического свойства быть главным дробящим фактором процесса дробления горных пород взрывом.

5.7. Энергия и плотность энергии цилиндрической волны напряжений

Энергию взрыва скважинного заряда, переданную в волну напряжений на любом расстоянии от центра взрыва цилиндрического заряда, в пределах зоны технологического дробления пород взрывом, по среднему слою уступа, с цилиндрической симметрией развития процесса, предложено определять по формулам:

$$A(\lambda) = 2\mu(\sigma_r(\lambda)\sigma_\theta(\lambda) + \sigma_\theta(\lambda)\sigma_z(\lambda) + \sigma_z(\lambda)\sigma_r(\lambda));$$

$$\mathcal{E}_{\text{вн}} = \frac{\pi R(L_{\text{зар}} - 2r_0 - L_{\text{неп}})}{E} \int_0^\Lambda \left((\sigma_r(\lambda))^2 + (\sigma_\theta(\lambda))^2 + (\sigma_z(\lambda))^2 - A(\lambda) \right) d\lambda,$$

где $-A(\lambda)$ искусственно отделенная от ниже расположенной формулы, часть громоздкой формулы.

Разработанные компьютерные программы дают возможность рассчитать энергию и плотность энергии разрушения, которую несет в себе волна напряжений, находясь на любом расстоянии от центра взрыва в пределах зоны технологического дробления пород взрывом. Энергия волны — это энергия, которую пронесит волна через цилиндрические поверхности с радиусами R .

Энергия разрушения в цилиндрическом слое определяется как энергия, потерянная волной на отрезке пути между двумя условными соседствующими цилиндрическими поверхностями.

На рис. 5.7.1 представлен фрагмент компьютерной программы определения энергии разрушения и распределения плотности энергии разрушения цилиндрической волновой фазы по дробимому объему. В представленном фрагменте программы определяются: энергия разрушения в цилиндрическом расчетном слое; объем расчетного слоя и плотность энергии разрушения в расчетном объеме.

В цилиндрической волновой зоне энергия разрушения в расчетных цилиндрических объемах определяется как разница энергий, пронесенных волной напряжений через граничные поверхности расчетных объемов.

На рис. 5.7.2 представлена компьютерная расчетная таблица распределенной энергии разрушения по расчетным цилиндрическим объемам в волновой фазе взрыва.

Энергия разрушения в слое цилиндрической волны толщиной ΔR

$$\mathcal{E}_{\text{сц}}(R) := \mathcal{E}_{1\text{вп}}(R) - \mathcal{E}_{1\text{вп}}(R + \Delta R)$$

$$\mathcal{E}_{1\text{сц}}(R) := \begin{cases} 0 & \text{if } (R + \Delta R) \leq (R_d + \Delta R) \\ \mathcal{E}_{\text{сц}}(R) & \text{if } (R + \Delta R) > (R_d + \Delta R) \end{cases}$$

Объем слоя

$$V(R) := \pi \cdot 1 \cdot [(R + \Delta R)^2 - R^2]$$

Плотность энергии разрушения в слое цилиндрической волновой фазы

$$\Pi_{\text{Эцв}}(R) := \frac{\mathcal{E}_{1\text{сц}}(R)}{V(R)} \quad \Pi_{\text{Эцв1}}(R) := \frac{\Pi_{\text{Эцв}}(R)}{1000}$$

Рис. 5.7.1. Фрагмент программы. Расчет распределения плотности энергии разрушения по направлению в волновой цилиндрической зоне

N =	R =	$\Pi_{\text{Эцв}}(R) =$		
1	0.125	0		
2	0.325	0		
3	0.525	0		
4	0.725	0		
5	0.925	0	21	4.125
6	1.125	0	22	4.325
7	1.325	0	23	4.525
8	1.525	0	24	4.725
9	1.725	0	25	4.925
10	1.925	0	26	5.125
11	2.125	478892	27	5.325
12	2.325	302603	28	5.525
13	2.525	199649	29	5.725
14	2.725	136635	30	5.925
15	2.925	96438	31	6.125
16	3.125	69902	32	6.325
17	3.325	51849	33	6.525
18	3.525	39241	34	6.725
19	3.725	30228	35	6.925
20	3.925	18193	36	7.125

Рис. 5.7.2. Компьютерная расчетная таблица распределения плотности энергии разрушения по расчетным цилиндрическим объемам в волновой зоне

В первом столбце таблицы представлены номера строк, во втором столбце расстояния расчетных объемов от центра взрыва, в третьем столбце представлены плотности энергии разрушения в расчетных объемах в волновой цилиндрической зоне.

Параметры цилиндрической волновой фазы взрыва появляются только в 11-й строке таблицы. Это и есть граница вырождения цилиндрической камуфлетной фазы в цилиндрическую волновую фазу взрыва.

Нижняя часть таблицы отрезана и поставлена рядом исключительно с целью лучшей компактности таблицы при печати.

Плотности энергии разрушения в волновой фазе значительно меньше, чем в камуфлетной фазе. В 11-й строке она меньше 0,5 МДж/м³. В последней, 36-й строке она меньше 0,002 МДж/м³.

5.8. Зависимость начальных параметров цилиндрической волны от условий взрывания

На границе с очагом взрыва напряжения в волне во много раз превосходят прочность горной породы и измельчают ее до более мелкой крупности, чем это необходимо горному предприятию. На этом относительно коротком участке волну напряжений иногда называют ударной. Зону действия этой волны мы называем камуфлетной зоной. А процессы, происходящие в этой зоне, мы называем камуфлетной фазой взрыва заряда взрывчатого вещества в горном массиве.

Внешние границы камуфлетной зоны являются границей излучения цилиндрической волны напряжений. Цилиндрическая волна напряжений является естественным продолжением за пределами камуфлетной зоны камуфлетной (сильной) волны напряжений. Но ее параметры изменяются по закономерностям, отличающимся от закономерностей развития параметров квазистатической цилиндрической волны.

В этой главе изучаются закономерности развития параметров цилиндрической волны напряжений за пределами камуфлетной зоны.

Предметом изучения в этом параграфе являются: размер камуфлетных зон, радиус излучения цилиндрической волны, длина волны и начальная максимальная массовая скорость частиц в волне на границе излучения, главным образом, в зависимости от крепости горных пород.

На параметры волны напряжений в зоне технологического дробления пород взрывом оказывают влияние многие свойства горных пород: коэффициент крепости, предел прочности породы на сжатие, плотность горной породы, модуль упругости, коэффициент Пуассона, скорость продольных волн в массиве горных пород. В таблице 5.8.1 представлены эти свойства горных пород для десяти разновидностей горных пород с разными коэффициентами крепости. Свойства выбраны из кадастра свойств горных пород.

Каждая строка в таблице 5.8.1 соответствует одной из категорий крепости по проф. М.М. Протодьяконову.

На рис. 5.8.1 представлен фрагмент программы с исходными данными для компьютерных расчетов параметров волн напряжений по свойствам горной породы «Скарн актинолитовый», 16-й категории крепости, выбранные из таблицы 5.8.1.

Таблица 5.8.1.

Свойства разрушаемого массива

Горные породы	f,	$\sigma_{сж}$, Мпа	γ г/см ³	E Мпа	μ	c м/с
Известняк	4	40	2,9	35600	0,24	3000
Роговики красно-мартитовые	5	50	3,4	55000	0,16	3000

Горные породы	f,	$\sigma_{сж}$, Мпа	γ г/см ³	E Мпа	μ	c м/с
Роговики маритовые	6	60	3,2	85000	0,21	3500
Известняк мраморизованный	7	70	2,73	76000	0,30	4700
Туф	8	80	2,34	46000	0,24	4700
Мартиты	9	90	3,58	53000	0,18	4140
Кварцит гематито-мартитовый	10	100	2,37	69000	0,21	4450
Руда магнетитовая	11	110	2,86	68000	0,21	5250
Сиенит	12	120	2,54	94000	0,30	5000
Руда магнетитовая бедная	13	130	3,41	84000	0,30	5450
Скарн	14	140	3,62	92000	0,31	5250
Кварциты гематито-мартитовые	15	150	3,5	84500	0,31	5300
Скарн актинолитовый	16	160	3,8	57000	0,36	4450
Сиенит	17	170	2,67	61000	0,31	4800
Скарн пироксин-эпидотовый	18	180	2,92	32000	0,31	3400
Гнейс	19	190	2,80	63500	0,23	5350
Роговик	20	200	3,53	65000	0,28	5530

Исходные данные:	
Свойства ВВ	
D := 4800 м/с;	Скорость детонации ВВ
$\rho_0 := 900$ кг/м ³ ;	Плотность заряжения
Q := 1000 ккал/кг;	Теплота взрыва ВВ
q := 0.9 кг : м ³	Удельный расход ВВ
Свойства породы	
$\rho := 2700$ кг / м ³	Объемный вес (масса) породы
$\sigma_{сж} := 1600$ кг / см ²	Предел прочности породы на сжатие
$\sigma_{сж} := \frac{\sigma_{сж} \cdot 100000}{1.01937}$	$\sigma_{сж} = 156959691$ Па,
$\sigma_{рас} := 15000000$ Па;	предел прочности породы на растяжение 150 кгс / см ²
f := 16	Коэффициент крепости по Протоdjаконову
c := 4000 м/с;	Скорость продольной волны в породе
E1 := 560000 кгс / см ²	Модуль упругости
$E := \frac{E1 \cdot 100000}{1.01937}$	E = 54935891776 Па;
$\mu := 0.23$	коэф. Пуассона

Рис. 5.8.1. Фрагмент программы Исходные данные для компьютерных расчетов параметров волн напряжений в породе «Скарн актинолитовый»

В справочниках напряжения и модули упругости часто даются в кг/см², в программе приведены формулы их пересчета в систему СИ.

На рис. 5.8.2 представлен фрагмент компьютерной программы последовательного перебора всех категорий крепости.

Вспомогательные величины			
$f_n := 4$		$\Delta f := 1$	
$f := f_n, f_n + \Delta f \dots 20$	$ff(f) := \frac{f}{f}$		
$\sigma_{сж}(f) := f \cdot 10000000$	$f =$	$\sigma_{сж}(f) =$	
	4	40000000	$f =$
	5	50000000	13
	6	60000000	14
	7	70000000	15
	8	80000000	16
	9	90000000	17
	10	100000000	18
	11	110000000	19
	12	120000000	20
			$\sigma_{сж}(f) =$
			130000000
			140000000
			150000000
			160000000
			170000000
			180000000
			190000000
			200000000

Рис. 5.8.2. Фрагмент компьютерной программы последовательного перебора всех категорий крепости

В компьютерную программу введен элемент последовательного перебора всех категорий крепости (рис. 5.8.2).

На рис. 5.8.3 представлен фрагмент компьютерной программы определения начальных параметров волны напряжений на границе излучения.

Компьютерными расчетами определены начальные параметры цилиндрической волны напряжений. В выбранной породе 16-й категории крепости получены следующие значения параметров на границе излучения волны напряжений; радиус границы излучения – 2,3 м; длина волны – 6,9 м; максимальная начальная скорость частиц в волне – 11,8 м.

В справочниках напряжения и модули упругости часто даются в кг/см², в программе приведены формулы их пересчета в систему СИ.

$$V_p(f) := \frac{38 \cdot \text{Эз}}{(\rho \cdot c^2)} \cdot \left(\frac{\rho \cdot c^2}{250 \cdot \sigma_{сж}(f)} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$r_p(f) := \sqrt{\frac{V_p(f)}{\pi \cdot L}}$$

Радиус излучения и длина волны напряжений

$$R_n(f) := r_p(f) \cdot \sqrt{\frac{\rho \cdot c^2}{4 \cdot \sigma_{сж}(f)}} \quad \Lambda(f) := 3 \cdot R_n(f) \text{ м}$$

Максимальная массовая скорость на грпанице излучения

$$U_n(f) := \frac{c \cdot \sigma_{сж}(f) \cdot (1 - \mu^2)}{E \cdot (1 - 0.12 \cdot \mu)}$$

Рис. 5.8.3. Фрагмент компьютерной программы определения параметров цилиндрической волны напряжений при 17 категориях крепости

С ростом категории крепости горных пород радиус волны излучения монотонно уменьшается от 7,8 м до 1,9 м. Длина волны монотонно уменьшается от 22 м до 5,7 м. Максимальная начальная скорость частиц на границе излучения от 2,9 м до 14,5 м. Компьютерные графики, представленные в правой части рис. 5.8.4, показывают монотонность этих изменений. Кривые плавные, без изгибов, переломов и разрывов.

Все расчеты в этой программе велись для одной породы «скарн актенолитовый». Этой породе искусственно последовательно присваиваются коэффициенты крепости от 4 до 20. В программе часть скалярных величин и искомые параметры переведены в векторную запись. Это дает возможность выполнить расчет искомых величин для всех «искусственных» категорий крепости одной горной породы «скарн актенолитовый».

Но у реальных горных пород разной категории крепости изменяются численные значения и других ее свойств. Причем изменяются они не пропорционально изменению категорий крепости, а весьма хаотично. Это можно увидеть при тщательном анализе таблицы 5.8.1, в которой представлены физико-механические свойства реальных горных пород.

Видно, что на графиках (рис. 5.8.4) искомые параметры сильно зависят от коэффициента крепости породы.

На рис. 5.8.4 представлена расчетная компьютерная таблица начальных параметров волны напряжений на границе излучения для п горных пород от 4-й до 20-й категории крепости. В первом столбце таблицы – категории крепости горных пород. Во втором столбце – радиус излучения волны напряжений. В третьем столбце — длина волны. В четвертом столбце – максимальная массовая скорость частиц в волне и границе излучения.

Для определения реальных значений радиуса излучения волны напряжений, длины волны и максимальной массовой скорости частиц на границе излучения необходимо при расчетах выбирать построчно реальные свойства каждой горной породы.

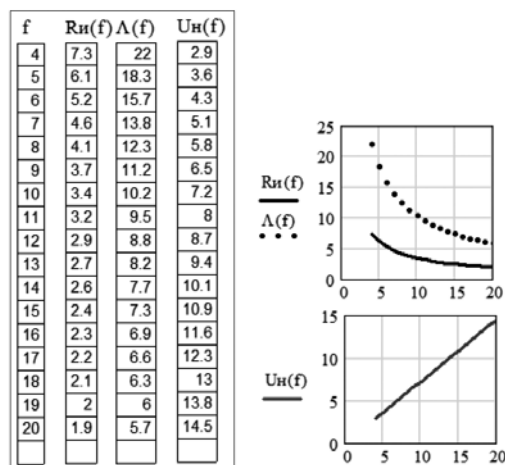


Рис. 5.8.4. Результаты расчета и графики для «скарна актенолитового» при разных коэффициентах крепости

Плотность			
П4 := 2900	П5 := 3400	П6 := 3200	П7 := 2730
П8 := 2340	П9 := 3580	П10 := 3270	П11 := 2860
П12 := 2540	П13 := 3410	П14 := 5620	П15 := 6300
П16 := 4450	П17 := 4800	П18 := 3400	П19 := 5350
П20 := 5530			

Рис. 5.8.5. Табличная плотность горных пород в кг/м³, с удобной для использования в расчетах кодировкой

В таблице рис. 5.8.5 представлена плотность горных пород из таблицы 5.8.1 с удобной для использования в расчетах кодировкой. Такие таблицы в программе составлены для каждого свойства горных пород.

Для выбора и использования значений плотности горной породы из любой строки таблицы в раздел программы «исходные данные» введены блоки, подобные блокам, представленным на рис. 5.8.5.

Такие блоки введены в программу для столбиков 4, 5, 6, 7. Программа позволяет вводить любое количество таких блоков с разной кодировкой.

На рис. 5.8.6 представлен фрагмент программы с параметрами в векторной записи.

$$\begin{aligned}
 V_p(f) &:= \frac{38 \cdot \text{Эз}}{\left[\Pi(f) \cdot (\text{СВ}(f))^2 \right]} \cdot \left[\frac{\Pi(f) \cdot (\text{СВ}(f))^2}{250 \cdot \sigma_{\text{сж}}(f)} \right]^{\frac{2}{3}} \\
 r_p(f) &:= \sqrt{\frac{V_p(f)}{\pi \cdot L}} \\
 \text{Радиус излучения и длина волны напряжений} \\
 R_{\text{и}}(f) &:= r_p(f) \cdot \sqrt{\frac{\Pi(f) \cdot (\text{СВ}(f))^2}{4 \cdot \sigma_{\text{сж}}(f)}} \quad \Lambda(f) := 3 \cdot R_{\text{и}}(f) \\
 \text{Максимальная массовая скорость частиц на границе излучения} \\
 U_{\text{н}}(f) &:= \frac{(\text{СВ}(f)) \cdot \sigma_{\text{сж}}(f) \cdot (1 - \text{КП}(f)^2)}{E(f) \cdot (1 - 0.12 \cdot \text{КП}(f))}
 \end{aligned}$$

Рис. 5.8.6. Фрагмент программы с векторными параметрами

Этот фрагмент программы и аналогичные ему другие разделы программы позволяют выбрать реальные значения свойств горных пород и определить численные значения искомых параметров по реальным свойствам группы горных пород, а также определить их функциональную зависимость.

На рис. 5.8.7 представлены результаты расчета и графики для всех пород таблицы 5.8.1 по реальным их свойствам, в компьютерной табличной форме и в графическом виде.

При увеличении коэффициента крепости пород от 4 до 20 радиус излучения волны напряжений уменьшается от 5,2 м до 2,6 м; длина волны

уменьшается от 15,7 м до 7,7 м; максимальная скорость частиц на границе излучения возрастает от 3,2 м до 15,9 м.

Диапазон изменения искомых параметров изменился незначительно. Искомые параметры по-прежнему сильно зависят от коэффициента крепости породы. Но кривые всех искомых параметров перестали быть плавными. Кривые стали искривленными и ломаными.

Это является следствием того, что реальные свойства горных пород изменяются не пропорционально изменению категории крепости или изменению какого-то иного свойства горных пород. Они изменяются весьма хаотично.

Любые свойства горных пород, как учил академик Ржевский В.В., лучше не рассчитывать, а измерять.

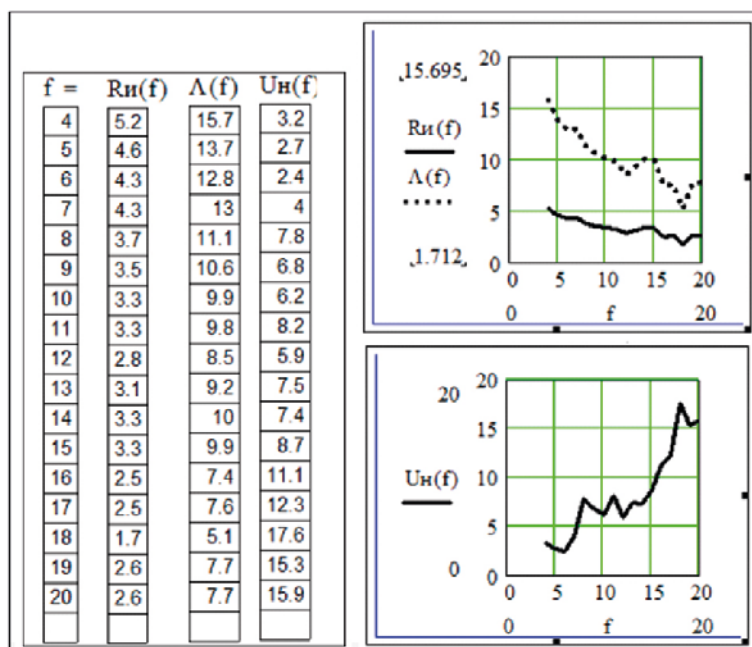


Рис. 5.8.7. Результаты расчета и графики для всех пород по реальным их свойствам. Названия пород и их свойства приведены в таблице 5.8.1

5.9. Зависимость энергии цилиндрической волны напряжений от крепости горных пород

В соответствии с разработанной в ИПКОН РАН многофазной и многозонной теорией технологического дробления горных пород взрывом цилиндрическая волновая фаза является одной из двенадцати фаз процесса. Под совместным действием двенадцати фаз процесса осуществляется технологическое дробление горных пород взрывом в карьерах. Это одно из главных положений многофазной и многозонной теории. Второе важнейшее положение многофазной и многозонной теории заключается в том, что качество тех-

нологического дробления породы связано с распределенной по зоне дробления энергией разрушения. Ни по какому другому параметру процесса, кроме энергии разрушения, определить крупность дробления породы нельзя.

Разработаны компьютерные программы в оболочке MathCad для расчета параметров цилиндрической волны напряжений в зоне технологического дробления горных пород в карьерах. Для условий взрывания скважинного заряда гранулолота 79/21 диаметром 250 мм в породе «гранит» на рис. 5.9.1 представлены исходные данные для компьютерных расчетов. На фрагменте представлены: названия параметров, их принятые обозначения, их численные значения и наименование принятых единиц измерения.

Исходные данные:	
Гранулолот 79/21	$r_0 := 0.125 \text{ м};$ Радиус скважины (заряда)
Свойства ВВ	
$D := 4200 \text{ м/с};$	Скорость детонации ВВ
$\rho_0 := 900 \text{ кг/м}^3;$	Плотность заряжания
$Q := 1000 \text{ ккал/кг};$	теплота взрыва ВВ
$q := 0.9 \text{ кг/м}^3;$	Удельный расход ВВ
Свойства породы Гранит	
$\rho := 2700 \text{ кг/м}^3;$	Объемный вес (масса) породы
$\sigma_1 := 1600 \text{ кг/см}^2$	$\sigma_{сж} = 156959691 \text{ Па};$ Предел прочности породы на сжатие
$\sigma_1 := 150 \text{ кг/см}^2$	$\sigma_{рас} := \frac{\sigma_1 \cdot 100000}{1.01937}$
$\sigma_{рас} = 14714971 \text{ Па};$	Предел прочности породы на растяжение
$E1 := 560000 \text{ кг/см}^2$	$E := \frac{E1 \cdot 100000}{1.01937}$
$E = 54935891776 \text{ Па};$	Модуль упругости
$\mu := 0.23$	коэф. Пуассона
$f := 16$	Коэффициент крепости по Протодьяконову
$c := 4000 \text{ м/с};$	Скорость продольной волны в породе

Рис. 5.9.1. Фрагмент программы с исходными данными

На рис. 5.9.2 и 5.9.3 представлен фрагмент программы расчета радиальных фазовых и тангенциальных фазовых деформаций и напряжений в цилиндрической волне напряжений. По этому блоку они рассчитываются уже по рассчитанным значениям: радиуса излучения волны напряжений R ; длины волны Λ и максимальной массовой скорости частиц в волне U . Здесь λ – фазовое значение длины волны напряжений, которое можно изменять с шагом произвольно выбранного размера; c – скорость продольной волны в породе;

ε_r – радиальная относительная деформация; ε_θ – тангенциальная относительная деформация.

Таблица 5.9.1 представлена блоком расчета составляющих тензора напряжений и энергии цилиндрической волны. Здесь $\sigma_1(\lambda)$ – главное радиальное напряжение; $\sigma_3(\lambda)$ – главное тангенциальное напряжение; $\sigma_3(\lambda)$ – глав-

ное осевое напряжение; \mathfrak{E}_{ac} – энергия цилиндрической волны на границе ее излучения в КДж в одном метре заряда; $\mathfrak{E}_{ac}\%$ – энергия цилиндрической волны на границе ее излучения в процентах к энергии в одном метре заряда.

В целях лучшего визуального восприятия напряжения, рассчитанные в паскалях, переведены в мегапаскали.

В первом столбце таблицы 5.9.3 представлены сокращенные названия горных пород. В следующих пяти столбцах представлены свойства горных пород. В следующих трех столбцах представлены рассчитываемые параметры волны напряжений на границе излучения. В предпоследнем столбце представлена энергия одного метра заряда, излученная в волну напряжений в килоджоулях.

$$\begin{aligned}
 \varepsilon r1(\lambda) &:= \frac{-U}{0.18 \cdot c \cdot \Lambda} \cdot \left(2\lambda - \frac{3\lambda^2}{0.54 \cdot \Lambda} \right) \\
 \varepsilon r2(\lambda) &:= \frac{-0.4 \cdot U}{c \cdot \Lambda \cdot 0.18} \cdot \left(\frac{3\lambda^2}{0.54 \cdot \Lambda} - 6 \cdot \lambda + 1.44 \cdot \Lambda \right) \\
 \varepsilon r3(\lambda) &:= \frac{-0.4 \cdot U}{c \cdot \Lambda} \cdot \left(\frac{2\lambda}{0.92} - 2.17 \cdot \Lambda \right) \\
 \varepsilon r(\lambda) &:= \begin{cases} \varepsilon r1(\lambda) & \text{if } 0 < \lambda \leq 0.36 \cdot \Lambda \\ \varepsilon r2(\lambda) & \text{if } 0.36 \cdot \Lambda < \lambda < 0.54 \cdot \Lambda \\ \varepsilon r3(\lambda) & \text{if } 0.54 \cdot \Lambda < \lambda \leq \Lambda \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\
 \varepsilon \theta 1(\lambda) &:= \frac{U}{0.18 \cdot c \cdot \Lambda \cdot R} \cdot \left(\lambda^2 - \frac{\lambda^3}{0.54 \cdot \Lambda} \right) \\
 \varepsilon \theta 2(\lambda) &:= \frac{0.4 \cdot U}{c \cdot \Lambda \cdot R \cdot 0.18} \cdot \left(\frac{\lambda^3}{0.54 \cdot \Lambda} - 3 \cdot \lambda^2 + 1.44 \cdot \Lambda \cdot \lambda - 0.108 \cdot \Lambda^2 \right) \\
 \varepsilon \theta 3(\lambda) &:= \frac{0.4 \cdot U}{c \cdot \Lambda \cdot R} \cdot \left[\frac{\lambda^2}{0.92} - (2.17 \cdot \Lambda \cdot \lambda) + 1.335 \cdot \Lambda^2 \right] \\
 \varepsilon \theta(\lambda) &:= \begin{cases} \varepsilon \theta 1(\lambda) & \text{if } 0 < \lambda \leq 0.36 \cdot \Lambda \\ \varepsilon \theta 2(\lambda) & \text{if } 0.36 \cdot \Lambda < \lambda \leq 0.54 \cdot \Lambda \\ \varepsilon \theta 3(\lambda) & \text{if } 0.54 \cdot \Lambda < \lambda \leq \Lambda \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}
 \end{aligned}$$

Рис. 5.9.2. Фрагмент основного блока расчета относительных деформаций

В последнем столбце представлен процент энергии заряда, излученный в волну напряжений. Процент излученной в волну энергии заряда не зависит от длины заряда.

Из таблицы видно, что энергия волны напряжений на границе ее излучения монотонно возрастает с увеличением крепости горных пород. Но процент энергии волны напряжений на границе ее излучения лежит в пределах от 2,2% до 3,6% энергии взорванного заряда во всем диапазоне изменения крепости горных пород от 4-й до 20-й категории крепости.

Расчет фазовых напряжений и энергии волны

$$\sigma_1(\lambda) := \frac{E}{1 - \mu^2} \cdot (\varepsilon_r(\lambda) + \mu \cdot \varepsilon_\theta(\lambda))$$

$$\sigma_2(\lambda) := \frac{E}{1 - \mu^2} \cdot (\varepsilon_\theta(\lambda) + \mu \cdot \varepsilon_r(\lambda))$$

$$\sigma_3(\lambda) := \mu \cdot (\sigma_1(\lambda) + \sigma_2(\lambda))$$

Перевод напряжений в мегапаскали

$$\sigma_{11}(\lambda) := \frac{\sigma_1(\lambda)}{1000000} \quad \sigma_{22}(\lambda) := \frac{\sigma_2(\lambda)}{1000000} \quad \sigma_{33}(\lambda) := \frac{\sigma_3(\lambda)}{1000000}$$

Промежеточный параметр $A(\lambda)$

$$A(\lambda) := 2 \cdot \mu \cdot (\sigma_1(\lambda) \cdot \sigma_2(\lambda) + \sigma_2(\lambda) \cdot \sigma_3(\lambda) + \sigma_3(\lambda) \cdot \sigma_1(\lambda))$$

Энергия излученная в цилиндрическую волну

$$\mathcal{E}_{\text{вц}} := \frac{\pi \cdot R_{\text{и}} \cdot L}{E} \cdot \int_0^\Lambda \left[((\sigma_1(\lambda))^2 + (\sigma_2(\lambda))^2 - A(\lambda)) \right] d\lambda$$

$$\mathcal{E}_{\text{вц}}\% := \frac{\mathcal{E}_{\text{вц}} \cdot 100}{\mathcal{E}_3} \quad \mathcal{E}_{\text{вц}} = 4567630 \quad \text{Дж}$$

$$\mathcal{E}_{\text{вц}}\% = 2.5 \quad \%$$

Рис. 5.9.3. Фрагмент блока расчета составляющих тензора напряжений и энергии цилиндрической волны

Но на энергию волны напряжений на границе ее излучения влияют не только крепость горных пород, но и плотность горной породы, ее модуль упругости и коэффициент Пуассона, скорость продольных волн в породе.

В таблице 5.9.1 представлены свойства семнадцати горных пород с разными коэффициентами крепости. Породы выбраны из кадастра горных пород с их свойствами: плотностями горных пород, их модулями упругости и коэффициентами Пуассона, скоростями продольных волн в этих породах.

В этой таблице диапазон изменения энергии волны на границе излучения колеблется в пределах от 1,5% до 4,7% от энергии заряда.

Это свидетельствует о малой энергетической насыщенности цилиндрической волновой фазы процесса. В крепких горных породах амплитуда излучаемых волн напряжений высокая. Но в этих условиях маленькая длина волны. В слабых породах амплитуда волны напряжений много меньше, но значительно возрастает длина волны. Эта особенность связи параметров волн напряжений не позволяет энергии волн изменяться в широком пределе. При дальнейшем распространении волны напряжений по массиву горных пород ее энергия будет только уменьшаться при любых условиях ее распространения.

Таблица 5.9.1.

Свойства горных пород и энергия волны

Горные породы	Выбранные свойства пород					Энергия волны	
	f	γ	E	μ	c	Э	Э%
Ед. измерения	-	г/см ³	МПа	-	м/с	МДж	%
Известняк	4	2,9	35600	0,24	3000	4138	2,2
Роговики	5	3,4	55000	0,16	3000	3767	2,0
Роговики маргитовые.	6	3,2	85000	0,21	3500	2781	1,5
Известняк мраморизован.	7	2,73	76000	0,30	4700	4363	2,4
Туф	8	2,34	46000	0,24	4700	6075	3,3
Мартиты	9	3,58	53000	0,18	4140	5457	3,0
Кварцит гематит	10	2,37	69000	0,21	4450	4821	2,6
Руда магнетит.	11	2,86	68000	0,21	5250	6778	3,7
Сиенит	12	2,54	94000	0,30	5000	4370	2,4
Руда магнетитовая	13	3,41	84000	0,30	5450	5184	2,8
Скарн	14	3,62	92000	0,31	5250	4574	2,5
Кварциты маргитовый	15	3,5	84500	0,31	5300	5076	2,7
Гранит	16	2,7	56000	0,23	4000	6056	3,3
Сиенит	17	2,67	61000	0,31	4800	5331	2,9
Скарн пироксिनвый	18	2,92	32000	0,31	3400	6943	3,8
Гнейс	19	2,80	63500	0,23	5350	8431	4,6
Роговик	20	3,53	65000	0,28	5530	8780	4,7

Чтобы дойти до крупности дробления породы этой фазой процесса, нужно: описать процесс ее распространения, описать изменение ее энергии при распространении волны, выделить из энергии волны энергию разрушения породы, представить энергию разрушения в распределенном по объему виде и по распределенной энергии разрушения определить крупность кусков в каждом условно выделенном объеме и из этого материала сформировать грансостав раздробленной породы.

Опираясь на многолетний опыт наших научных исследований, мы могли бы представить ориентировочное распределение энергии разрушения скважинного заряда примерно в следующей пропорции: сумма камуфлетных фаз до 35%, сумма волновых фаз до 5%, сумма квазистатических фаз до 45%, кинетическая фаза, фаза формирования развала породы до 10–15%.

Волновые фазы являются младшим партнером в коллективном процессе технологического дробления горных пород взрывом промышленных скважинных зарядов.

Глава 6. Цилиндрическая квазистатическая фаза взрыва

6.1. Общие сведения о цилиндрической квазистатической фазе взрыва

Многие исследователи изучали и продолжают изучать волновую теорию развития процесса взрыва в горном массиве. Эта теория связана с первой стадией расширения газовой полости в породе под воздействием газообразных продуктов детонации и с распространением по массиву горных пород волны напряжений. Получены многочисленные аналитические зависимости для определения различных параметров этой фазы процесса для различных условий взрывания. Процессы, связанные со второй стадией расширения газовой полости, по-прежнему остаются малоизучены. Эта стадия известна в технической литературе под терминами «поршневое действие взрыва», «квазистатическое действие взрыва», «безволновое расширение полости». В литературе дается главным образом качественное описание развития этой стадии процесса. Аналитические зависимости, полученные с использованием модели «толстостенной трубы», малопригодны для описания характера развития второй стадии процесса в зоне технологического дробления горной породы взрывом. Выбору модели второй стадии физического процесса и получению аналитических зависимостей для определения ее параметров уделяют много внимания сотрудники ИПКОН РАН, авторы работ [43, 44, 49, 50].

Под квазистатическим действием взрыва мы понимаем процессы, которые развиваются в горном массиве на стадии вторичного, послеволнового расширения газовой полости, заполненной продуктами детонации. Такое понимание квазистатического действия взрыва, модели и теория квазистатической фазы взрыва предложены доктором технических наук Н.Н. Казаковым. Аналитические зависимости определения параметров процессов разработаны Казаковым Н.Н. и Шляпиным А.В.

Вторичное расширение газовой полости начинается после того, как волна напряжений дойдет до обнаженной поверхности, отразится от свободной поверхности и отраженная волна дойдет до камуфлетной газовой полости. Завершается процесс вторичного расширения газовой полости в момент начала прорыва продуктов детонации в атмосферу.

При отсутствии свободной поверхности, квазистатическая фаза взрыва не развивается вообще, и взрыв не производит технологическое дробление горных пород. С технологической точки зрения такой взрыв является недопустимым весьма убыточным браком.

При развитии квазистатической фазы взрыва камуфлетная газовая полость расширяется и формируется квазистатическая газовая полость, значительно превосходящая по объему камуфлетную газовую полость.

Величина энергии, переданная по любому направлению от центра взрыва, при развитии квазистатической фазы взрыва определяется длиной смещения внешней границы квазистатической полости по этому направлению.

Начальные площади направлений могут выбираться произвольно. Но они должны быть одинаковыми по площади.

6.2. Главные идеи и модели цилиндрической квазистатической фазы взрыва и зоны ее действия

Главная идея, положенная в основу изучения и количественного описания квазистатической фазы взрыва, заключается в следующем. При развитии квазистатической фазы взрыва величина переданной энергии взрыва в любом направлении от центра взрыва пропорциональна смещению границы газовой полости в этом направлении за время развития цилиндрической квазистатической полости.

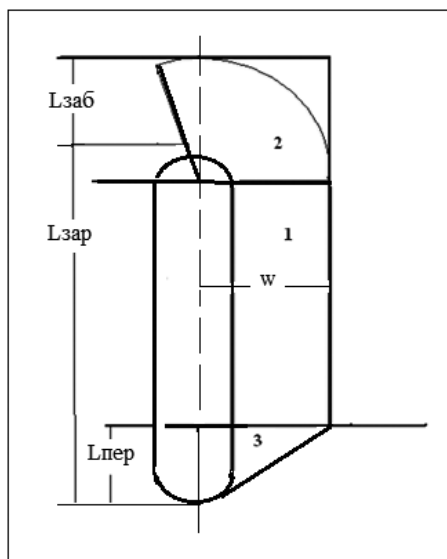


Рис. 6.2.1. Схема физической модели квазистатической полости скважинного заряда конечной длины

Н.Н. Казаковым предложена геометрическая модель квазистатической газовой полости, схема которой представлена на рис. 6.2.1. Предложенная модель квазистатической газовой полости является составной и состоит из трех частей: цилиндрической части квазистатической полости – 1; сферической части квазистатической полости – 2 и конической части квазистатической полости – 3 (рис. 6.2.1).

Цилиндрическая часть квазистатической полости, отмеченная на схеме цифрой 1, простирается от подошвы ниже лежащего уступа почти до забойки. Когда цилиндрическая часть квазистатической полости доходит до обнаженной поверхности, развитие квазистатической полости завершается. Продукты детонации прорываются в атмосферу. Их оставшаяся энергия затрачивается на перемещение раздробленной породы, на формирование породного развала и пылегазового облака.

Сферическая часть квазистатической полости формируется в районе забойки. Ее развитие завершается в момент завершения развития цилиндрической части квазистатической полости. Но может завершиться и раньше, если длина забойки меньше w .

Коническая часть квазистатической полости формируется в районе перебура. Наиболее удаленная точка ее развития сопряжена с внешней границей цилиндрической части квазистатической полости.

Полный объем квазистатической полости в расчетах включает в себя все части квазистатической полости, объем камуфлетной полости и объем, ранее занимаемый зарядом взрывчатого вещества.

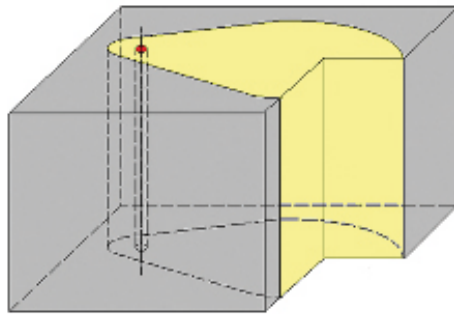


Рис. 6.2.2. Схема газовой полости к концу второй стадии расширения

На рис. 6.2.2 представлена объемная схема цилиндрической камуфлетной полости в горизонтальном слое массива толщиной 1 метр. Серым цветом показан массив горных пород, желтым выделена газовая полость, красным кружочком показано поперечное сечение скважинного заряда. Стоит отметить, что полость формируется по всей длине скважинного заряда. Но привязка расчетов к метровому слою удобна и с точки зрения перехода к заряду любой длины, и с точки зрения определения параметров полости, и ее объема.

Нами не описываются в этой главе зоны, примыкающие к забойке и перебуру. Они будут изложены в следующих главах книги.

Форма поперечного сечения цилиндрической квазистатической полости представлена на рис. 6.2.3. В поперечном сечении цилиндрическая полость – это не полный цилиндр, а лишь примерно четверть цилиндра. Но эта четверть имеет цилиндрическую симметрию.

Здесь: w – ЛНС; B – полуширина воронки выброса; L – расстояние до внешней границы цилиндрической квазистатической полости. Криволинейная поверхность полости, касающаяся обнаженной поверхности, принята равной радиусу полуширины воронки выброса. С противоположенной стороны заряда граница полости представляет собой дугу, которая является частью камуфлетной полости. Боковые стенки полости являются поверхностями, которые выходят из углов воронки выброса и касаются границы камуфлетной полости. Поперечное сечение полости представляет собой трапецию с сегментами около ее основания.

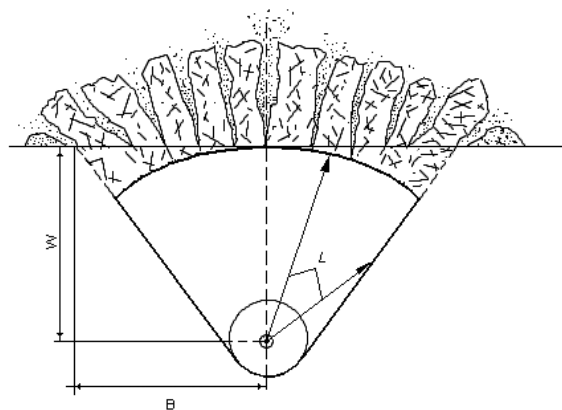


Рис. 6.2.3. Схема поперечного сечения газовой полости к моменту начала прорыва продуктов детонации в атмосферу

Форма полости второй стадии расширения принята в виде усеченной пирамиды с сегментами около ее основания. Радиус малого сегмента равен радиусу камуфлетной полости, радиус большого сегмента равен полуширине воронки выброса.

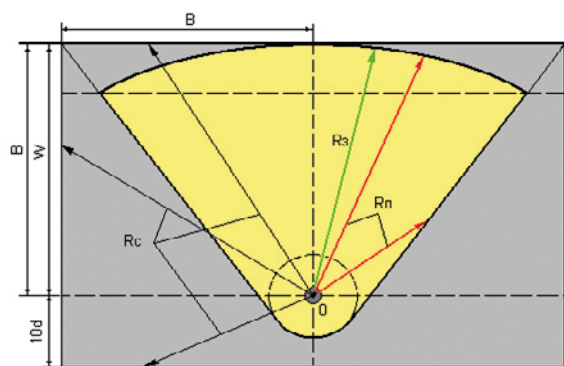


Рис. 6.2.4. Схема поперечного сечения воронки, нормальная воронка выброса при ($w=B$)

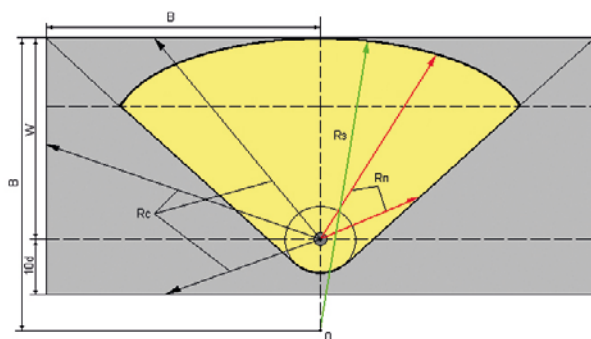


Рис. 6.2.5. Схема поперечного сечения воронки при малом заглублении скважинного заряда при ($w < B$)

6.3. Определение объема квазистатической полости

Описание проблемы развития квазистатической фазы взрыва при взрыве скважинного заряда в карьере начинается с определения площади и других элементов поперечного сечения газовой полости, представленной на рис. 6.2.4, 6.2.5 и 6.2.6 в предыдущем параграфе. Любой элемент площади этого сечения и все сечение, умноженные на 1 метр, дают объемы элементов или всего сечения в плоском породном слое толщиной в 1 метр. А умноженные на длину заряда выше нижней площади уступа дают объемные параметры этих элементов и всей площади по всей цилиндрической квазистатической фазе в среднем слое уступа.

Разработаны компьютерные программы в программной оболочке MathCad, которые дают возможность рассчитать многочисленные параметры процессов квазистатической цилиндрической фазы, рассчитать геометрические, энергетические параметры и крупность дробления породы этой фазой процесса. Для лучшего понимания описываемых процедур мы будем сопровождать описание материалов не только аналитическими выражениями, но и фрагментами программы и результатами расчета отдельных элементов.

На рис. 6.3.1 представлен фрагмент компьютерной программы. На фрагменте представлены начальные параметры для расчета параметров цилиндрической квазистатической фазы взрыва скважинного заряда в карьере.

В нижней части начальных условий для расчета включены некоторые геометрические и энергетические параметры камуфлетной и волновой фаз. Если расчеты ведутся в одной программе, программа сама найдет и выберет в качестве начальных цифровые значения ранее выполненных расчетов. Если расчет ведется по отдельной квазистатической компьютерной программе, эти цифры нужно найти в ранее выполненных расчетах и включить их в начальные условия рассчитываемого варианта.

Квазистатика начальные параметры			
$w := 7$	ЛНС	$e1 := 1$	Коэф. ВВ
$Эз = 2034638738$	Дж	$Эвц := 81345584$	Дж
$\Delta L_{зар} := 1$	м	Принятая в расчете толщина слоя	
$\Delta \alpha := 1$	град.	Шаг по углу (можно изменять)	
Камуфлет			
$Эo1 = 1266899806$	Энргия в камуф. полости		
$P1 = 199177050$	Давление в камуф. полости		
$V_{рк} = 1.95$	Объем камуф. полости		
$V_{рц} = 1.89$	Объем цилинд. камуф. полости		
$V_{рсф} = 0.06$	Объем сфер. камуф. полости		

Рис. 6.3.1. Фрагмент компьютерной программы. Начальные условия для расчета параметров цилиндрической квазистатической фазы



Рис. 6.3.2. Фрагмент программы определения ширины полости у обнаженной поверхности

В начальные условия включены: ЛНС, энергетический коэффициент взрывчатого вещества, метровая толщина горизонтального расчетного слоя, принятый произвольно угол выбранного направления в горизонтальном расчетном слое.

На рис. 6.3.2 представлен фрагмент программы определения полуширины полости (воронки) около обнаженной поверхности. Это необходимо чтобы узнать, является ли заряд зарядом нормального выброса ($w=B$), или заряд является мало заглубленным ($w<B$), или заряд является сильно заглубленным. От этого зависит выбор для расчетов схемы воронки из рис. 6.2.5, 6.2.6 и 6.2.7 предыдущего параграфа. В нашем демонстрационном примере воронка нормального выброса, в которой $B=w=7$ м.

На фрагменте, в правом нижнем углу, представлена рассчитанная выборочная таблица изменения полуширины воронки и коэффициента сближения скважин в зависимости от заглубления заряда (от w). Видно, что полуширина воронки чаще отличается от ЛНС, чем совпадает с ней.

Во всех трех вариантах площадь поперечного сечения воронки представляет собой трапецию с примыкающими к ней сегментами (рис. 3). При реализации формы газовой полости в виде воронки нормального выброса ($B=W$) объем трапециевидальной части полости вычисляется по формуле

$$V_{\text{тр}} = (\sin \beta \cdot rr + W \cdot \sin(\alpha + \delta)) \left(0,7071 \sqrt{W^2 + B^2} + \cos \beta \cdot rr \right) L,$$

где W – ЛНС; L – длина заряда; rr – максимальный радиус полости.

В данном случае α угол полуширины воронки нормального выброса равен 45° .

Для получения величин геометрических элементов модели необходимо определить основные опорные углы. Так γ – угол между треугольником, определяющим отношение полуширины воронки к линии наименьшего сопротивления и радиусом полости вычисляется по формуле

$$\gamma = \arccos \left(\frac{rr}{W} \right).$$

Угол δ , необходимый для получения точных значений геометрических элементов составляющих модель процесса передачи энергии взрыва в породе, определяется по формуле

$$\delta = \arccos \left(\frac{rr}{\sqrt{W^2 + B^2}} - \gamma \right).$$

Угол между осью симметрии воронки и радиусом полости, расположенным относительно боковой стороны трапеции под прямым углом, определяется по формуле

$$\beta = 135^\circ - \gamma - \delta.$$

Объем большого сегмента цилиндра вычисляется по формуле

$$V_{c.б} = \frac{W^2}{2} \left(\frac{\pi(\alpha + \delta)}{180^\circ} - \sin(\alpha + \delta) \right) L.$$

Объем малого сегмента цилиндра вычисляется по формуле

$$V_{c.м} = \frac{rr}{2} \left(\frac{\pi\beta}{180^\circ} - \sin \beta \right) L.$$

Объем газовой полости к концу второй стадии ее расширения

$$V_{п} = V_{Т} + V_{c.б} + V_{c.м}.$$

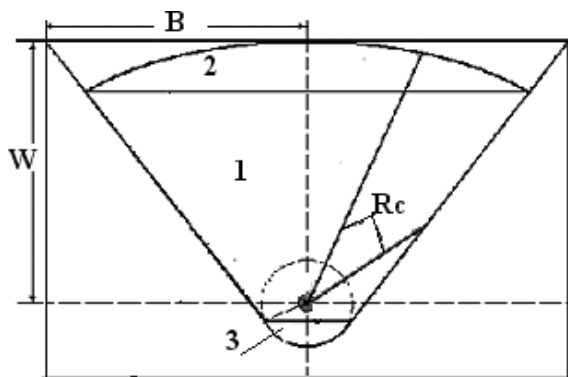


Рис. 6.3.3. Поперечное сечение цилиндрической части квазистатической полости

На рис. 6.3.4 представлен фрагмент программы расчета объема элементов и всей цилиндрической квазистатической полости. В нашем демонстрационном варианте объем цилиндрической квазистатической полости в метровом слое массива равен 40,8 м³.

Объем всей цилиндрической квазистатической полости скважинного заряда выбранной длины равен 362 м³.

В правой части фрагмента программы приводятся все рассчитанные программой объемы для нашего демонстрационного варианта взрывания промышленного скважинного заряда взрывчатого вещества в карьере.

Рассмотрим схему модели полости к концу второй стадии ее расширения при малом заглублении скважинного заряда ($w < B$). Несмотря на схожесть геометрического отображения данной схемы со схемой нормального выброса, она все же имеет отличия в определении геометрических элементов схемы.

Объем фигуры выбранной модели состоит из трех фигур: первая — трапецевидная часть и два сегмента цилиндра.

Объем трапецевидной составляющей вычисляется по формуле

$$V_{Tp} = \left((\sin \beta / rr) + \sin(\alpha + \delta) \right) W \left(\cos(\alpha + \delta) W + \cos \beta / rr \right) L.$$

Угол между гипотенузой и линией наименьшего сопротивления определяется по формуле

$$\alpha = \arccos \frac{W}{\sqrt{W^2 + B^2}}.$$

Аналогично приведенной ранее последовательности вычислений, с учетом особенностей рассматриваемой воронки, определяется угол δ

$$\delta = \arccos \frac{rr}{\sqrt{W^2 + B^2}} - \arccos \frac{rr}{W}.$$

Объем трапециевидной части полости	
$V_T := 1 \cdot h_b \cdot (B_b + b_b)$	$V_T = 26.2 \text{ м}^3$
Объем большого сегмента	
$V_{сб1} := \frac{\pi \cdot B^3 \cdot 1 \cdot (\beta) \cdot 2}{360} - [h1 + (B - w)] \cdot B_b \cdot 1$	$V_{сб1} = 14.6 \text{ м}^3$
$V_{сб2} := \frac{\pi \cdot B^3 \cdot 1 \cdot (\beta) \cdot 2}{360} - h1 \cdot B_b \cdot 1$	$V_{сб2} = 14.6 \text{ м}^3$
$V_{сб} := \begin{cases} V_{сб1} & \text{if } w < B \\ V_{сб2} & \text{if } w \geq B \end{cases}$	$V_{сб} = 14.6 \text{ м}^3$
Объем малого сегмента	
$V_{см} := \left[\frac{\pi \cdot r^3}{360} \cdot (180 - \alpha) \cdot 2 \right] \cdot 1 - h2 \cdot b_b \cdot 1$	$V_{см} = 0.02 \text{ м}^3$
Объем метрового слоя полости к концу второй стадии расширения	
$V_{сп} := V_T + V_{см} + V_{сб}$	$V_{сп} = 40.8 \text{ м}^3$
Объем цилиндрической части квазистатической полости к концу второй стадии расширения	
$V_{цк} := V_{сп} \cdot (L_{зар} - L_{пер} - r_0)$	$V_{цк} = 362 \text{ м}^3$

Рис. 6.3.4. Фрагмент программы расчета объема элементов и всей цилиндрической квазистатической полости

Угол между осью симметрии воронки и радиусом полости, расположенным относительно боковой стороны трапеции под прямым углом, определяется по формуле

$$\beta = 180^\circ - \gamma - \delta - \alpha.$$

Объем сегмента цилиндра малой составляющей вычисляется по формуле

$$V_{\text{с.м}} = \frac{rr}{2} \left(\frac{\pi\beta}{180^\circ} - \sin \beta \right) L.$$

Объем сегмента цилиндра большой составляющей вычисляется по формуле

$$V_{\text{с.б}} = \frac{W^2}{2} \left(\frac{\pi(\alpha + \delta)}{180^\circ} - \sin(\alpha + \delta) \right) L.$$

Расстояние от центра заряда до границы воронки выброса определяется по формулам:

$$R_r = w \text{ в секторе от } 0^\circ \text{ до } \alpha + \delta;$$

$$R_r = \frac{r_n}{\cos \gamma} \text{ в секторе от } \alpha + \delta \text{ до } \alpha + \gamma.$$

Рассмотрим схему модели полости к концу второй стадии ее расширения при большом заглублении скважинного заряда ($W > B$). Данная схема, как и две предыдущие, также имеет ряд особенностей в определении геометрических элементов схемы.

Объем трапецевидной составляющей вычисляется по формуле

$$V_{\text{тр}} = \frac{\left(\left(2 \sin \alpha \cdot rr \right) + \left(2W \sin(\beta + \delta) \right) \right) \left(\cos \beta \sqrt{W^2 + B^2} + \cos \alpha \cdot rr \right) L}{2}.$$

Угол между гипотенузой и линией наименьшего сопротивления определяется по формуле

$$\alpha = 135^\circ - \gamma - \delta.$$

Аналогично приведенной ранее последовательности вычислений, с учетом особенностей рассматриваемой воронки, определяется угол δ

$$\delta = \arccos \frac{rr}{\sqrt{W^2 + B^2}} - \gamma.$$

Угол между осью симметрии воронки и радиусом полости, расположенным относительно боковой стороны трапеции под прямым углом, определяется по формуле

$$\beta = 45^\circ.$$

Угол между треугольником, определяющим отношение полуширины воронки к линии наименьшего сопротивления, и радиусом полости вычисляется по формуле

$$\gamma = \arccos \frac{rr}{W}.$$

Объем сегмента цилиндра большой составляющей вычисляется по формуле

$$V_{c.б} = \frac{W^2}{2} \left(\left(\frac{\pi(\beta + \alpha)}{180^\circ} \right) - \sin(\beta + \delta) \right) L.$$

Объем сегмента цилиндра малой составляющей вычисляется по формуле

$$V_{c.м} = \frac{rr^2}{2} \left(\left(\frac{\pi \cdot \alpha}{180^\circ} \right) - \sin \alpha \right) L.$$

Особенности компьютерной программы и результаты расчета по последним вариантам воронки в тексте не приводятся. Но компьютерная программа может выполнять и эти расчеты.

6.4. Определение энергии разрушения и остаточной энергии в газовой полости к концу квазистатической фазы взрыва

Давление в газовой полости к концу второй стадии ее расширения определяется по формуле

$$P_n = P \left(\frac{V_1}{V_n} \right)^{1,3}.$$

Остаточная энергия в полости к концу второй стадии ее расширения определяется по формуле

$$\mathcal{E}_{02} = \frac{P_n V_n}{0,3}.$$

Эта энергия затрачивается в последующей фазе процесса на перемещение раздробленной горной массы, на формирование развала породы и на формирование пылегазового облака.

Энергия разрушения цилиндрической квазистатической фазы взрыва определяется по формуле

$$\mathcal{E}_{pквз} = \mathcal{E}_{01} - \mathcal{E}_{02},$$

где \mathcal{E}_{01} – остаточная энергия в полости к концу камуфлетной стадии ее расширения.

Энергия разрушения в слое метровой толщины определяется по формуле

$$\mathcal{E}_{1_{pквс}} = \frac{\mathcal{E}_{01}}{L_{зар}}$$

На рис. 6.4.1 представлен фрагмент компьютерной программы определения энергии разрушения в квазистатической полости, энергии разрушения в однометровом слое квазистатической полости и энергии разрушения на 1 метр смещения в квазистатической полости в нашем демонстрационном варианте.

Во фрагменте программы приводятся цифровые значения рассчитываемых параметров. В нашем примере к концу развития квазистатической фазы процесса в продуктах детонации останется еще 246230517 Дж энергии, что составляет 12% энергии заряда. Эта энергия в будущем будет затрачена на перемещения отбитой горной массы и на формирование развала.

Давление в квазистатической полости		$V_{квср} = 449$
$P_{квср} := P_1 \cdot \left(\frac{V_p}{V_{квср}} \right)^{1.5}$	$P_{квср} = 164628$	Па;
Оставшаяся энергия в квазистатической полости к концу развития квазистатической фазы		
$\mathcal{E}_{квс} := \frac{P_{квср} \cdot V_{квср}}{0.3}$	$\mathcal{E}_{квс} = 246230517$	Дж
$\mathcal{E}_{квс\%} := \frac{\mathcal{E}_{квс}}{\mathcal{E}_3} \cdot 100$	$\mathcal{E}_{квс\%} = 12.1$	%
Энергия разрушения в квазистат. полости		
$\mathcal{E}_{рквс} := \mathcal{E}_{01} - \mathcal{E}_{квс}$	$\mathcal{E}_{рквс} = 1020669289$	Дж
Энергия разрушения в 1 м слое квазистат. полости		
$\mathcal{E}_{1рквс} := \frac{\mathcal{E}_{рквс}}{(L_{зар})}$	$\mathcal{E}_{1рквс} = 92788117$	Дж

Рис 6.4.1. Фрагмент программы. Определение энергии разрушения в цилиндрической квазистатической полости

6.5. Определение расстояний от центра взрыва до внешних границ квазистатической полости

Энергия разрушения в квазистатической зоне, в нашем варианте, равна 1020669289 Дж, что составляет 50% от энергии заряда.

Расстояние от центра взрыва до границы полости по каждому направлению определяются по формулам, приведенным ранее для каждого конкретного случая данной модели.

Величина смещения границы полости по конкретным направлениям определяется по формуле

$$L_1(\alpha) = R_n(\alpha) - r_n.$$

Количество выбираемых направлений зависит от произвольно выбираемого угла секторов, на которые условно разбивается поперечное сечение газовой полости и окружающей ее породы в зоне технологического дробления.

Для определения величин рассчитываются опорные углы [49], характеризующие сформировавшуюся воронку выброса:

$$\gamma_1 = \arctg\left(\frac{B}{W}\right)\left(\frac{180^\circ}{\pi}\right);$$

$$\gamma_2 = 180^\circ - \left(\arctg\left(\frac{B}{W}\right)\left(\frac{180^\circ}{\pi}\right)\right);$$

$$\gamma_3 = 270^\circ - \left(\arctg\left(\frac{W}{B}\right)\left(\frac{180^\circ}{\pi}\right)\right);$$

$$\gamma_4 = 360^\circ - \left(\arctg\left(\frac{B}{W}\right)\left(\frac{180^\circ}{\pi}\right)\right);$$

$$\beta_0 = \gamma_1;$$

$$\beta_1 = \arccos\left(\frac{rr}{\sqrt{(B^2 - W^2)}}\right)\left(\frac{180^\circ}{\pi}\right);$$

$$\beta_2 = \arccos\left(\frac{rr}{B}\right)\left(\frac{180^\circ}{\pi}\right);$$

$$\Delta\beta = \beta_1 - \beta_2;$$

$$\beta = \beta_0 - \Delta\beta.$$

Для определения величин смещения границ полости по направлениям, ее поперечное сечение условно разделено на угловые сектора, как показано на рис. 1. Для каждого сектора получены индивидуальные аналитические зависимости.

Расстояние до границы полости, сформировавшейся к моменту прорыва продуктов детонации в атмосферу, определяется по разным формулам в разных секторах.

$$R_n(\alpha) = \sqrt{(W-B)^2 + B^2 + 2(W-B)B \cos(\alpha \cdot \frac{\pi}{180^\circ})}, \text{ при } \alpha \leq \beta_0;$$

$$R_n(\alpha) = \frac{B \cos(\beta_0 \cdot \frac{\pi}{180^\circ})}{\sin(\alpha \cdot \frac{\pi}{180^\circ})}, \text{ в секторе от } \alpha > \beta_0 \text{ до } \alpha \leq \beta;$$

$$R_n(\alpha) = \frac{rr}{\cos((\alpha_1 - \alpha) \cdot \frac{\pi}{180^\circ})}, \text{ в секторе от } \alpha \geq \beta \text{ до } \alpha \leq \alpha_1;$$

$$R_n(\alpha) = rr, \text{ в секторе от } \alpha > \alpha_1 \text{ до } \alpha \leq (360^\circ - \alpha_1);$$

$$R_n(\alpha) = \frac{rr}{\cos((\alpha - (360^\circ - \alpha_1)) \cdot \frac{\pi}{180^\circ})},$$

в секторе от $\alpha > (360^\circ - \alpha_1)$ до $\alpha \leq (360^\circ - \beta)$;

$$R_n(\alpha) = \frac{B \cos((360^\circ - \beta_0) \cdot \frac{\pi}{180^\circ})}{\sin((360^\circ - \alpha) \cdot \frac{\pi}{180^\circ})}, \text{ в секторе от } \alpha > (360^\circ - \beta) \text{ до } \alpha \leq (360^\circ - \beta_0);$$

$$R_n(\alpha) = \sqrt{(W-B)^2 + B^2 + 2(W-B)B \cdot \cos((360^\circ - \alpha) \cdot \frac{\pi}{180^\circ})},$$

в секторе от $\alpha > (360^\circ - \beta_0)$ до $\alpha \leq 360^\circ$.

Зона технологического дробления условно разделена на угловые сектора, показанные на рис. 6.5.1, 6.5.2 и 6.5.3. Сумма всех угловых секторов составляет 360. Расчет величин производится по полученным аналитическим зависимостям для каждого углового сектора индивидуально.

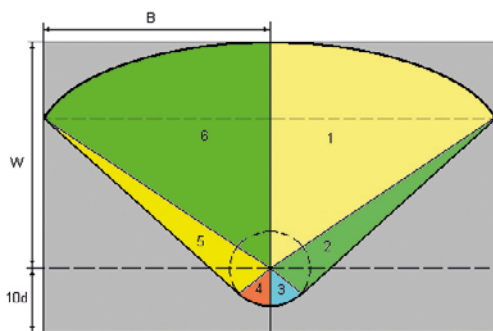


Рис. 6.5.1. Схема деления воронки выброса на сектора

Расстояние до границы сектора рассчитывается по формулам:

$$R_c(\alpha) = \frac{W}{\cos(\alpha \cdot \frac{\pi}{180^\circ})}, \text{ при } \alpha \leq \beta;$$

$$R_c(\alpha) = \frac{B}{\cos((90^\circ - \alpha) \cdot \frac{\pi}{180^\circ})}, \text{ в секторе от } \alpha > \beta \text{ до } \alpha < 90^\circ;$$

$$R_c(\alpha) = B \text{ при } \alpha = 90^\circ;$$

$$R_c(\alpha) = \frac{B}{\cos((\alpha - 90^\circ) \cdot \frac{\pi}{180^\circ})}, \text{ в секторе от } \alpha > 90^\circ \text{ до } \alpha < \alpha_1;$$

$$R_c(\alpha) = \frac{W}{\cos((180^\circ - \alpha_1) \cdot \frac{\pi}{180^\circ})}, \text{ в секторе от } \alpha > \alpha_1 \text{ до } \alpha < 180^\circ;$$

$$R_c(\alpha) = \frac{W}{\cos((180^\circ - \alpha_1) \cdot \frac{\pi}{180^\circ})}, \text{ при } \alpha = 180^\circ;$$

$$R_c(\alpha) = \frac{W}{\cos((\alpha_1 - 180^\circ) \cdot \frac{\pi}{180^\circ})}, \text{ в секторе от } \alpha > 180^\circ \text{ до } \alpha \leq \Delta\alpha_2;$$

$$R_c = \frac{B}{\cos((270^\circ - \alpha) \cdot \frac{\pi}{180^\circ})}, \text{ в секторе от } \alpha > \Delta\alpha_2 \text{ до } \alpha \leq 270^\circ;$$

$$R_c(\alpha) = B, \text{ при } \alpha \leq 270^\circ;$$

$$R_c(\alpha) = \frac{B}{\cos((\alpha - 270^\circ) \cdot \frac{\pi}{180^\circ})}, \text{ в секторе от } \alpha > 270^\circ \text{ до } \alpha \leq \gamma_4;$$

$$R_c(\alpha) = \frac{W}{\cos((360^\circ - \alpha) \cdot \frac{\pi}{180^\circ})}, \text{ в секторе от } \alpha > \gamma_4 \text{ до } \alpha < 360^\circ;$$

$$R_c(\alpha) = W, \text{ при } \alpha = 360^\circ.$$

Расстояние до границы сектора для последнего участка рассчитывается по формулам:

$$R_c(\alpha) = \frac{W}{\cos(\alpha \cdot \frac{\pi}{180^\circ})}, \text{ при } \alpha \leq \beta;$$

Расстояние от центра заряда до границы воронки выброса определяется:

$$R_r = W \text{ в секторе от } 0^\circ \text{ до } 45^\circ + \delta;$$

$$R_r = \frac{rr}{\cos \gamma} \text{ в секторе от } 45^\circ + \delta \text{ до } \alpha + \gamma.$$

$$R_c(\alpha) = \frac{B}{\cos((90^\circ - \alpha) \cdot \frac{\pi}{180^\circ})}, \text{ в секторе от } \alpha > \beta \text{ до } \alpha < 90^\circ;$$

$$R_c(\alpha) = B \text{ при } \alpha = 90^\circ;$$

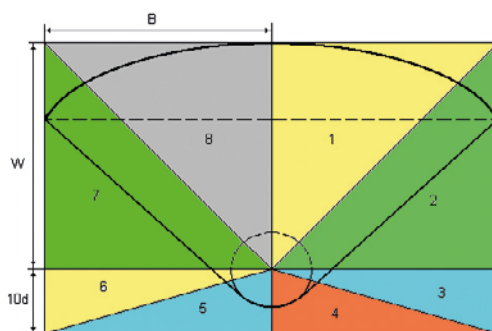


Рис. 6.5.2. Схема деления зоны технологического дробления на сектора

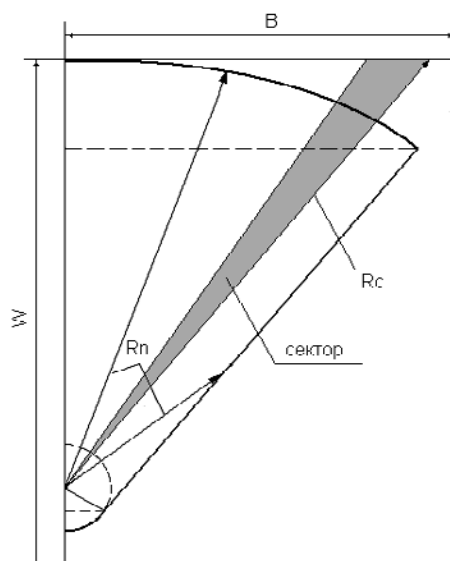


Рис. 6.5.3. Образование секторов по выбранным направлениям

$$R_c(\alpha) = \frac{B}{\cos((\alpha - 90^\circ) \cdot \frac{\pi}{180^\circ})}, \text{ в секторе от } \alpha > 90^\circ \text{ до } \alpha \leq \alpha_1;$$

Расстояние от центра заряда до границы воронки выброса определяется:

$$R_r = W \text{ в секторе от } 0^\circ \text{ до } 45^\circ + \delta;$$

$$R_r = \frac{rr}{\cos \gamma} \text{ в секторе от } 45^\circ + \delta \text{ до } \alpha + \gamma.$$

$$R_c(\alpha) = \frac{B}{\cos((90^\circ - \alpha) \cdot \frac{\pi}{180^\circ})}, \text{ в секторе от } \alpha > \beta \text{ до } \alpha < 90^\circ;$$

$$R_c(\alpha) = B \text{ при } \alpha = 90^\circ;$$

$$R_c(\alpha) = \frac{W}{\cos((180^\circ - \alpha_1) \cdot \frac{\pi}{180^\circ})}, \text{ в секторе от } \alpha > \alpha_1 \text{ до } \alpha < 180^\circ;$$

$$R_c(\alpha) = \frac{W}{\cos((180^\circ - \alpha_1) \cdot \frac{\pi}{180^\circ})}, \text{ при } \alpha = 180^\circ;$$

$$R_c(\alpha) = \frac{W}{\cos((\alpha_1 - 180^\circ) \cdot \frac{\pi}{180^\circ})}, \text{ в секторе от } \alpha > 180^\circ \text{ до } \alpha \leq \Delta\alpha_2;$$

$$R_c = \frac{B}{\cos((270^\circ - \alpha) \cdot \frac{\pi}{180^\circ})}, \text{ в секторе от } \alpha > \Delta\alpha_2 \text{ до } \alpha \leq 270^\circ;$$

$$R_c(\alpha) = B, \text{ при } \alpha = 270^\circ;$$

$$R_c(\alpha) = \frac{B}{\cos((\alpha - 270^\circ) \cdot \frac{\pi}{180^\circ})}, \text{ в секторе от } \alpha > 270^\circ \text{ до } \alpha \leq \gamma_4;$$

$$R_c(\alpha) = \frac{W}{\cos((360^\circ - \alpha) \cdot \frac{\pi}{180^\circ})}, \text{ в секторе от } \alpha > \gamma_4 \text{ до } \alpha < 360^\circ;$$

$$R_c(\alpha) = W, \text{ при } \alpha \leq 360^\circ.$$

Обилие расчетных формул объясняется сложностью очертаний поперечного сечения зоны квазистатического действия взрыва и наличием трех возможных вариантов заглупления скважинного заряда взрывчатого вещества в карьере.

6.6. Параметры выбираемых направлений в квазистатической зоне

Все последующие параметры рассчитываются компьютерной программой в MathCad по каждому направлению индивидуально. Нужно выбрать направление и определить энергию разрушения в этом направлении.

На рис. 6.6.1 представлен фрагмент программы определения параметров по выбору направления. Во фрагменте программы представлены и цифровые значения рассчитанных параметров.

Выбираем направление с углом раствора в 1 градус. Программа выбирает параметры воронки $w = 7$ м и $B = 7$ м, соответствующие этому направлению. Имеем воронку нормального выброса. Рассчитывается длина смещения по этому направлению, равная 6,8 метра. Рассчитывается расстояние до внешней границы полости, равное 7 метрам. Рассчитывается расстояние до внешней границы расчетной зоны по этому направлению, равное 7 метрам. Представлено рассчитанное значение энергии разрушения в выбранном направлении, равное 906002 Дж.

В качестве расчетной зоны в данном варианте выбрана правая ячейка сетки скважин 7х7 м. В левом нижнем углу этой расчетной зоны расположен скважинный заряд. Внешние границы выбранной расчетной зоны проходят от заряда по ЛНС по свободной поверхности до конца полуширины выброса, затем перпендикулярно вниз до линии ряда зарядов, затем влево до скважинного заряда. Схематично это прямоугольник со сторонами w и B .

От ряда зарядов в направлении, противоположном от свободной поверхности, скважинный заряд дробит небольшой объем породы. Но это дробление осуществляет камуфлетная фаза взрыва. Квазистатическая фаза в этом направлении породу не дробит или дробит пренебрежительно малые объемы. Выделенный нами дробимый объем породы в виде прямоугольника является половиной объема, дробимого одиночным зарядом. При групповом взрывании зарядов этот объем породы подвергается воздействию двух соседних зарядов, действующих на этот объем с двух сторон. При знании результатов воздействия взрыва одного заряда на выбранный объем, можно скомбинировать любые ситуации воздействия группы зарядов.

При выборе другого направления в фрагменте программы будут другие рассчитанные параметры. А таких направлений по углу 360, да они еще и ум-

ножаются на три варианта: заряд нормального заглубления, заряд малого заглубления и заряд большого заглубления. Всего больше 1000 направлений.

```

Выбор направления в
α := 0, Δα .. α1
Выбираем произвольно нужное нам α
α := 1      w = 7      B = 7
Расстояния до внешней границы полости
R1π(α) := √((w - B)² + B² + 2 · (w - B) · B · cos(α · π / 180))
R3π(α) := —————
              гр
              cos[(α1 - α) · π / 180]
Rп(α) := | R1π(α) if α < β      Rп(α) = 7
          | R3π(α) if α ≥ β
Расстояния до внешней границы зоны расчета
Rr1(α) := —————      Rr2(α) := —————
              cos(α · π / 180)      cos[(90 - α) · π / 180]
Rr(α) := | Rr1(α) if α < β      Rr(α) = 7      Записываем      Rг := 7
          | Rr2(α) if α ≥ β
Величина смещения по направлению
L1(α) := Rп(α) - гр      L1(α) = 6.763
Энергия разрушения в выбранном направлении
Эр1квз(α) := L1(α) · Эр1с      Эр1квз(α) = 906002 Дж
Записываем      Эр1квз := 906002

```

Рис. 6.6.1. Фрагмент программы выбора направления

6.7. Распределение энергии разрушения и определение крупности дробления породы квазистатической фазой по одному направлению

При использовании компьютерной программы MathCad расчет распределения плотности энергии и определение крупности дробления горных пород камуфлетной фазой взрыва и волновой фазой взрыва в зоне технологического дробления горных пород взрывом осуществляется без выбора направлений. Эти фазы в зоне своего действия развиваются и дробят породу одинаково во всех направлениях от заряда.

$$R_c(\alpha) = \frac{B}{\cos((\alpha - 90^\circ) \cdot \frac{\pi}{180^\circ})}, \text{ в секторе от } \alpha > 90^\circ \text{ до } \alpha \leq \alpha_1;$$

$$R_c(\alpha) = \frac{W}{\cos((180^\circ - \alpha_1) \cdot \frac{\pi}{180^\circ})}, \text{ в секторе от } \alpha > \alpha_1 \text{ до } \alpha < 180^\circ;$$

$$R_c(\alpha) = \frac{W}{\cos((180^\circ - \alpha) \cdot \frac{\pi}{180^\circ})}, \text{ при } \alpha = 180^\circ;$$

$\alpha(\alpha) = \alpha =$					
906002	0				
906002	1	906288	31	48401	61
906003	2	906304	32	45295	62
906004	3	906321	33	42442	63
906006	4	906338	34	39815	64
906008	5	906355	35	37387	65
906011	6	906374	36	35138	66
906014	7	906393	37	33051	67
906018	8	906412	38	31100	68
906022	9	906431	39	29297	69
906027	10	906451	40	27604	70
906033	11	906471	41	26020	71
906038	12	906491	42	24536	72
906045	13	752315	43	23142	73
906051	14	516181	44	21831	74
906059	15	389460	45	20597	75
906067	16	310431	46	19434	76
906075	17	256448	47	18336	77
906084	18	217244	48	17299	78
906093	19	187409	49	16319	79
906103	20	164140	50	15391	80
906113	21	145335	51	14512	81
906124	22	129070	52	13679	82
906135	23	116932	53	12888	83
906146	24	105950	54	12138	84
906158	25	96516	55	11426	85
906171	26	88326	56	10749	86
906184	27	81152	57	10105	87
906198	28	74818	58	9494	88
906211	29	69186	59	8912	89
906226	30	64148	60	8358	90
906241		59615		7831	
906256		55517		7329	
906272		51795		6852	

Рис. 6.7.1. Распределение энергии разрушения по направлениям при $\Delta\alpha = 1^\circ$, в нашем демонстрационном примере

Зону действия квазистатической фазы необходимо условно разбивать на выбранные направления. В каждом выбранном направлении значения любых параметров процесса будут разные.

При использовании компьютерной программы расчет распределения плотности энергии и определение крупности дробления горных пород цилиндрической квазистатической фазой взрыва по каждому выбранному направлению осуществляется индивидуально.

Для каждого выбранного направления необходимо рассчитать распределение плотности энергии разрушения и распределенную по направлениям крупность дробления породы.

Направление выбирается произвольным заданием угла α . Определение численных значений энергии разрушения по каждому выбранному направлению изложено в предшествующих параграфах.

На рис. 6.7.1 представлена компьютерная рассчитанная таблица распределения энергии разрушения по направлениям. Таблица разрезана на три части, для компактности. Три части размещены параллельно. В первом, третьем и пятом столбцах энергия разрушения в Дж. Во втором, четвертом и шестом — номера строк.

В строках от первой до сорок первой энергия разрушения изменяется незначительно. С сорок второй строки она начинает интенсивно убывать. В 90-й строке она на два порядка меньше, чем в первой строке.

Если изменить величину $\Delta\alpha$, в таблице на рис. 6.7.1 будут совсем другие цифры.

Интенсивность убывания энергии разрушения вдоль выбранного направления с удалением от центра взрыва определяется по формуле

$$\mathfrak{E} = \mathfrak{E}_{\text{пквз}} \left(1 - \sqrt{\frac{R - r_0}{R_r - r_0}} \right),$$

где R — наращиваемое с выбранным шагом расстояние от центра взрыва до границы расчетной зоны; R_r — граница расчетной зоны.

Энергия в расчетном объеме слоя определяется по формуле

$$\Delta\mathfrak{E} = \mathfrak{E}_{i-1} - \mathfrak{E}_i.$$

Величина расчетного объема определяется по формуле

$$\Delta V = \frac{\left[(R + \Delta R)^2 - R^2 \right] \pi h_{\Delta\alpha}}{360}.$$

На рис. 6.7.2 представлен фрагмент программы расчета распределения энергии разрушения по выбранному направлению.

В первой строке фрагмента формируется наращивание расстояния от центра взрыва до расчетного объема с произвольно выбираемым шагом ΔR . Определяется объем расчетного элемента, энергия разрушения и плотность энергии разрушения в расчетном объеме. Плотность энергии разрушения определяется в джоулях и в килоджоулях. В килоджоулях большие цифры воспринимаются визуально лучше.

На рис. 6.7.3 представлен фрагмент программы с рассчитанными в каждом расчетном объеме по одному направлению: величинами расчетного объема, энергии и плотности энергии в каждом расчетном объеме, крупности кусков в метрах в каждом расчетном объеме. В таблице крупность дробления представлена в последнем столбце для направления $\alpha = 0^\circ$ при воронке нормального выброса. В этом варианте толщина расчетных слоев принята равной 1 метру ($\Delta R = 1$).

Распределение цилиндрической квазистатической энергии разрушения по выбранному направлению

$$R := r0, (r0 + \Delta R) .. Rr + \Delta R$$

Изменение остаточной энергии разрушения по направлению в цилиндрической квазистатической зоне с расстоянием от центра взрыва

$$\Theta(R) := \begin{cases} \left[\Theta_{п1квз} \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{R - r0}{Rr - r0}} \right) \right] & \text{if } R \leq Rr + \Delta R \\ 0 & \text{if } r0 < R < Rr + \Delta R \end{cases}$$

Энергия разрушения в цилиндрическом слое толщиной ΔR и высотой 1 м в квазистатической зоне

$$\Delta\Theta(R) := \begin{cases} 0 & \text{if } R \leq r0 \\ \Theta(R - \Delta R) - \Theta(R) & \text{if } r0 < R \leq Rr + \Delta R \\ 0 & \text{if } r0 > R > Rr + \Delta R \end{cases}$$

Величина расчетного условного объема

$$\Delta V(R) := \begin{cases} 0 & \text{if } R = r0 \\ \frac{\left[(R + \Delta R)^2 - R^2 \right] \cdot \pi \cdot 1 \cdot \Delta\alpha}{360} & \text{if } R > r0 \end{cases}$$

Распределение плотности энергии разрушения в цилиндрической части квазистатической зоны

$$\Pi\Theta_{пквз0}(R) := \frac{\Delta\Theta(R)}{\Delta V(R)} \quad \Pi\Theta_{пквз}(R) := \frac{\Pi\Theta_{пквз0}(R)}{1000}$$

Рис. 6.7.2. Фрагмент программы, расчета распределения энергии разрушения по выбранному направлению

Размер крупности кусков по выбранному направлению при $\alpha=1$

$$dku(R) := \begin{cases} \frac{18 \cdot e}{\Pi\Theta_{п}(R)} & \text{if } r0 < R \leq Rr + \Delta R \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

R =	$\Theta(R) =$	$\Delta\Theta(R) =$	$\Delta V(R) =$	$\Pi\Theta_{п}(R) =$	$dku(R) =$
0.125	906002	0	0	0	0
1.125	560466	345536	0.028	12183	0.024
2.125	417341	143126	0.046	3124	0.092
3.125	307517	109824	0.063	1736	0.166
4.125	214931	92586	0.081	1147	0.251
5.125	133361	81570	0.098	831	0.347
6.125	59616	73745	0.116	638	0.452
7.125	-8199	67815	0.133	510	0.565

Рис. 6.7.3. Распределение энергии и крупности кусков по выбранному направлению при $\alpha=1^\circ$

По последнему столбцу таблицы видно, что в этом выбранном направлении по ЛНС в нашем демонстрационном варианте цилиндрическая квазистатическая фаза раздробит породу на куски размером до 57 см собственными силами, без помощи камуфлетной и волновой фаз взрыва.

На рис. 6.7.4 представлен фрагмент программы с рассчитанными в каждом расчетном объеме по одному направлению: величинами расчетного объема, энергии и плотности энергии в каждом расчетном объеме и крупности кусков в метрах в каждом расчетном объеме.

В таблице крупность дробления представлена в последнем столбце, для направления $\alpha = 45^\circ$ при воронке нормального выброса. Длина этого направления приближается к 10 метрам.

Размер крупности кусков по выбранному направлению при $\alpha=45^\circ$					
$R =$	$\mathcal{E}(R) =$	$\Delta\mathcal{E}(R) =$	$\Delta V(R) =$	$\Pi\mathcal{E}\Pi(R) =$	$d\kappa_{\Pi}(R) =$
0.125	906491	0	0	0	0
1.125	616553	289938	0.028	10223	0.028
2.125	496457	120096	0.046	2621	0.11
3.125	404304	92153	0.063	1457	0.198
4.125	326615	77689	0.081	962	0.299
5.125	258170	68445	0.098	697	0.413
6.125	196291	61879	0.116	535	0.538
7.125	139307	56904	0.133	420	0.674
8.125	86423	52965	0.151	352	0.819
9.125	36677	49745	0.168	296	0.973
10.125	-10373	47050	0.185	254	1.135

Рис. 6.7.4. Распределение энергии и крупности кусков по выбранному направлению при $\alpha=45^\circ$

В этом направлении в нашем демонстрационном варианте цилиндрическая квазистатическая фаза раздробит породу на куски размером меньше 1 м собственными силами. Но последний расчетный объем будут раздроблены на негабаритные куски размером больше 1 метра.

Размер кусков по направлению при $\alpha=90^\circ$					
$R =$	$\mathcal{E}(R) =$	$\Delta\mathcal{E}(R) =$	$\Delta V(R) =$	$\Pi\mathcal{E}\Pi(R) =$	$d\kappa_{\Pi}(R) =$
0.125	12138	0	0	0	0
1.125	7509	4629	0.028	0.163	1.764
2.125	5591	1917	0.046	0.042	6.881
3.125	4120	1471	0.063	0.023	12.384
4.125	2879	1240	0.081	0.015	18.742
5.125	1787	1093	0.098	0.011	25.873
6.125	799	988	0.116	0.009	33.706
7.125	-110	909	0.133	0.007	42.186

Рис. 6.7.5. Распределение энергии и крупности кусков по выбранному направлению при $\alpha=90^\circ$

В последнем столбце расчетные размеры кусков превосходят толщину расчетных зон, которая равна 1 метру. А это говорит о том, что дробление породы во всех расчетных объемах не обеспечено энергетически.

На рис. 6.7.5 представлен фрагмент программы с рассчитанными в каждом расчетном объеме по одному направлению: величинами расчетного объема, энергии и плотности энергии в каждом расчетном объеме и крупности кусков в метрах в каждом расчетном объеме. В таблице крупность дробления представлена в последнем столбце, для направления $\alpha = 90^\circ$ при воронке нормального выброса. Длина этого направления приближается к 7 метрам.

Глава 7. Совместное действие всех фаз процесса дробления горных пород в средней зоне карьерного уступа

7.1. Особенности распределения вдоль направления плотности энергии разрушения камуфлетной и волновой фаз и их суммирование

При ведении буровзрывных работ в карьерах с целью технологического дробления горных пород независимо от воли проектировщиков и исполнителей работ в средней зоне карьерного уступа развиваются цилиндрическая камуфлетная, цилиндрическая волновая и цилиндрическая квазистатическая фазы взрыва.

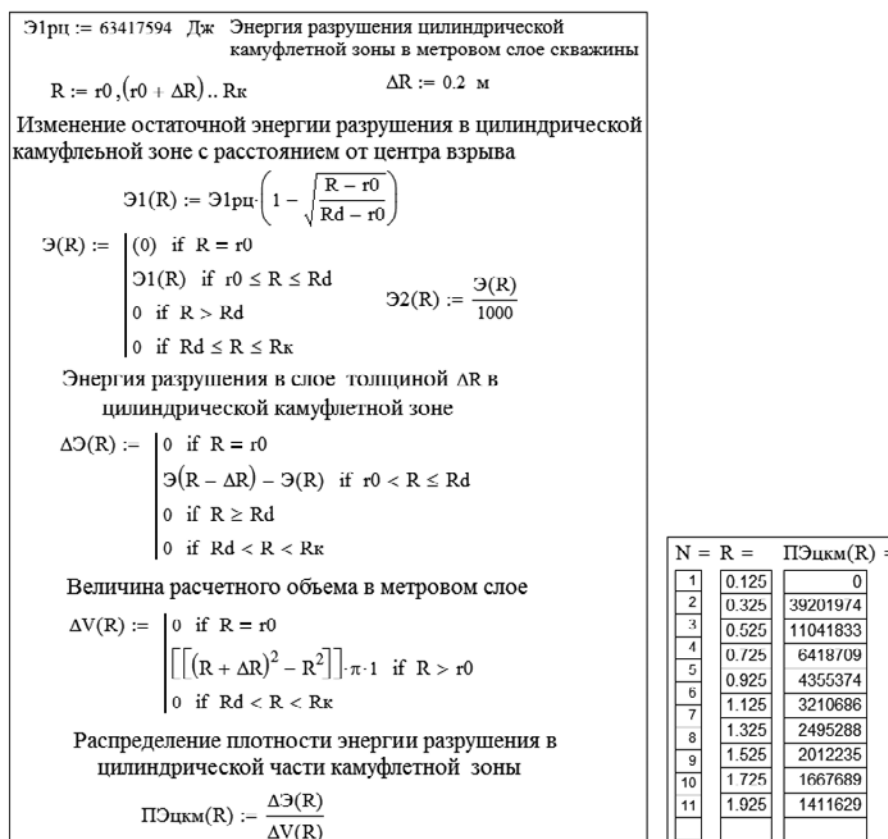


Рис. 7.1.1. Фрагмент программы. Расчет распределения плотности энергии разрушения по направлению в камуфлетной цилиндрической зоне

Только совместным действием этих фаз определяются качественные показатели дробления породы в средней зоне уступа: крупность кусков раз-

дробленной породы, гранулометрический состав раздробленной породы, выход негабарита.

Камуфлетная фаза взрыва и волновая фаза взрыва скважинного заряда в карьере дробят породу в средней зоне уступа одинаково по любому направлению от центра взрыва. Камуфлетная фаза дробит породу интенсивно, но в малом объеме. Волновая фаза дробит породу с малой интенсивностью, но ее действие выходит далеко за пределы зоны технологического дробления породы взрывом. Какое направление ни выбери из 360° , по любому направлению дробление одинаковое.

На рис. 7.1.1 представлен фрагмент программы расчета распределения плотности энергии разрушения по направлению в камуфлетной цилиндрической зоне.

Энергия разрушения в цилиндрической камуфлетной зоне в нашем примере $\mathcal{E}_{ркм} = 63417594$ Дж. Она изменяется по направлению вдоль радиуса по предложенной формуле

$$\mathcal{E}l((R) = \mathcal{E}l_p \left(1 - \frac{\sqrt{R - r_0}}{\sqrt{R_d - r_0}} \right).$$

Во фрагменте программы определяются: изменение энергии разрушения камуфлетной фазы с удалением от центра взрыва; энергия разрушения в каждом расчетном цилиндрическом объеме камуфлетной зоны; объем каждой расчетной зоны; плотность энергии разрушения в каждом расчетном цилиндрическом объеме камуфлетной зоны.

На рис. 7.1.2 справа представлена рассчитанная по компьютерной программе таблица распределения плотности энергии разрушения по расчетным цилиндрическим объемам в камуфлетной зоне. В первом столбце номера строк, во втором столбце расстояние расчетного объема от центра взрыва, в третьем столбце плотность энергии разрушения в расчетных объемах в цилиндрической камуфлетной зоне.

Плотность энергии разрушения в камуфлетной зоне изменяется интенсивно, от 39 МДж/м^3 до $1,4 \text{ МДж/м}^3$

Плотность энергии разрушения в цилиндрической камуфлетной и в цилиндрической волновой фазах не зависит от угла раствора направления $\Delta\alpha$. С увеличением угла раствора выбираемого направления с одинаковой интенсивностью возрастают величина расчетного объема и энергия разрушения в расчетном объеме. Поэтому плотность энергии разрушения остается неизменной. Целесообразно сложить их в один столбик. В последующем содержимое этого столбика можно будет построчно суммировать с каждым столбиком распределения плотности энергии разрушения по каждому направлению квазистатической зоны. Плотность энергии разрушения в едином общем столбике для камуфлетной и волновой фаз в среднем слое карьерного уступа определяется по формуле

$$ПЭ_{цс} = ПЭ_{цкм} + ПЭ_{цв},$$

На рис. 7.1.2 представлены результаты расчета энергии разрушения камуфлетной и волновой фаз взрыва с шагом счета $\Delta R = 0,2$ м. В первом и четвертом столбцах представлены номера строк (расчетных объемов), во втором и пятом столбцах расстояние расчетных объемов от центра взрыва, в третьем и шестом столбцах представлена плотность энергии разрушения в Дж/м^3 в расчетных объемах.

Плотность энергии разрушения является главным параметром процесса, по которому мы рассчитываем размеры кусков породы, раздробленной взрывом.

В представленном варианте плотность энергии разрушения в расчетных объемах по направлению вдоль ЛНС камуфлетной и волновой фаз изменяется интенсивно с удалением от центра взрыва. На границе с зарядом ВВ она равна 39 МДж/м^3 . Около обнаженной поверхности в этом направлении суммарная плотность энергии разрушения в расчетном объеме равна 541 Дж/м^3 .

N =	R =	ПЭцс(R) =			
1	0.125	0	26	5.125	5341
2	0.325	39201974	27	5.325	4650
3	0.525	11041033	28	5.525	4070
4	0.725	6418709	29	5.725	3583
5	0.925	4355374	30	5.925	3171
6	1.125	3210686	31	6.125	2820
7	1.325	2495288	32	6.325	2518
8	1.525	2012235	33	6.525	2258
9	1.725	1667689	34	6.725	2032
10	1.925	1411629	35	6.925	1035
11	2.125	478892	36	7.125	1663
12	2.325	302603	37	7.325	1512
13	2.525	199649	38	7.525	1378
14	2.725	136635	39	7.725	1260
15	2.925	96438	40	7.925	1155
16	3.125	69902	41	8.125	1061
17	3.325	51049	42	8.325	977
18	3.525	39241	43	8.525	901
19	3.725	30228	44	8.725	833
20	3.925	18193	45	8.925	772
21	4.125	11970	46	9.125	717
22	4.325	10008	47	9.325	666
23	4.525	8449	48	9.525	621
24	4.725	7192	49	9.725	579
25	4.925	6178	50	9.925	541

Рис. 7.1.2. Компьютерная таблица распределения плотности энергии разрушения камуфлетной и волновой фаз в среднем слое карьерного уступа в демонстрационном варианте

Представленная в этой таблице плотность энергии разрушения двух фаз должна построчно суммироваться с таблицей распределения энергии разрушения по расчетным объемам по каждому направлению распределения плотности энергии разрушения квазистатической фазы для получения суммарной таблицы распределения плотности энергии разрушения всех фаз процесса. Таблица 2 длинная, поэтому она искусственно разрезана на две части по высоте. Нижняя часть поставлена в таблице правее верхней части.

7.2. Особенности распределения плотности энергии разрушения квазистатической фазы по направлениям

Квазистатическая фаза взрыва скважинного заряда в карьере дробит породу в средней зоне карьерного уступа совсем иначе. Обзор в 360° мы разделили на две зеркальные зоны, правую и левую, по 180° каждая, с совершенно одинаковыми показателями дробления. Однако внутри каждой из этих зон по любому выбранному направлению качественные показатели дробления породы разные. Это сильно усложняет процесс суммирования действия фаз.

Энергия разрушения по направлениям в квазистатической зоне определяется по формуле

$$\mathcal{E}_c = \mathcal{E}_{p1} L_c,$$

где \mathcal{E}_{p1} – энергия разрушения на 1 метр смещения; L_c – величина смещения по направлению.

На рис. 7.2.1 представлен фрагмент программы расчета распределения энергии разрушения по направлениям в цилиндрической квазистатической зоне. В программе рассчитываются: расстояние до границы квазистатической полости $R_{II}(\alpha)$; величины смещений по направлениям $L_1(\alpha)$; распределение энергии по направлениям $\mathcal{E}_{III}(\alpha)$.

Ширина направлений в градусах может выбираться произвольно. Нами принята в этом варианте ширина направлений в один градус. Мы рассматриваем только правую часть зоны квазистатического действия в диапазоне изменения угла направлений от 0° до 90° , т. к. левая часть является ее зеркальным отображением. А в сторону, противоположную к обнаженной поверхности, квазистатическая полость не развивается.

Выделенный нами сектор в 90° еще раз внутри себя разбит на шесть секторов, в каждом из которых расстояния до внешней границы квазистатической полости определяются по индивидуальным формулам.

По суммарной длине смещений по всем выбранным направлениям и по суммарной энергии разрушения квазистатической зоны определяется величина энергии разрушения квазистатической фазы на 1 метр смещения. В этом фрагменте программы по величине смещения определяется величина энергии разрушения по каждому выделенному направлению.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ ВОЗРУШЕНИЯ

$$R1n(\alpha) := \sqrt{(w - B)^2 + B^2 + 2 \cdot (w - B) \cdot B \cdot \cos\left(\alpha \cdot \frac{\pi}{180}\right)}$$

$$R2n(\alpha) := \frac{0.7 \cdot B}{\cos\left[(90 - \alpha) \cdot \frac{\pi}{180}\right]} - \text{гр} \quad R3n(\alpha) := \frac{0.55 \cdot B}{\cos\left[(90 - \alpha) \cdot \frac{\pi}{180}\right]} - \text{гр}$$

$$R4n(\alpha) := \frac{0.5 \cdot B}{\cos\left[(90 - \alpha) \cdot \frac{\pi}{180}\right]} - \text{гр} \quad R5n(\alpha) := \frac{0.35 \cdot B}{\cos\left[(90 - \alpha) \cdot \frac{\pi}{180}\right]} - \text{гр}$$

$$R6n(\alpha) := \frac{0.3 \cdot B}{\cos\left[(90 - \alpha) \cdot \frac{\pi}{180}\right]} - \text{гр}$$

$$Rn(\alpha) := \begin{cases} R1n(\alpha) & \text{if } 0 \leq \alpha \leq 46 \\ R2n(\alpha) & \text{if } 46 < \alpha \leq 60 \\ R3n(\alpha) & \text{if } 60 < \alpha \leq 70 \\ R4n(\alpha) & \text{if } 70 < \alpha \leq 80 \\ R5n(\alpha) & \text{if } 80 < \alpha \leq 83 \\ R6n(\alpha) & \text{if } 80 < \alpha < 91 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Величина смещений по направлениям

$$L1(\alpha) := Rn(\alpha) - \text{гр} \quad \text{Энн1}(\alpha) := 96006 \cdot L1(\alpha)$$

$$\text{Энн}(\alpha) := \begin{cases} \text{Энн1}(\alpha) & \text{if } \alpha \leq 90 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Рис. 7.2.1. Фрагмент программы. Распределение энергии разрушения по направлениям в квазистатической зоне

На рис. 7.2.2 представлена компьютерная расчетная таблица распределенной энергии разрушения по направлениям в квазистатической фазе взрыва.

Из-за большой длины таблица разрезана на три части. Верхняя часть, средняя часть и нижняя часть расположены на рисунке параллельно.

В первом столбце таблицы представлены углы направлений α , которые в данной таблице совпадают с номерами строк. Во втором столбце представлены расстояния от центра взрыва до внешней границы квазистатической полости. В третьем столбце представлена энергия разрушения в Дж по каждому направлению.

В нашем примере, начиная с первой строки до сорок пятой строки, энергия разрушения по направлениям почти не изменяется и равна примерно 650 КДж. Затем она начинает интенсивно уменьшаться и в 90-й строке энергия разрушения равна 156 КДж.

$\alpha =$	$L1(\alpha) =$	$\Xi_{\text{ин}}(\alpha) =$	$\alpha =$	$L1(\alpha) =$	$\Xi_{\text{ин}}(\alpha)$	$\alpha =$	$L1(\alpha) =$	$\Xi_{\text{ин}}(\alpha)$
0	6.763	649289	31	6.765	649460	61	3.936	377856
1	6.763	649289	32	6.765	649471	62	3.894	373862
2	6.763	649289	33	6.765	649482	63	3.855	370069
3	6.763	649290	34	6.765	649493	64	3.817	366469
4	6.763	649291	35	6.765	649505	65	3.782	363053
5	6.763	649293	36	6.765	649517	66	3.748	359816
6	6.763	649295	37	6.766	649530	67	3.716	356752
7	6.763	649298	38	6.766	649543	68	3.686	353854
8	6.763	649300	39	6.766	649556	69	3.657	351118
9	6.763	649303	40	6.766	649569	70	3.63	348539
10	6.763	649307	41	6.766	649582	71	3.234	310509
11	6.763	649311	42	6.766	649596	72	3.213	308436
12	6.763	649315	43	6.766	649610	73	3.192	306493
13	6.763	649319	44	6.767	649625	74	3.174	304878
14	6.763	649324	45	6.767	649640	75	3.156	302987
15	6.763	649329	46	6.767	649654	76	3.14	301417
16	6.763	649335	47	6.238	598869	77	3.124	299967
17	6.764	649341	48	6.131	588645	78	3.111	298633
18	6.764	649347	49	6.03	578928	79	3.098	297413
19	6.764	649354	50	5.934	569688	80	3.086	296305
20	6.764	649361	51	5.842	560900	81	1.656	158982
21	6.764	649368	52	5.756	552539	82	1.65	158450
22	6.764	649376	53	5.672	544583	83	1.646	157981
23	6.764	649384	54	5.594	537011	84	1.641	157577
24	6.764	649392	55	5.518	529804	85	1.638	157236
25	6.764	649401	56	5.447	522944	86	1.635	156958
26	6.764	649410	57	5.379	516414	87	1.633	156742
27	6.764	649419	58	5.314	510201	88	1.631	156588
28	6.764	649429	59	5.253	504289	89	1.63	156495
29	6.765	649439	60	5.194	498665	90	1.63	156465
30	6.765	649449						

Рис. 7.2.2. Распределение энергии разрушения по направлениям квазистатической фазы

7.3. Особенности распределение плотности энергии разрушения вдоль направления в квазистатической фазе

В квазистатической фазе, в отличие от камуфлетной и волновой фаз, распределение энергии разрушения вдоль направления необходимо рассчитывать по каждому выбранному направлению, а их а этом примере 90, да еще и прибавлять к энергии каждого направления распределенную энергию камуфлетной и волновой зон.

На рис. 7.3.1 представлен фрагмент компьютерной программы определения плотности энергии разрушения по выбранному направлению в цилиндрической квазистатической зоне.

Во фрагменте программы определяются: изменение энергии разрушения квазистатической фазы с удалением от центра взрыва; энергия разрушения в каждом расчетном цилиндрическом объеме квазистатической зоны; объем каждой расчетной зоны; плотность энергии разрушения в каждом расчетном цилиндрическом объеме квазистатической зоны.

Продemonстрируем распределение плотности энергии разрушения на примере ее распределения по направлению с параметрами: $\alpha = 0^\circ$, $\Delta\alpha = 1^\circ$, $\Xi_{\text{лцв}} = 7$ м, $R_k = 7$ м. Толщину расчетного объема примем $\Delta R = 0,2$ м. Это шаг счета. Его величину в компьютерной программе можно выбирать произвольно. Это направление совпадает с ЛНС.

$$R := r_0, (r_0 + \Delta R) .. R_\Gamma + \Delta R$$

Изменение остаточной энергии разрушения по направлению в цилиндрической квазистатической зоне с расстоянием от центра взрыва

$$\Theta(R) := \begin{cases} \left[\Theta_{p1квз} \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{R - r_0}{R_\Gamma - r_0}} \right) \right] & \text{if } R \leq R_\Gamma + \Delta R \\ 0 & \text{if } r_0 < R < R_\Gamma + \Delta R \end{cases}$$

Энергия разрушения в цилиндрическом слое толщиной ΔR и высотой 1 м в квазистатической зоне

$$\Delta \Theta(R) := \begin{cases} 0 & \text{if } R \leq r_0 \\ \Theta(R - \Delta R) - \Theta(R) & \text{if } r_0 < R \leq R_\Gamma + \Delta R \\ 0 & \text{if } r_0 > R > R_\Gamma + \Delta R \end{cases}$$

Величина расчетного условного объема

$$\Delta V(R) := \begin{cases} 0 & \text{if } R = r_0 \\ \frac{[(R + \Delta R)^2 - R^2] \cdot \pi \cdot 1 \cdot \Delta \alpha}{360} & \text{if } R > r_0 \end{cases}$$

Распределение плотности энергии разрушения в цилиндрической части квазистатической зоны

$$\Pi_{\Theta квз}(R) := \frac{\Delta \Theta(R)}{\Delta V(R)} \quad \Pi_{\Theta 1квз}(R) := \frac{\Pi_{\Theta квз}(R)}{1000}$$

Рис. 7.3.1 Фрагмент программы. Расчет распределения плотности энергии разрушения по направлению в цилиндрической квазистатической зоне

Энергия разрушения в цилиндрической квазистатической зоне в нашем примере $\Theta_{pквз1} = 906002$ Дж. Она изменяется по направлению вдоль радиуса по предложенной формуле

$$\Theta = \Theta_{pквз1} \left(1 - \sqrt{\frac{R - r_0}{R_\Gamma - r_0}} \right),$$

где R – расстояние от центра взрыва; R_Γ – расстояние до внешней границы квазистатической полости по выбранному направлению.

На рис. 7.3.2 представлена компьютерная таблица рассчитанного распределения плотности энергии разрушения по расчетным цилиндрическим объемам в выбранном направлении квазистатической зоны. Это направление не охватывает весь цилиндр. Оно, как и другие направления квазистатической зоны, охватывает только сектор цилиндра с выбранным произвольно углом раствора $\Delta \alpha$.

N =	R =	ПЭцквз0(R)			
1	0.125	0			
2	0.325	104122747			
3	0.525	29327757			
4	0.725	17048469			
5	0.925	11568129	21	4.125	1186032
6	1.125	8527771	22	4.325	1104451
7	1.325	6627632	23	4.525	1031818
8	1.525	5344615	24	4.725	966814
9	1.725	4429480	25	4.925	908362
10	1.925	3749369	26	5.125	855574
11	2.125	3227478	27	5.325	807710
12	2.325	2816575	28	5.525	764150
13	2.525	2486160	29	5.725	724370
14	2.725	2215736	30	5.925	687926
15	2.925	1991071	31	6.125	654440
16	3.125	1802003	32	6.325	623586
17	3.325	1641098	33	6.525	595082
18	3.525	1502811	34	6.725	568687
19	3.725	1382924	35	6.925	544187
20	3.925	1278181	36	7.125	521397

Рис. 7.3.2. Компьютерная расчетная таблица распределения плотности энергии разрушения по расчетным цилиндрическим объемам в квазистатической зоне

В первом и четвертом столбцах представлены номера строк (расчетных объемов). Во втором и пятом столбцах представлены расстояния расчетных объемов от центра взрыва. В третьем и шестом столбцах представлена энергия разрушения в каждом расчетном объеме по направлению ЛНС.

В выбранном направлении квазистатической зоны плотность энергии разрушения интенсивно уменьшается с удалением расчетных объемов от центра взрыва. В первой строке она равна 104 МДж/м³, в последней, 36-й строке она равна 0,5 МДж/м³.

7.4. Суммирование плотности энергии разрушения всех фаз процесса в средней зоне карьерного уступа по направлениям

Ниже представлены компьютерные таблицы расчета распределения суммарной плотности энергии разрушения по четырем выбираемым нами направлениям: вдоль ЛНС, при $\alpha = 0^\circ$; под углом $\alpha = 45^\circ$ к ЛНС; под углом $\alpha = 55^\circ$ к ЛНС и вдоль ряда скважин, при $\alpha = 90^\circ$.

На рис 7.4.1 представлена компьютерная таблица распределения суммарной плотности разрушения всех фаз процесса по направлению ЛНС.

Нижняя часть таблицы отрезана и поставлена правее головной части. В четвертом и девятом столбцах представлена распределенная по расчетным объемам плотность энергии разрушения в Дж/м³ в квазистатической фазе по выбранному направлению. В пятом и десятом столбцах представлен суммарный столбик распределенной плотности энергии разрушения камуфлетной и волновой фаз. Второй и седьмой — номера строк (расчетных объемов).

Третий и восьмой столбцы расстояние расчетных объемов от центра взрыва. На первое место (первый и шестой столбцы) вынесено искомое распределение плотности энергии разрушения по направлению ЛНС при $\alpha = 0^\circ$.

$\Pi\Xi\epsilon_0(R) =$	$N =$	$R =$	$\Pi\Xi\epsilon_{\text{КВЗ0}}(R)$	$\Pi\Xi\epsilon_{\text{КВЗ0}}(R)$	$\Pi\Xi\epsilon_0(R) =$	$N =$	$R =$	$\Pi\Xi\epsilon_{\text{КВЗ0}}(R)$	$\Pi\Xi\epsilon_{\text{КВЗ0}}(R)$
0	1	0.125	0	0	081029	21	4.125	869059	11970
115497424	2	0.325	76295450	39201974	819290	22	4.325	809282	10008
32531808	3	0.525	21489775	11041833	754509	23	4.525	756059	8449
18910894	4	0.725	12492185	6418709	715620	24	4.725	708428	7192
12831066	5	0.925	8476492	4355374	671776	25	4.925	665598	6178
9459370	6	1.125	6248684	3210686	632260	26	5.125	626918	5341
7351654	7	1.325	4856366	2495288	596496	27	5.325	581846	4650
5828477	8	1.525	3916242	2012235	563997	28	5.525	559927	4070
4913369	9	1.725	3245680	1667689	534362	29	5.725	530778	3583
4158951	10	1.925	2747332	1411629	507246	30	5.925	504075	3171
2843811	11	2.125	2364919	118892	482357	31	6.125	479538	2820
2366435	12	2.325	2063832	302603	459447	32	6.325	456929	2518
2021371	13	2.525	1821722	199649	438302	33	6.525	436044	2258
1760205	14	2.725	1623570	136635	418735	34	6.725	416702	2032
1555386	15	2.925	1458948	96438	400586	35	6.925	398750	1835
1390311	16	3.125	1320409	69902	383714	36	7.125	382051	1663
1254356	17	3.325	1202507	51849					
1140418	18	3.525	1101178	39241					
1043559	19	3.725	1013331	30228					
954774	20	3.925	936581	18193					

Рис. 7.4.1. Компьютерная таблица распределения суммарной плотности энергии разрушения по направлению вдоль ЛНС

С удалением от центра взрыва суммарная плотность энергии разрушения в этой таблице интенсивно уменьшается от 115 МДж/м³ до 0,38 МДж/м³.

Вторая таблица длиннее первой и распространяется почти до 10 метров. Плотность суммарной распределенной энергии разрушения по этому направлению меньше. С удалением от центра взрыва суммарная плотность энергии разрушения в этой таблице интенсивно уменьшается от 102 МДж/м³ до 0,19 МДж/м³.

$\Pi\Xi\epsilon_{45}(R) =$	$N =$	$R =$	$\Pi\Xi\epsilon_{\text{КВЗ45}}(R)$	$\Pi\Xi\epsilon_{\text{КВЗ45}}(R)$	$\Pi\Xi\epsilon_{45}(R) =$	$N =$	$R =$	$\Pi\Xi\epsilon_{\text{КВЗ45}}(R)$	$\Pi\Xi\epsilon_{\text{КВЗ45}}(R)$
0	1	0.125	0	0	528717	26	5.125	523375	5341
102896353	2	0.325	63694380	39201974	498746	27	5.325	494096	4650
28982324	3	0.525	17940492	11041833	471519	28	5.525	467449	4070
16847666	4	0.725	10428957	6418709	446598	29	5.725	443114	3583
11431876	5	0.925	7076502	4355374	423992	30	5.925	420821	3171
8427328	6	1.125	5216642	3210686	403156	31	6.125	400337	2820
6549570	7	1.325	4054281	2495288	383980	32	6.325	381462	2518
5281665	8	1.525	3269429	2012235	366284	33	6.525	364026	2258
4377308	9	1.725	2709619	1667689	349911	34	6.725	347879	2032
3705207	10	1.925	2293579	1411629	334727	35	6.925	332892	1835
2453218	11	2.125	1974326	118892	320614	36	7.125	318951	1663
2025569	12	2.325	1722967	302603	307469	37	7.325	305957	1512
1720493	13	2.525	1520843	199649	295200	38	7.525	293822	1378
1482054	14	2.725	1358419	136635	283728	39	7.725	282468	1260
1314424	15	2.925	1217986	96438	272982	40	7.925	271828	1155
1172230	16	3.125	1102328	69902	262900	41	8.125	261839	1061
1055748	17	3.325	1003899	51849	253424	42	8.325	252447	977
958546	18	3.525	919306	39241	244505	43	8.525	243604	901
876196	19	3.725	845968	30228	236099	44	8.725	235266	833
800087	20	3.925	781894	18193	228164	45	8.925	227392	772
737494	21	4.125	725524	11970	220665	46	9.125	219948	717
685628	22	4.325	675619	10008	213568	47	9.325	212902	666
639637	23	4.525	631188	8449	206845	48	9.525	206224	621
598615	24	4.725	591423	7192	200467	49	9.725	199888	579
561845	25	4.925	555867	6178	194411	50	9.925	193870	541

Рис. 7.4.2. Компьютерная таблица распределения суммарной плотности энергии разрушения по направлению под углом $\alpha = 45^\circ$ к ЛНС

ПЭс55(R) N = R =			ПЭс55(R) N = R =			ПЭс55(R) N = R =			ПЭс55(R) N = R =		
0	1	0.125	0	1	0.125	0	1	0.125	0	1	0.125
95404182	2	0.325	56202209	2	0.325	39201974	21	4.125	652153	21	4.125
26872040	3	0.525	15830208	3	0.525	11041833	22	4.325	606157	22	4.325
15620941	4	0.725	9202231	4	0.725	6418709	23	4.525	565392	23	4.525
10599489	5	0.925	6244115	5	0.925	4355374	24	4.725	529047	24	4.725
7813711	6	1.125	4603025	6	1.125	3210686	25	4.925	496483	25	4.925
6072677	7	1.325	3577389	7	1.325	2495288	26	5.125	467154	26	5.125
4897092	8	1.525	2884856	8	1.525	2012235	27	5.325	440627	27	5.325
4058584	9	1.725	2390895	9	1.725	1667689	28	5.525	416534	28	5.525
3435421	10	1.925	2023792	10	1.925	1411629	29	5.725	394576	29	5.725
2220984	11	2.125	1742092	11	2.125	478892	30	5.925	374492	30	5.925
1822902	12	2.325	1520299	12	2.325	302603	31	6.125	356066	31	6.125
1541601	13	2.525	1341951	13	2.525	199649	32	6.325	339110	32	6.325
1332620	14	2.725	1195985	14	2.725	136635	33	6.525	323465	33	6.525
1171157	15	2.925	1074718	15	2.925	96438	34	6.725	308991	34	6.725
1042567	16	3.125	972665	16	3.125	69902	35	6.925	295570	35	6.925
937663	17	3.325	885814	17	3.325	51849	36	7.125	283097	36	7.125
850411	18	3.525	811171	18	3.525	39241					
776687	19	3.725	746459	19	3.725	30228					
708115	20	3.925	689922	20	3.925	18193					

Рис. 7.4.3. Компьютерная таблица распределения суммарной плотности энергии разрушения по направлению под углом $\alpha = 55^\circ$ к ЛНС

На рис. 7.4.3 представлена компьютерная таблица распределения суммарной плотности разрушения всех фаз процесса по направлению 55° . По этому направлению суммарная плотность энергии разрушения меньше и изменяется от 95 МДж/м³ до 0,28 МДж/м³.

Четвертая таблица (рис. 7.4.4) короче второй и распространяется до 7 метров. Плотность суммарной распределенной энергии разрушения, по этому направлению намного меньше. С удалением от центра взрыва суммарная плотность энергии разрушения в этой таблице интенсивно уменьшается от 57 МДж/м³ до 0,01 МДж/м³.

ПЭс90(R) N = R =			ПЭс90(R) N = R =			ПЭс90(R) N = R =			ПЭс90(R) N = R =		
0	1	0.125	0	1	0.125	0	1	0.125	0	1	0.125
57570906	2	0.325	18368933	2	0.325	39201974	21	4.125	209235	21	4.125
16215722	3	0.525	5173889	3	0.525	11041833	22	4.325	194843	22	4.325
9426334	4	0.725	3007625	4	0.725	6418709	23	4.525	182029	23	4.525
6396179	5	0.925	2040805	5	0.925	4355374	24	4.725	170562	24	4.725
4715123	6	1.125	1504436	6	1.125	3210686	25	4.925	160250	25	4.925
3664509	7	1.325	1169221	7	1.325	2495288	26	5.125	150937	26	5.125
2955112	8	1.525	942876	8	1.525	2012235	27	5.325	142493	27	5.325
2449121	9	1.725	781432	9	1.725	1667689	28	5.525	134808	28	5.525
2073078	10	1.925	661449	10	1.925	1411629	29	5.725	127790	29	5.725
1048271	11	2.125	569379	11	2.125	478892	30	5.925	121361	30	5.925
799492	12	2.325	496889	12	2.325	302603	31	6.125	115454	31	6.125
638248	13	2.525	438599	13	2.525	199649	32	6.325	110011	32	6.325
527527	14	2.725	390892	14	2.725	136635	33	6.525	104982	33	6.525
447596	15	2.925	351257	15	2.925	96438	34	6.725	100326	34	6.725
387805	16	3.125	317902	16	3.125	69902	35	6.925	96003	35	6.925
341365	17	3.325	289516	17	3.325	51849	36	7.125	91983	36	7.125
304361	18	3.525	265120	18	3.525	39241					
274198	19	3.725	243970	19	3.725	30228					
243685	20	3.925	225492	20	3.925	18193					

Рис. 7.4.4. Компьютерная таблица распределения суммарной плотности энергии разрушения по направлению вдоль ряда скважин при $\alpha = 90^\circ$

На рис. 7.4.5 представлены совмещенные графики изменения суммарной плотности энергии разрушения по направлениям квазистатической фазы. На графике представлены четыре кривые для четырех разных направлений.

Суммарные плотности энергии разрушения вдоль ЛНС и под углом 45° к ЛНС соизмеримы и во много раз больше суммарной плотности энергии разрушения камуфлета с волной и по направлению ряда скважин. По нашему мнению, анализ этих кривых дает возможность более наглядно увидеть содержание приведенных выше таблиц.

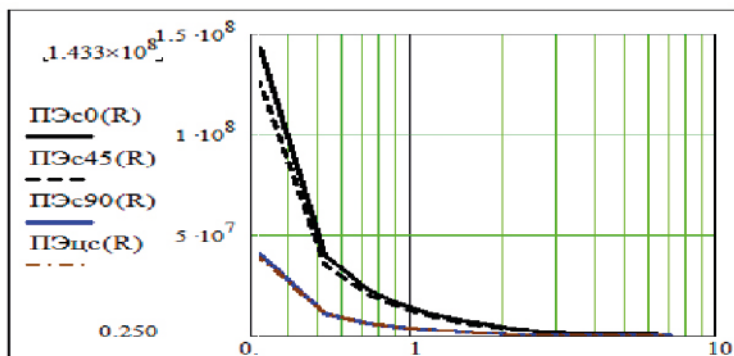


Рис. 7.4.5. Совмещенные компьютерные графики изменения плотности энергии разрушения с расстоянием от центра взрыва

Кривые на рис. 7.4.5 представлены в полулогарифмической системе координат.

7.5. Определение крупности дробления породы по выбранному направлению всеми фазами процесса в средней зоне карьерного уступа

Одним из главных положений многофазной и многозонной теории технологического дробления горных пород взрывом является утверждение, что крупность раздробленной взрывом породы зависит от распределенной по дробимому объему энергии разрушения, не от энергии заряда, не от параметров волны напряжений, не от каких-либо иных многочисленных параметров сложного физического процесса воздействия взрыва на горный массив.

При определении крупности дробления в основные формулы в явном или опосредованном виде включены: элементарный дробимый объем породы; энергия разрушения в этом объеме; плотность энергии разрушения в этом объеме; энергия образования одного квадратного метра новой поверхности при взрывном дроблении конкретной породы; линейный размер максимального куска в элементарном дробимом объеме.

Линейный размер максимального куска в элементарном дробимом объеме определяется по формуле

$$d = \frac{18e}{ПЭ_p},$$

где d – линейный размер максимального куска в дробимом объеме; e – энергия образования одного квадратного метра новой поверхности при взрывном дроблении конкретной породы; $\Pi\mathcal{E}_p$ – плотность энергии разрушения в элементарном дробимом объеме. В зависимости от условий решаемой задачи эта формула может усложняться, но суть ее при этом не изменяется.

$$\begin{aligned}
 &\text{Энергия разрушения в цилиндрическом слое толщиной } \Delta R \\
 &\quad \text{в цилиндрической камуфлетной зоне} \\
 &\Delta\mathcal{E}(R) := \begin{cases} 0 & \text{if } R = r_0 \\ \mathcal{O}(R - \Delta R) - \mathcal{O}(R) & \text{if } r_0 < R \leq R_d \\ 0 & \text{if } R \geq R_d \\ 0 & \text{if } R_d < R < R_k \end{cases} \\
 &\text{Величина расчетного объема в метровом слое} \\
 &\Delta V(R) := \begin{cases} 0 & \text{if } R = r_0 \\ \left[\left[(R + \Delta R)^2 - R^2 \right] \cdot \pi \cdot 1 \right] & \text{if } R > r_0 \\ 0 & \text{if } R_d < R < R_k \end{cases} \\
 &\text{Распределение плотности энергии разрушения в} \\
 &\quad \text{цилиндрической части камуфлетной зоны} \\
 &\Pi\mathcal{E}_{\text{цкм}}(R) := \frac{\Delta\mathcal{E}(R)}{\Delta V(R)} \\
 &\text{Размер куска в расчетном объеме} \\
 &dk_{\text{ц}}(R) := \begin{cases} \frac{18 \cdot e}{\Pi\mathcal{E}_{\text{цкм}}(R)} & \text{if } r_0 < R \leq R_d \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}
 \end{aligned}$$

Рис. 7.5.1. Фрагмент программы определения крупности дробления в элементарных расчетных объемах камуфлетной зоны

$$\begin{aligned}
 &\Delta V(R) := \begin{cases} 0 & \text{if } R = r_0 \\ \frac{\left[\left[(R + \Delta R)^2 - R^2 \right] \cdot \pi \cdot 1 \cdot \Delta\alpha}{360} & \text{if } R > r_0 \end{cases} \\
 &\text{Распределение суммарной плотности энергии разрушения} \\
 &\quad \text{по направлению 45 в квазистатической зоне} \\
 &\Pi\mathcal{E}_{\text{с45}}(R) := \Pi\mathcal{E}_{\text{с}}(R) + \Pi\mathcal{E}_{\text{цкв45}}(R) \\
 &dk_{\text{с45}}(R) := \begin{cases} \frac{18 \cdot e}{\Pi\mathcal{E}_{\text{с45}}(R)} & \text{if } r_0 < R \leq R_r + \Delta R \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}
 \end{aligned}$$

Рис. 7.5.2. Фрагмент программы определения крупности дробления в элементарных расчетных объемах по одному направлению квазистатической зоны

На рис. 7.5.1 и 7.5.2 представлены фрагменты программы определения крупности дробления в элементарных расчетных объемах камуфлетной зоны и в расчетных объемах одного направления квазистатической зоны. Во фрагментах различаются формулы определения величины элементарных

объемов. Изменяются формулы определения плотности энергии разрушения в элементарных объемах. Изменяются параметры в формулах определения линейных размеров куска породы. Но принципиальная сущность этих формул остается неизменной.

На рис. 7.5.3 представлены две компьютерные таблицы дробления породы камуфлетной и волновой фазой взрыва.

Три левых столбца относятся к камуфлетной фазе. Три правых столбца являются параметрами укороченной таблицы волновой фазы, уходящей далеко за пределы зоны технологического дробления горных пород взрывом. В физическом понимании правая таблица всегда является продолжением первой части таблицы. В первом и четвертом столбцах номера строк (номера расчетных объемов). Во втором и пятом столбцах, расстояния расчетных объемов от центра взрыва. В третьем и шестом столбцах линейный размер кусков раздробленной породы в метрах, в каждом расчетном объеме.

Под действием камуфлетной фазы взрыва весь объем породы в камуфлетной зоне будет раздроблен в нашем примере до крупности от двадцати сантиметров до мелких и даже пылевидных фракций.

Под действием волновой фазы, начиная с 11-й строки таблицы, размер расчетных кусков изменяется от 60 см до 15 м, толщина расчетных зон 20 см. Можно попытаться увеличить толщину расчетных зон, объединяя соседние расчетные объемы и пересчитывая размеры кусков.

N = R = dku(R)			N = R = двц(R)		
1	0.125	0	1	0.125	0
2	0.325	0.007	2	0.325	0
3	0.525	0.026	3	0.525	0
4	0.725	0.045	4	0.725	0
5	0.925	0.066	5	0.925	0
6	1.125	0.09	6	0.925	0
7	1.325	0.115	7	1.125	0
8	1.525	0.143	8	1.325	0
9	1.725	0.173	9	1.525	0
10	1.925	0.204	10	1.725	0
11			11	1.925	0.601
			12	2.125	0.952
			13	2.325	1.443
			14	2.525	2.108
			15	2.725	2.986
			16	2.925	4.12
			17	3.125	5.555
			18	3.325	7.339
			19	3.525	9.528
			20		15.83

Рис. 7.5.3. Дробление породы совместным действием всех фаз процесса в камуфлетной и волновой зоне

Но в нашем примере толщина расчетных зон будут расти медленнее, чем размеры расчетных кусков. **Непреодолимое положение большей величи-**

ны размера расчетных кусков, чем толщина расчетных зон, является критерием наличия энергетической недостаточности дробления породы до крупности, равной или меньшей толщины расчетных объемов. В нашем примере волновая фаза не может дробить породу. В ней для этого недостаточно энергии разрушения. Ее энергия разрушения может быть лишь дополнительной добавкой к энергии разрушения других фаз процесса технологического дробления пород взрывом. Но под действием волновой фазы процесса в породе могут формироваться трещины разной интенсивности. В нашем примере трещины в породе проникают до 3,4 метра от центра взрыва.

В таблице рис. 7.5.4 представлена компьютерная таблица дробления породы квазистатической фазой процесса по одному направлению квазистатической зоны вдоль ЛНС. Таблица разрезана на две части.

Нижняя часть таблицы поставлена правее верхней. В первом и четвертом столбцах номера расчетных объемов. Во втором и пятом столбцах расстояния расчетных объемов от центра взрыва. В третьем и шестом столбцах размер расчетных кусков в метрах. Толщина расчетных объемов 0,2 м, т. е. 20 см.

Квазистатическая фаза в этом направлении без помощи других фаз процесса дробит породу от размеров во второй строке 3 мм до размеров в 18-й строке 19 см.

ПЭс0(R) = N = R = dkпквз(R)							
0	1	0.125	0				
115497424	2	0.325	0.004				
32531608	3	0.525	0.013				
18910894	4	0.725	0.023				
12831866	5	0.925	0.034				
9459370	6	1.125	0.046				
7351654	7	1.325	0.059				
5928477	8	1.525	0.074				
4913369	9	1.725	0.089				
4158961	10	1.925	0.105				
2843811	11	2.125	0.122				
2366435	12	2.325	0.14				
2021371	13	2.525	0.158				
1760205	14	2.725	0.177				
1555386	15	2.925	0.197				
1390311	16	3.125	0.218				
1254356	17	3.325	0.239				
1140418	18	3.525	0.262				
1043559	19	3.725	0.284				
954774	20	3.925	0.308				
				ПЭс0(R) = N = R = dkпквз(R)			
				881029	21	4.125	0.331
				819290	22	4.325	0.356
				764509	23	4.525	0.381
				715620	24	4.725	0.407
				671776	25	4.925	0.433
				632260	26	5.125	0.459
				596496	27	5.325	0.487
				563997	28	5.525	0.514
				534362	29	5.725	0.543
				507246	30	5.925	0.571
				482357	31	6.125	0.601
				459447	32	6.325	0.63
				438302	33	6.525	0.66
				418735	34	6.725	0.691
				400586	35	6.925	0.722
				383714	36	7.125	0.754

Рис. 7.5.4. Дробление породы квазистатической фазой процесса по одному направлению квазистатической зоны

Дальше размеры кусков больше толщины расчетных зон. Но если мы объединим по две зоны до 29-й строки, толщина расчетных зон станет 40 см. Размер кусков будет примерно средний между кусками в объединенных

объемах. От 18-й до 29-й строки квазистатическая фаза раздробит породу до размеров от 19 см до 39 см. Далее нужно объединять по три расчетных объема. И расчетные куски станут меньше толщины расчетных зон. В этом участке, в строках от 30-й до 36-й, квазистатическая фаза раздробит породу до крупности от 45 см до 53 см.

Квазистатическая фаза взрыва в направлении ЛНС раздробит породу и без помощи других фаз до кондиционной крупности. С помощью других фаз порода в этом направлении будет раздроблена еще мельче.

N =	R =	dke0(R)	N =	R =	dke45(R)	N =	R =	dke90(R)
1	0.125	0	1	0.125	0	1	0.125	0
2	0.325	0	2	0.325	0	2	0.325	0.01
3	0.525	0.01	3	0.525	0.01	3	0.525	0.02
4	0.725	0.02	4	0.725	0.02	4	0.725	0.03
5	0.925	0.02	5	0.925	0.03	5	0.925	0.05
6	1.125	0.03	6	1.125	0.03	6	1.125	0.06
7	1.325	0.04	7	1.325	0.04	7	1.325	0.08
8	1.525	0.05	8	1.525	0.05	8	1.525	0.1
9	1.725	0.06	9	1.725	0.07	9	1.725	0.12
10	1.925	0.07	10	1.925	0.08	10	1.925	0.14
11	2.125	0.1	11	2.125	0.12	11	2.125	0.27
12	2.325	0.12	12	2.325	0.14	12	2.325	0.36
13	2.525	0.14	13	2.525	0.17	13	2.525	0.45
14	2.725	0.16	14	2.725	0.19	14	2.725	0.55
15	2.925	0.19	15	2.925	0.22	15	2.925	0.64
16	3.125	0.21	16	3.125	0.25	16	3.125	0.74
17	3.325	0.23	17	3.325	0.27	17	3.325	0.84
18	3.525	0.25	18	3.525	0.3	18	3.525	0.95
19	3.725	0.28	19	3.725	0.33	19	3.725	1.05
20	3.925	0.3	20	3.925	0.36			
21	4.125	0.33	21	4.125	0.39			
22	4.325	0.35	22	4.325	0.42			
23	4.525	0.38	23	4.525	0.45	37	7.325	0.94
24	4.725	0.4	24	4.725	0.48	38	7.525	0.98
25	4.925	0.43	25	4.925	0.51	39	7.725	1.02
26	5.125	0.46	26	5.125	0.54	40	7.925	1.06
27	5.325	0.48	27	5.325	0.58	41	8.125	1.1
28	5.525	0.51	28	5.525	0.61			
29	5.725	0.54	29	5.725	0.64	42	8.325	1.14
30	5.925	0.57	30	5.925	0.68	43	8.525	1.18
31	6.125	0.6	31	6.125	0.71	44	8.725	1.22
32	6.325	0.63	32	6.325	0.75	45	8.925	1.26
33	6.525	0.66	33	6.525	0.79	46	9.125	1.31
34	6.725	0.69	34	6.725	0.82	47	9.325	1.35
35	6.925	0.72	35	6.925	0.86	48	9.525	1.39
36	7.125	0.75	36	7.125	0.9	49	9.725	1.44
						50	9.925	1.48

Рис. 7.5.5. Дробление породы по трем направлениям совместным действием всех фаз процесса

На рис. 7.5.5 представлена компьютерная таблица дробления породы по трем направлениям, совместным действием всех фаз процесса. Таблица разрезана на две части. Нижняя часть таблицы поставлена правее верхней. В первом и шестом столбцах номера расчетных объемов. Во втором и седьмом столбцах расстояния расчетных объемов от центра взрыва. В третьем и восьмом столбцах размер расчетных кусков в метрах по направлению $\alpha = 0^\circ$. В четвертом и девятом столбцах размер расчетных кусков в метрах по направлению $\alpha = 45^\circ$. В пятом столбце размер расчетных кусков в метрах по направлению $\alpha = 90^\circ$. Этот столбец короткий и весь уложился в верхней части таблицы.

По направлению вдоль ЛНС при $\alpha = 0^\circ$ совместным действием всех фаз процесса в нашем примере порода будет раздроблена до крупности от 1 мм до 75 см.

По направлению вдоль $\alpha = 45^\circ$ совместным действием всех фаз процесса в нашем примере порода будет раздроблена до крупности от 1 мм до 1 м. Размер 1 м определяется объединением строк 43, 44, 45, 46 и 47 с толщиной объединенного расчетного слоя 1 метр. В последних десяти строках ниже красной линии дробление породы энергетически не обеспечено. Но их совместная толщина 60 см. Дальше свободная поверхность. Негабаритным кускам не из чего образовываться. Кроме этого, конец этого направления при групповом взрывании скважин попадает в зону интенсивного дробления породы соседним зарядом. Поэтому в карьере, в нашем варианте, негабаритные куски породы в этом отрезке направления не смогут образоваться.

По направлению вдоль $\alpha = 90^\circ$ совместным действием всех фаз процесса в нашем примере порода будет раздроблена от миллиметровой крупности до 80 см. Этот размер кусков определяется при объединении строк 15–19 и перерасчета размера куска. Начиная с 20 строки, дробление породы в этом направлении энергетически не обеспечено.

При взрыве одного заряда кондиционное дробление породы осуществляется до боковой поверхности воронки выброса. При взрывании ряда скважин между двумя зарядами обеспечивается кондиционное дробление всего объема породы, т. к. $2 \times 3,7 > 7$ м.

Глава 8. Распределение энергии разрушения по площадям

8.1. Основные положения распределения энергии разрушения по площадям

Использование при исследованиях программной оболочки MathCad весьма удобно по ряду соображений. Формулы в программе выглядят почти так же, как в тексте учебников и статей. Легко найти в программе нужное место по написанию формул. В больших программах это очень важный фактор.

Из программы легко выделяются любые ее части, с которыми можно работать за пределами основной программы без ущерба для основной программы.

При желании в программе легко запросить любые численные значения промежуточных результатов расчета. Это помогает анализировать ход выполняемых вычислений. Любые грубые ошибки оператора программа выделяет цветом. Это помогает находить и исправлять ошибки оператора.

Но при работе в MathCad возникают и нежелательные осложнения.

Для определения грансостава раздробленной породы в зоне технологического дробления горных пород взрывом желательно получать распределение плотности энергии разрушения по площадям и объемам. В MathCad мы получаем распределение энергии разрушения по направлениям и объемам. Переход в MathCad к площадям и объемам, конечно, возможен. Но он сопряжен со значительными трудностями. А главное, процесс расчетов требует постоянное присутствие оператора и его активное вмешательство в ход расчетов.

Разработчиками были выполнены работы по составлению программы в оболочке Delphi с целью определения распределения плотности энергии разрушения по площадям и объемам. Уточнялись модели процессов, аналитическое связи между параметрами процесса воздействия взрыва на горный массив, разрабатывались схемы компьютерных программ, составлялись компьютерные программы и проверялись результаты компьютерных расчетов. Основной объем работы выполнен А.В. Шляпиным и Н.Н. Казаковым под научным руководством Н.Н. Казакова.

Для расчета распределения плотности энергии взрыва использовали метод компьютерного моделирования обсчитываемого объема массива горных пород с помощью двухмерной числовой матрицы, разбитой на множество мелких ячеек. Каждая ячейка числовой матрицы является масштабным отображением реальной части массива размером $0,1 \times 0,1$ м и заполнена численным значением плотности энергии, переданной рассматриваемому объему конкретной фазой взрыва или составляющей частью конкретной фазы взрыва.

Суммированием матрицы всех фаз и составляющих частей фаз получали в виде двухмерной матрицы суммарного распределения плотности энергии в зоне технологического дробления породы взрывом группы скважинных зарядов на уступе карьера.

Параметры обсчитываемой площади для расчета распределения плотностей энергии взрыва при развитии всех трех фаз физического процесса

приняты одинаковыми для упрощения матричных вычислений при определении суммарного распределения плотности энергии разрушения.

Несмотря на многолетний опыт и большое количество накопленных знаний в вопросе взрывного разрушения массива горных пород, на данный момент практически отсутствует общепризнанный метод численного описания передачи и распределения энергии взрыва скважинных зарядов в зону технологического дробления пород.

Характер передачи и распределения энергии взрыва оказывает существенное влияние на результат разрушения массива горных пород и должен участвовать в процессе совершенствования буровзрывных работ. Нами была разработана модель передачи и распределения энергии взрыва скважинного заряда в массиве горных пород, изложенная ранее. На основе нее получен расчетный метод определения характера передачи и распределения энергии взрыва в массиве.

Процесс развития взрыва в массиве горных пород является многофазным. Он включает в себя следующие фазы: детонацию взрывчатого вещества, камуфлетную фазу развития взрыва, распространение по массиву падающих и отраженных волн напряжений, распространение сейсмических волн, развитие квазистатической фазы расширения полости, выброс в атмосферу пылегазового облака, распространение воздушной ударной волны и др.

Технологическое дробление породы взрывом, которое реализуется на близких расстояниях от места взрыва скважинного заряда, осуществляется под воздействием трех фаз процесса: камуфлетной, волновой и квазистатической. Все фазы сопрягаются и накладываются одна на другую во времени и пространстве.

При групповом взрывании скважинных зарядов вокруг каждого заряда формируется собственная зона технологического дробления породы. В зоне технологического дробления породы каждым из зарядов реализуются камуфлетная, волновая и квазистатическая фазы развития взрыва.

Наиболее распространенной сеткой обурирования скважин на уступе карьера является квадратная. При квадратной сетке обурирования чаще всего применяют порядные или диагональные схемы короткозамедленного взрывания, рассмотрев которые, нами были определены два объема, свойственные выбранной группе схем взрывания. Свойства, определенные для данных объемов, могут быть распространены на весь массив горных пород, подвергающийся разрушению согласно выбранной схеме взрывания. Именно эти объемы являются основой выбранной модели разрушения массива горных пород и объектом компьютерного моделирования.

Чтобы определить характер распределения плотности энергии взрыва во всем отбиваемом объеме при многорядном взрывании скважинных зарядов, достаточно определить его для двух объемов, показанных на рис. 3.4.1 и рис. 3.4.2. Все другие объемы отбиваемой породы при многорядном взрывании являются повторениями выделенных расчетных объемов. Рассчитанные параметры для одного выбранного нами объема можно совершенно справедливо присвоить аналогичному объему данного массива, таким образом, размещая по схеме взрывания обчисленные объемы I и II,

можно составить картину распределения плотности энергии взрыва по всему обуренному блоку независимо от числа скважинных зарядов. Для этого необходимо рассчитать распределение плотности энергии взрыва для двух выделенных объемов.

Исследуемый объем I представляет собой часть массива, отбиваемого между двумя одновременно взрывающимися зарядами в ряду и ограничивается, с одной стороны, ЛНС, а с другой стороны – расстоянием между скважинными зарядами в ряду. Объем II является частью массива, примыкающего к крайнему скважинному заряду в ряду и ограничивается, с одной стороны, ЛНС, а с другой стороны — полушириной воронки разрушения, формирующейся в момент начала прорыва продуктов детонации в атмосферу квазистатической фазы развития взрыва.

На названных рисунках: W – линия наименьшего сопротивления; a – расстояние между скважинами в ряду одновременно взрывающихся скважинных зарядов; B – полуширина воронки выброса, формирующаяся в момент начала прорыва продуктов детонации в атмосферу квазистатической фазы взрыва; сплошной линией обозначена обнаженная поверхность; кружочками красного цвета показаны скважинные заряды; цифрами 1 и 2 выделены рассматриваемые скважинные заряды.

Слева показано положение и основные параметры объемов I и II при порядной схеме взрывания, а справа – при диагональной схеме взрывания.

Нами была принята физическая модель процесса передачи и распределения плотности энергии взрыва в зоне технологического дробления породы при групповом взрывании скважинных зарядов, в соответствии с которой в зоне технологического дробления породы распределение плотности энергии формируется под действием трех фаз процесса: камуфлетной, волновой и квазистатической, соприкасающихся границами и накладывающихся друг на друга во времени и пространстве. В каждом из выделенных нами расчетных объемов энергетическая характеристика является суммой энергетических характеристик, сформировавшихся под воздействием камуфлетной фазы, падающей волны напряжений, отраженной волны напряжений и статической фазы действия взрыва. В объеме I между двумя соседствующими скважинными зарядами в ряду суммируются восемь энергетических характеристик, за пределами крайнего заряда в ряду суммируются четыре.

Несмотря на одинаковую сетку обуривания, положение и параметры объемов I и II при порядной и диагональной схеме взрывания существенно различаются.

Анализ и сопоставление распределения плотностей энергии взрыва выбранных нами объемов разрушаемого массива горных пород при различных схемах взрывания позволяет объективно судить о недостатках и преимуществах рассматриваемых схем взрывания на стадии проектировки БВР.

Для расчета распределения плотности энергии взрыва предполагается использовать метод компьютерного моделирования обчитываемого объема массива горных пород с помощью двухмерной числовой матрицы, разбитой на множество мелких ячеек. Каждая ячейка числовой матрицы является масштабным отображением реальной части массива размером $0,1 \times 0,1$ м и заполнена численным значением плотности энергии, переданной рассма-

триваемому объему конкретной фазой взрыва или составляющей частью конкретной фазы взрыва.

Предполагается просуммировать матрицы всех фаз и составляющих частей фаз и получить в виде двухмерной матрицы суммарное распределение плотности энергии в зоне технологического дробления породы взрывом группы скважинных зарядов на уступе карьера.

Параметры обсчитываемой площади для расчета распределения плотностей энергии взрыва при развитии всех трех фаз физического процесса приняты одинаковыми для упрощения матричных вычислений при определении суммарного распределения энергии плотностей взрыва.

Суммарную матрицу распределения плотностей энергии, содержащую двадцать–тридцать тысяч цифр, анализировать весьма сложно. Поэтому с использованием рассчитанной матрицы по средствам компьютерных программ будут построены кривые равных уровней с одинаковыми цифровыми значениями плотности энергии, а участки между кривыми равных уровней будут выделены различными цветами в зависимости от количества переданной энергии. Полученное распределение плотностей энергии взрыва в зоне технологического дробления породы будет представлено в виде цветовой планограммы, что значительно облегчит анализ получаемого результата.

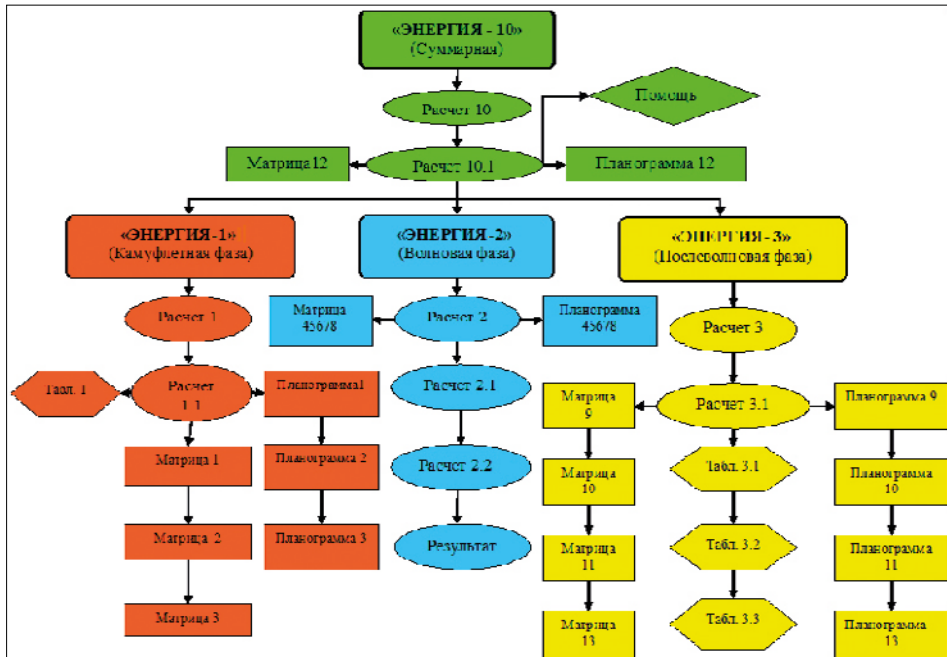


Рис. 8.1.1. Схема комплекса программ, состоящего из четырех программ и тридцати подпрограмм

Использование полученного ранее расчетного метода, аналитических зависимостей и программного обеспечения Delphi7 [7, 8, 30, 38] позволило нам впервые разработать комплекс компьютерных программ «Энергия» [96], который позволяет рассчитать численные значения энергетических

и геометрических параметров трех рассматриваемых фаз процесса, определить характер распределения плотности энергии в отбиваемом объеме породы. Схематично комплекс программ, состоящий из четырех программ и тридцати подпрограмм, представлен на рис 8.1.1.

Многоступенчатый принцип работы комплекса компьютерных программ «Энергия» позволяет более детально рассмотреть последовательность процесса передачи энергии взрыва в массив горных пород, оценить характер распределения и количество переданной энергии взрыва в рассматриваемых объемах для каждой из трех фаз физического процесса.

8.2. Распределение энергии разрушения по площади в цилиндрической камуфлетной зоне

Камуфлетная фаза является первой фазой развития физического процесса передачи энергии взрыва скважинного заряда ВВ в массив горных пород. Камуфлетной фазы взрыва передает в массив горных пород значительную часть энергии заряда.

На основе разработанной нами модели и полученного расчетного метода создана компьютерная программа «Энергия-1», позволяющая рассчитать количество энергии, переданной камуфлетной фазой развития взрыва в массив горных пород, определить численное значение плотности энергии для каждой ячейки, на которые условно разбит обсчитываемый объем, заполнить ими созданные числовые матрицы и смоделировать на их основе распределение плотности энергии на цветовой планограмме.

Программа и входящие в нее подпрограммы выполнены по структуре программного обеспечения Windows и имеют информативное меню, что значительно облегчает их использование.

На рис. 8.2.1 представлено главное меню программы «Энергия-1», содержащее таблицу результатов выполненных вычислений и кнопки управления выполняемыми процедурами.

Кнопка «вычисление» активирует выполнение процедуры обработки введенных исходных данных, вычисления необходимых величин по заложенному алгоритму, который составлен по разработанному нами расчетному методу, и занесение полученных результатов в таблицу, отражающую зависимость плотности энергии от величины смещения по направлению. Количество заносимых в таблицу величин равно величине радиуса, соединяющего центр скважинного заряда и наиболее удаленную от него точку обсчитываемого объема. Столбец, отражающий значение плотностей энергии, заполняется аналогично. Процедура завершается автоматическим сохранением полученных данных в памяти компьютера и подготовкой их к дальнейшим операциям.

Следующая процедура выполняется нажатием клавиши «Матрица-1», что является первым этапом построения распределения энергии взрыва камуфлетной фазы. Происходит создание двухмерной числовой матрицы, которая отображает обсчитываемые объемы. Затем каждая ее ячейка заполняется значением плотности энергии, выделившейся в массив горных пород под действием взрыва первого скважинного заряда, что осуществляется пу-

тем выполнения математических циклов и групп циклов, входящих в разработанный нами алгоритм.

После выполнения процедуры полученная числовая матрица выводится на экран в рамках поля нового окна. Фрагмент первой числовой матрицы показан на рис. 8.2.1. Матрица содержит около 14 000 ячеек, поэтому правая и нижняя часть ее поля снабжена элементами, позволяющими быстро по нему перемещаться. Для удобства оценки характера распределения плотности энергии с левой стороны и в верхней части поля матрицы расположены координатные оси с измерительной шкалой, каждое деления которой кратно 1 дм. Численное значение плотности энергии имеет широкий диапазон, поэтому форма ячейки матрицы принята прямоугольной. Однако при построении распределения плотности энергии для соблюдения принятого масштаба используются ячейки размером 1×1 дм.

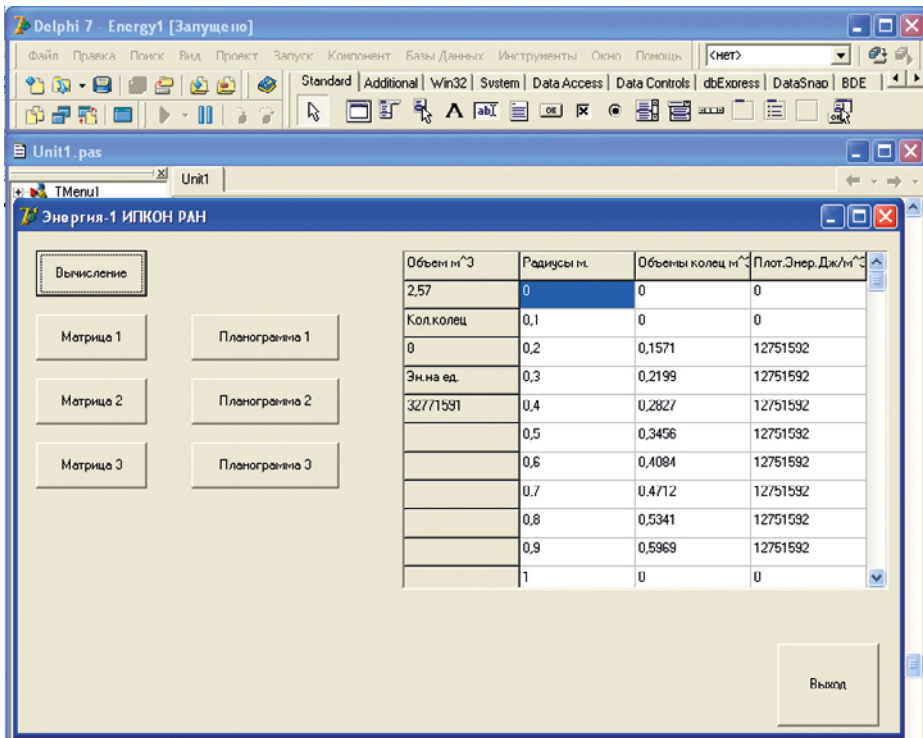


Рис. 8.2.1. Главное меню программы «Энергия-1»

После выполнения процедуры созданная и заполненная численными значениями плотности энергии матрица становится доступной не только для пользователя, но и для других программ комплекса.

Схема распределения плотности энергии, сформировавшаяся под влиянием взрыва первого скважинного заряда в обчитываемых объемах к моменту завершения камуфлетной фазы процесса и моделируемая с помощью первой числовой матрицы, показана на рис. 8.2.2.

МАТРИЦА-1

дм\дм.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
58	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079
59	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079
60	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079
61	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079
62	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079
63	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079
64	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079
65	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079
66	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079
67	0	0	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079
68	0	0	0	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079
69	0	0	0	0	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079
70	0	0	0	0	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079	5440079

Рис. 8.2.2. Фрагмент числовой матрицы, заполненной значениями плотности энергии

Клавиша «Матрица-2» инициирует процедуру создания и заполнения численными значениями плотности энергии следующей матрицы, которая отображает влияние второго скважинного заряда на обсчитываемые объемы. Используемый алгоритм имеет схожую структуру с алгоритмом процедуры создания и заполнения первой числовой матрицы. После создания и заполнения числовой матрицы она, так же, как и первая, выводится на экран в новом окне и сохраняется в памяти компьютера как массив чисел. Схема распределения плотностей энергии в обсчитываемом объеме, формирующаяся под влиянием крайнего в ряду скважинного заряда, показана на четвертом рисунке справа.

Процедура построения и вывода на экран итоговой числовой матрицы, содержащей значения плотности энергии, выделившейся в массив горных пород при взрыве двух соседствующих в ряду скважинных зарядов к моменту завершения камуфлетной фазы процесса, осуществляется нажатием клавиши «Матрица-3». Разработанный нами алгоритм создает новую числовую матрицу, вызывает из памяти компьютера массивы данных, содержащие значения плотностей энергии, полученные предыдущими процедурами, и осуществляет их занесение в новую числовую матрицу с одновременным суммированием значений в каждой ее ячейке. Полученная итоговая числовая матрица выводится на экран в новом диалоговом окне и сохраняется в памяти компьютера. Схема итогового распределения плотностей энергии камуфлетной фазы представлена на рис. 5.4.5.

На рис. 8.2.3 и 8.2.4 сплошной линией обозначены границы обсчитываемого объема; цифрами I, II и пунктирными линиями выделены два исследуемых объема; B – полуширина воронки разрушения; a – расстояние

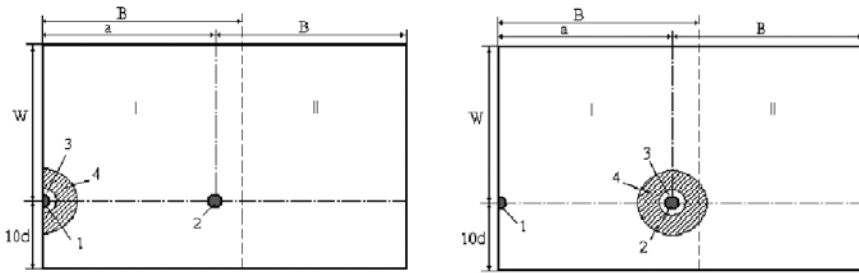


Рис. 8.2.3. Схема распределения плотности энергии разрушения по первой и второй численным матрицам

между скважинными зарядами в ряду; W – линия наименьшего сопротивления; $10d$ – расстояние, равное десяти диаметрам скважинного заряда. Цифрами 1 и 2 на схемах обозначены скважинные заряды. Вокруг зарядов 1 и 2 формируются газовая полости 3 и зоны дробления породы 1, 2, 3, 4.

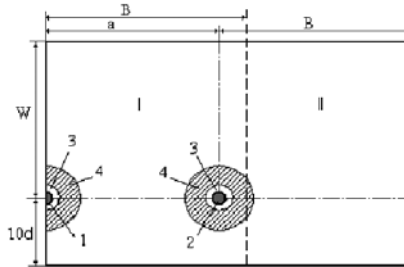


Рис. 8.2.4. Итоговая схема распределения плотностей энергии камуфлетной фазы взрыва

При помощи вертикально расположенных клавиш «Планограмма-1», «Планограмма-2», «Планограмма-3» инициируются процедуры создания и вывода на экран новых диалоговых окон, содержащих планограммы, отображающие поля распределения плотностей энергии, построенные по первой, второй и итоговой числовым матрицам соответственно.

Процедуры включают математические циклы, обрабатывающие значения плотностей энергии, содержащиеся в полученных числовых матрицах, и производят цветовую дифференциацию численных значений по заданным диапазонам.



Рис. 8.2.5. Планограммы распределения плотностей энергии камуфлетной фазы, сформировавшиеся под воздействием первого скважинного заряда: а – расчетный объем I; б – расчетный объем II

Создаваемые планыграммы, отображающие распределение плотностей энергии в объемах I и II, формирующиеся под воздействием первого скважинного заряда, показаны на рис. 8.2.1.

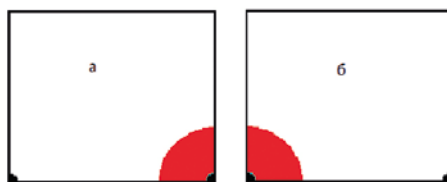


Рис. 8.2.6. Планограммы распределения плотностей энергии камуфлетной фазы, сформировавшиеся под воздействием второго скважинного заряда: а – расчетный объем I; б – расчетный объем II

На рис. 8.2.5 сплошными линиями выделены контуры двух обсчитываемых объемов, черными кружками обозначены скважинные заряды, красным цветом выделена зона влияния камуфлетной фазы.

На рис. 8.2.6 и 8.2.7 представлены планограммы распределения плотностей энергии камуфлетной фазы, сформировавшейся под воздействием второго скважинного заряда. Итоговые планограммы распределения плотностей энергии, сформировавшейся к моменту завершения камуфлетной фазы.

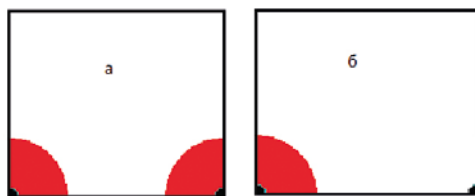


Рис. 8.2.7. Итоговые планограммы распределения плотностей энергии, сформировавшейся к моменту завершения камуфлетной фазы: а – расчетный объем I; б – расчетный объем II

Рассчитываемые планограммы сопровождаются цветовой шкалой диапазонов значений плотности энергии, позволяющей наглядно оценить плотность энергии каждой зоны. Все рассчитываемые численные значения плотностей энергии разделяются на диапазоны, каждому из которых соответствует определенный цвет. Для всех рассчитываемых итоговых планограмм принята единая шкала цветовой дифференциации, представленная на рис. 8.2.8.

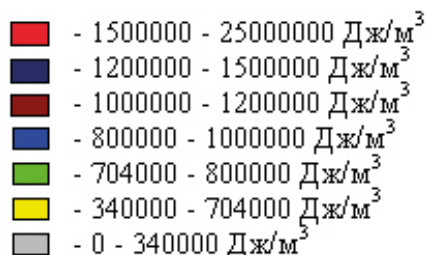


Рис. 8.2.8. Шкала цветовой дифференциации численных значений плотностей энергии

Все полученные результаты вычислений, выполненные процедурами программы, созданные и заполненные числовые матрицы, построенные поля распределения плотностей энергии на планаграммах сохраняются в памяти компьютера после завершения всех процедур программы «Энергия-1» и становятся доступными для других программ комплекса «Энергия».

Компьютерная программа «Энергия-1» запатентована патентом группой разработчиков. Патент № 2009612165.

Компьютерная программа «Энергия-1» в полном объеме представлена в приложении монографии. Приложение 2.

8.3. Распределение энергии разрушения по площади в цилиндрической волновой зоне

Волновая фаза взрыва начинает развиваться сразу после завершения ка-муфлетной фазы взрыва.

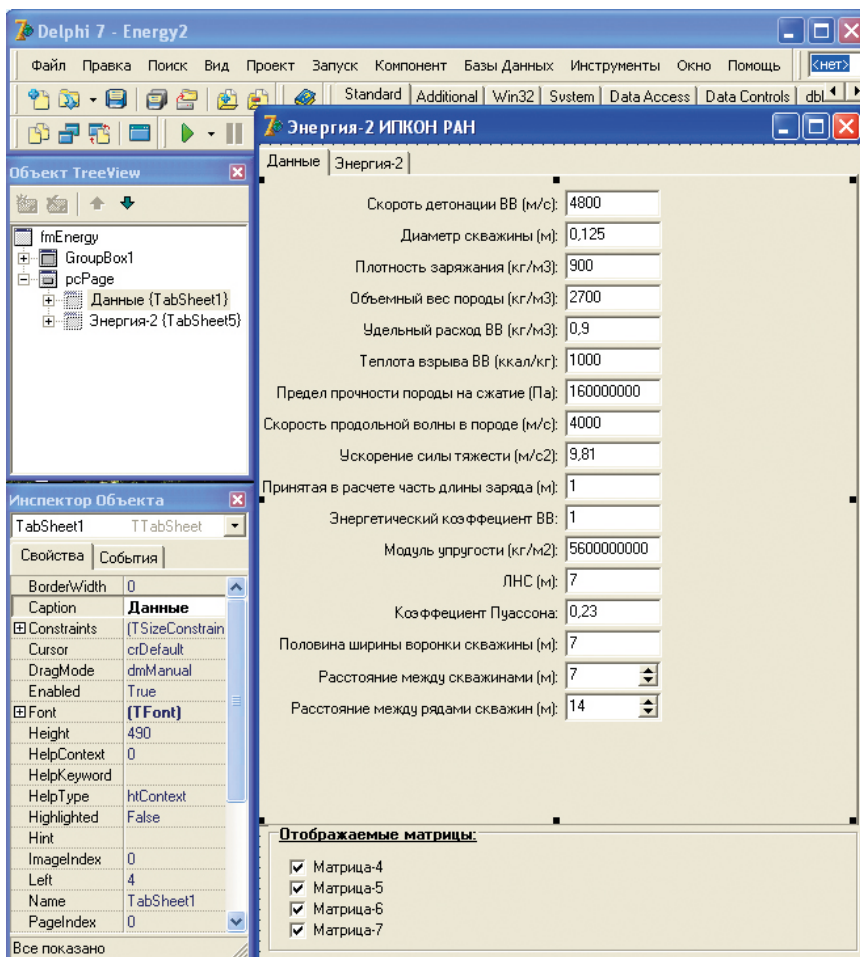


Рис. 8.3.1. Главное меню программы «Энергия-2», блок 1

Конец зоны воздействия камуфлетной фазы на массив горных пород является началом зоны действия и фазы, при которой формируется большое число различных волн напряжений.

Передача основного количества энергии взрыва скважинного заряда ВВ в массив горных пород при волновой фазе осуществляется падающими и отраженными волнами напряжений. На первом этапе происходит формирование падающей волны напряжений и ее распространение от скважинного заряда ВВ в массив горных пород. В ходе второго этапа формируется волна напряжений, отраженная от свободной поверхности и распространяющаяся от нее вглубь массива горных пород. Зона действия отраженной волны напряжений накладывается на зону действия падающей волны напряжений во времени и пространстве.

Моделирование процесса передачи энергии взрыва волновой фазой развития процесса, создание числовых матриц, заполнение их значениями плотностей энергии, построение распределения плотностей энергии на планаграммах выполняет созданная нами компьютерная программа «Энергия-2».

Главное меню программы состоит из двух блоков. Первый блок выделен закладкой «Данные», а его экранный вид представлен на рис. 8.3.1. В окна ввода заносят исходные данные условий взрывания. В нижней части закладки отмечают матрицы, для которых будут производиться дальнейшие расчеты.

Второй блок главного меню, представленный на рис. 1, отражает клавиши управления основными процедурами, содержит диалоговое окно для вывода результатов вычислений в текстовой форме.

Первая процедура, выполняющая считывание и обработку введенных в первом блоке меню исходных данных, выполнение решения по заложенному алгоритму и сохранение полученных результатов в памяти компьютера инициируется клавишей «Вычисления». После завершения процедуры на экран компьютера в новом диалоговом окне выводится таблица, содержащая результаты вычислений, необходимых для заполнения числовой матрицы.

В соответствии с принятой нами моделью процесса передачи энергии взрыва скважинного заряда в массив горных пород за период протекания волновой фазы объем массива вокруг каждого из рассматриваемых скважинных зарядов условно разделяется на множество цилиндрических поверхностей, радиусы которых заносятся в первый столбец таблицы, представленной на рис. 8.3.2. Таблица может включать в себя 200–300 значений, которые не могут быть вмещены в размеры диалогового окна, поэтому для удобства просмотра результатов она оснащена инструментом прокрутки данных. Второй столбец таблицы заполняется значениями плотности энергии, переданной в конкретный кольцевой объем с соответствующим радиусом.

Клавишей «Результат» вызывается процедура обработки результатов вычислений, выполненных предыдущей процедурой, перевод их в текстовый формат и вывод на экран компьютера в рамках поля текстового редактора, расположенного во втором блоке меню программы. поверхностей, радиусы

которых заносятся в первый столбец таблицы, представленной на рис. 8.3.2. Таблица может включать в себя 200–300 значений, которые не могут быть втеснены в размеры диалогового окна, поэтому для удобства просмотра результатов она оснащена инструментом прокрутки данных. Второй столбец таблицы заполняется значениями плотности энергии, переданной в конкретный кольцевой объем с соответствующим радиусом.

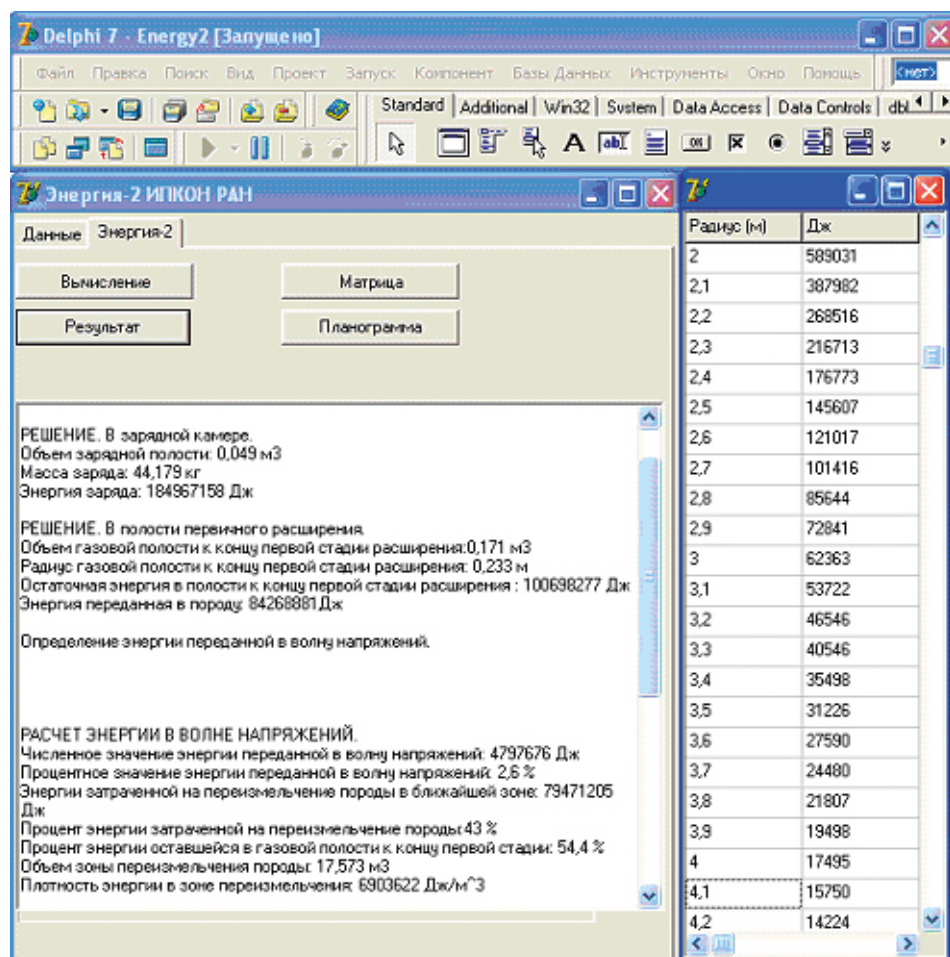


Рис. 8.3.2. Главное меню программы «Энергия-2», блок 2

Создание и заполнение числовых матриц значениями плотности энергии в программе «Энергия-2» осуществляется процедурой, которая активизируется нажатием клавиши «Матрица». Основу процедуры составляет разработанный нами алгоритм, который принципиально отличается от применяемого в программе «Энергия-1» и полностью отражает принцип распределения плотностей энергии, выделившейся в массив горных пород по принятой нами физической модели развития волновой фазы процесса.

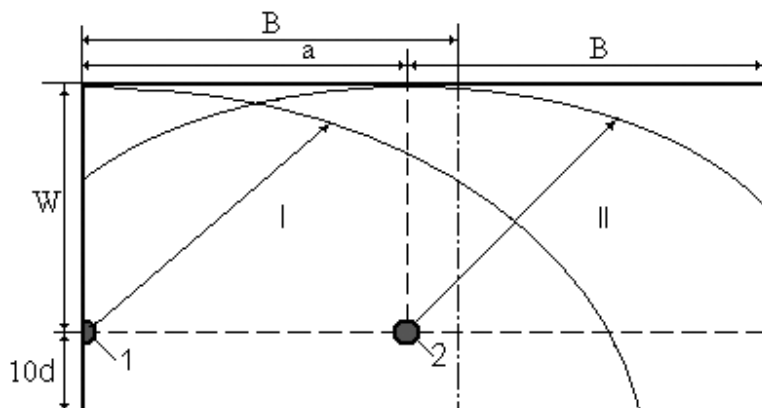


Рис. 8.3.3. Схема распределения значений плотностей энергии, переданных в обчитываемый объем падающими волнами напряжений

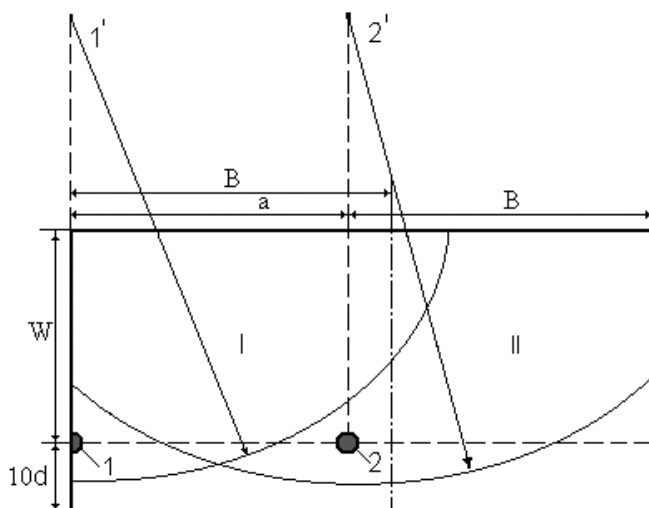


Рис. 8.3.4. Схема распределения значений плотностей энергии, переданных в обчитываемый объем отраженными волнами напряжений

Для моделирования процесса передачи энергии волновой фазы рассчитывается пять двумерных числовых матриц. Все числовые матрицы и планыграммы, создаваемые в результате работы программ, входящих в состав комплекса «Энергия», имеют сквозную нумерацию в соответствии с последовательностью развития физического процесса. Матрицы 4 и 5 отражают характер распределения плотностей энергии, сформировавшийся под воздействием падающих волн напряжений для 1 и 2 скважинных зарядов соответственно, а матрицы 6 и 7 заполняются значениями плотностей энергии, переданной в массив горных пород отраженными волнами напряжений.

Числовые матрицы 6 и 7 отличаются от других матриц, создаваемых программами комплекса «Энергия», размерами и принципом заполнения,

так как их заполнение начинается от точки отражения падающей волны напряжений. Формирование данных матриц происходит в два этапа.

На первом создается промежуточная числовая матрица, вертикальный размер которой больше на величину ЛНС.

Итоговая матрица. Значение в ячейке: 32515 Дж

дм.дм.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	32515	32773	32912	33189	33328	33479	32556	32707	32874	33209	33376	33561	33929
1	32598	32598	32862	33140	33140	33430	32508	32628	32828	33162	33512	33512	33882
2	32515	32773	32912	33189	33328	33479	32556	32707	32874	33209	33376	33561	33929
3	32556	32915	33186	33186	33469	33768	32529	32840	33186	33186	33511	33871	33971
4	33007	33152	33273	33350	33710	33842	32893	33068	33213	33549	33742	33902	34106
5	33194	33455	33606	33887	34013	34180	33207	33346	33531	33869	34073	34224	34598
6	33623	33884	34044	34160	34448	34523	33437	33754	33947	34290	34435	34649	35026
7	34156	34422	34532	34699	34990	35111	33945	34264	34600	34600	34953	35179	35324
8	34903	34903	35176	35461	35461	35762	34677	34881	35007	35221	35579	35718	35956
9	35491	35760	35935	36041	36336	36445	35394	35394	35729	36081	36081	36451	36702
10	36362	36534	36634	36921	37220	36252	36012	36342	36560	36689	36927	37304	37701
11	37362	37495	37737	37930	38236	37074	36957	37293	37293	37647	38019	38284	38410
12	38405	38590	38876	38973	39177	38119	38033	38139	38487	38738	39119	39119	38251
13	39000	39063	39063	40060	40474	39305	39111	39349	39706	39971	40001	40476	39399
14	40920	41199	41403	41707	41800	40404	40460	40711	40813	41184	41463	41869	40377
15	42518	42804	43104	43104	43420	41892	41971	42068	42333	42714	43010	43116	41916

Рис. 8.3.5. Фрагмент итоговой числовой матрицы волновой фазы развития взрыва

Вторым этапом полученная промежуточная матрица обрезается до принятых размеров путем переноса данных в новую числовую матрицу, которая впоследствии выводится на экран компьютера.

Принципиальная схема распределения численных значений плотностей энергии, переданных в обшчитываемый объем падающими волнами напряжений от зарядов 1 и 2 представлена на рис. 8.3.3, а переданных отраженной волной напряжений — на рис. 8.3.4. Цифрами 1 и 2 на них обозначены два скважинных заряда, цифрами 1' и 2' обозначены их зеркальные отображения (мнимые скважинные заряды).

Стрелками от зарядов 1 и 2 обозначены радиусы падающей волны напряжений, а стрелками от 1' и 2' показаны радиусы отраженной волны напряжений 1 и 2 зарядов соответственно. Закругляющимися линиями обозначены фронты падающих и отраженных волн напряжений. Сплошной жирной линией выделены границы обшчитываемого объема, а пунктирными линиями — границы расчетных объемов I и II.

После завершения процедуры на экран выводится дополнительное диалоговое окно, содержащее заполненную числовыми значениями плотности энергии двухмерную матрицу, представленную на рис. 8.3.5.

В процессе расчета формируются четыре числовых матрицы одинакового размера, которые отражают распределение плотностей энергии, падающих и отраженных волн напряжений от первого и второго зарядов. На рис. 8.3.6 представлены планогаммы, отражающие распределение плотностей энергии падающей волны напряжений от первого заряда, рассчитанные для объемов I и II.

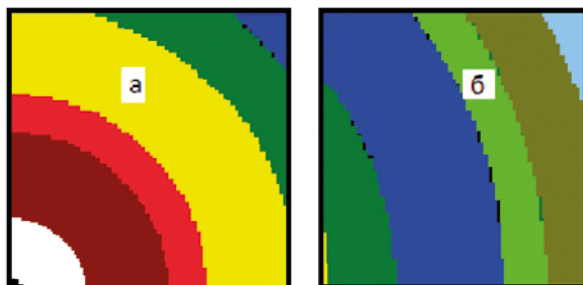


Рис. 8.3.6. Планогаммы распределения плотностей энергии падающей волны напряжений, сформировавшейся под воздействием первого скважинного заряда: а – расчетный объем I; б – расчетный объем II

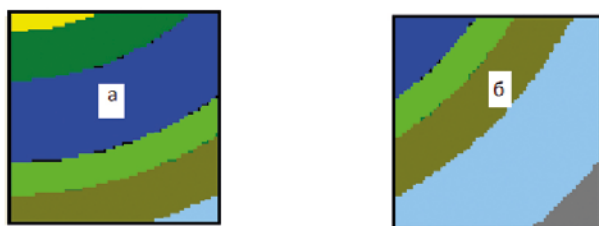


Рис. 8.3.7. Планогаммы распределения плотностей энергии отраженной волны напряжений, сформировавшейся под воздействием первого скважинного заряда: а – расчетный объем I; б – расчетный объем II

Распределение плотности энергии отраженной волны напряжений первого заряда представлено на планогаммах рис. 8.3.8.

На рис. 8,3.9 представлены планогаммы распределения плотности энергии, сформировавшейся под воздействием падающих и отраженных волн напряжений второго скважинного заряда.

Все рассчитанные числовые матрицы суммируются, образуя десятую, итоговую, матрицу, отражающую распределение плотностей энергии волновой фазы развития процесса, которая представлена в виде планогамм на рис 9. Сформированные и заполненные числовые матрицы, результаты вычислений, выполненные программой, сохраняются в памяти компьютера и будут использованы другими программами комплекса.



Рис. 8.3.8. Планогаммы распределения плотностей энергии падающей волны напряжений, сформировавшейся под воздействием первого скважинного заряда: а – расчетный объем I; б – расчетный объем II

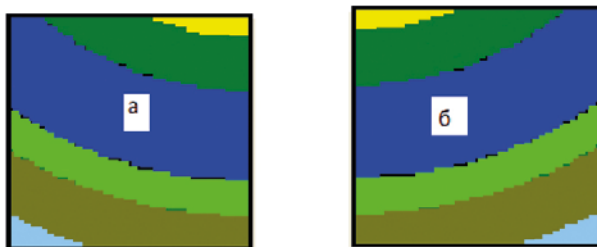


Рис. 8.3.9. Планограммы распределения плотностей энергии отраженной волны напряжений, сформировавшейся под воздействием второго скважинного заряда: *а* – расчетный объем I; *б* – расчетный объем II



Рис. 8.3.10. Планограммы распределения плотностей энергии волновой фазы: *а* – расчетный объем I; *б* – расчетный объем II

Компьютерная программа «Энергия-2» запатентована патентом группой разработчиков. Патент № 2010612825.

Компьютерная программа «Энергия-2» в полном объеме представлена в приложении монографии. Приложение 3.

8.4. Распределение энергии разрушения по площади в квазистатической зоне

После завершения волновой фазы взрыва начинает свое развитие квазистатическая фаза физического процесса, при развитии которой происходит передача в массив горных пород значительной части энергии взрыва скважинного заряда ВВ.

В соответствии с предложенной нами моделью и полученным расчетным методом впервые была разработана компьютерная программа «Энергия-3», позволяющая численно описать распределение плотностей энергии взрыва скважинного заряда в пределах зоны технологического дробления породы при развитии квазистатической фазы.

Главное меню программы, представленное на рис. 8.4.1, включает окна ввода исходных данных и клавиши управления основными процедурами. Ввод исходных данных завершается нажатием клавиши «Обновление», инициирующей первую процедуру программы, осуществляющую присваивание переменных введенным значениям исходных данных.

Следующая процедура выполняется нажатием клавиши «Вычисление». Программа производит расчет необходимых величин по разработанному нами алгоритму, результаты вычисления выводятся в виде таблицы в поле но-

вого диалогового окна, показанного на рис. 8.4.2. Таблица включает 7 столбцов, отражающих основные величины, необходимые для расчета значений плотностей энергии и их распределения по зоне технологического дробления.

В первый столбец занесены угловые значения секторов, на которые разделена зона технологического дробления. Во второй столбец занесены значения радиусов секторов, численно отражающих расстояние от центра скважинного заряда до границ обсчитываемого объема. Третий столбец заполнен величинами смещения границы полости по направлениям. Четвертый столбец включает значения объемов угловых секторов, на которые условно разбита зона технологического дробления. В пятый столбец занесены численные значения энергии, переданной в угловые сектора. Следующий столбец отражает расстояние от центра скважинного заряда до границы воронки выброса, формирующейся к моменту начала прорыва продуктов детонации в атмосферу квазистатической фазы. В последнем столбце показаны значения плотностей энергии для каждого углового сектора.

После завершения распределения энергии по секторам нажатием клавиши «Таблица» инициируется процедура распределения плотности энергии внутри секторов. Результат выполнения процедуры выводится на экран в новом диалоговом окне в виде таблицы, представленной на рис. 8.4.3.

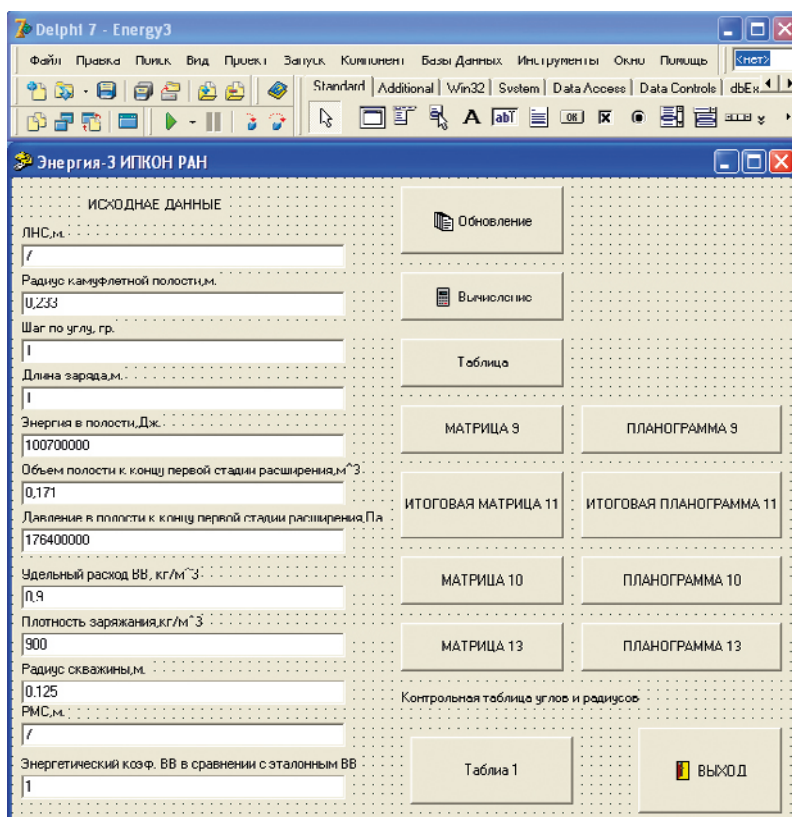
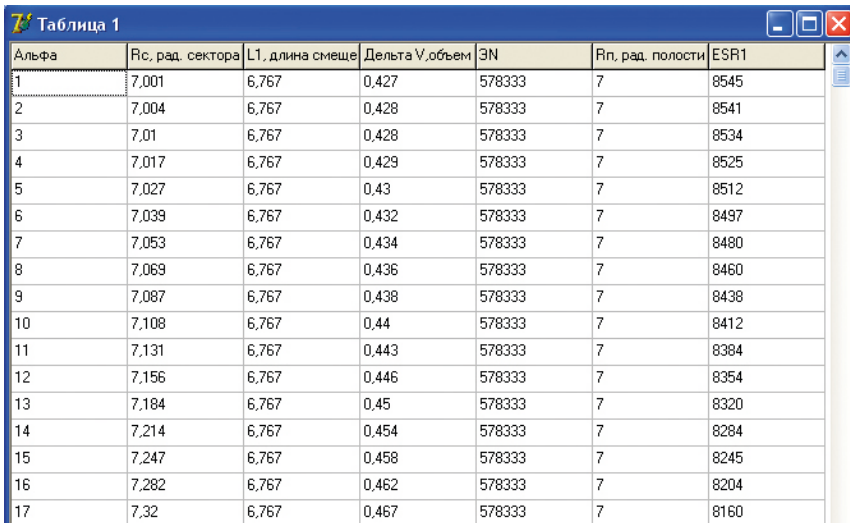


Рис. 8.4.1. Главное меню программы «Энергия-3»

Каждый столбец таблицы отображает угловой сектор, разделенный на малые объемы размером 10 на 10 см, которые представлены табличной ячейкой, заполненной численным значением плотности энергии. Горизонтальная координатная ось отражает значения углов, а вертикальная – расстояние от центра скважинного заряда до границы обсчитываемого объема.

На основе предыдущих результатов вычислений и таблицы распределения плотности энергии в секторах осуществляется построение числовых матриц и заполнение их численными значениями плотностей энергии.

Рассчитываются четыре числовые матрицы, сумма которых образует итоговую числовую матрицу, отражающую распределение плотностей энергии квазистатической фазы процесса.



Альфа	Rс, рад. сектора	L1, длина смеше	Дельта V, объем	ЭН	Rп, рад. полости	ESR1
1	7,001	6,767	0,427	578333	7	8545
2	7,004	6,767	0,428	578333	7	8541
3	7,01	6,767	0,428	578333	7	8534
4	7,017	6,767	0,429	578333	7	8525
5	7,027	6,767	0,43	578333	7	8512
6	7,039	6,767	0,432	578333	7	8497
7	7,053	6,767	0,434	578333	7	8480
8	7,069	6,767	0,436	578333	7	8460
9	7,087	6,767	0,438	578333	7	8438
10	7,108	6,767	0,44	578333	7	8412
11	7,131	6,767	0,443	578333	7	8384
12	7,156	6,767	0,446	578333	7	8354
13	7,184	6,767	0,45	578333	7	8320
14	7,214	6,767	0,454	578333	7	8284
15	7,247	6,767	0,458	578333	7	8245
16	7,282	6,767	0,462	578333	7	8204
17	7,32	6,767	0,467	578333	7	8160

Рис. 8.4.2. Таблица основных параметров квазистатической фазы

Все числовые матрицы имеют схожую структуру и размеры с матрицами, создаваемыми предыдущими программами комплекса. Заполнение числовых матриц значениями плотности энергии осуществляется по индивидуальному принципу, отражающему предложенную физическую модель передачи энергии взрыва квазистатической фазы процесса и полученный на ее основе расчетный метод.

Создание и заполнение первой числовой матрицы программы «Энергия-3» осуществляется процедурой, инициируемой клавишей «Матрица 9». Фрагмент рассчитываемой матрицы, который отображает распределение плотностей энергии, формирующееся под воздействием первого скважинного заряда в пределах объема I, представлен на рис. 8.4.4.

Принципиальная схема построения распределения плотностей энергии квазистатической фазы в отбиваемом объеме подробно изложена в расчетном методе. Путем комбинирования, суммирования и зеркального отображения числовой матрицы (рис.8.4.4) составляются последующие матрицы для расчетных объемов I и II.

Таблица 7

ан\альфа	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	19603484	19536900	19532024	19573688	19553060	19525526	19491176	19449920	19404080	19353656	19294064	19229888	19161128
4	14000655	13997381	13992470	13979375	13964642	13944999	13920445	13890981	13858242	13822229	13779669	13733835	13684727
5	10889992	10887446	10883626	10873440	10861981	10846702	10827604	10804686	10779221	10751210	10718105	10682455	10644258
6	8010303	8000220	8005094	8006700	8007304	80074003	8005256	80040504	80019609	8006750	8003664	8004034	8003241
7	7539004	7537241	7534597	7527545	7519612	7509035	7495813	7479947	7462318	7442926	7420009	7395328	7368885
8	6533985	6532468	6530176	6524064	6517189	6508021	6496562	6482811	6467532	6450726	6430863	6409473	6386555
9	5765420	5764071	5762049	5756667	5750690	5742501	5732390	5720256	5706775	5691945	5674419	5656544	5636322
10	5158314	5157108	5155298	5150473	5145046	5137808	5128762	5117906	5105844	5092576	5076895	5060008	5041915
11	4667140	4666048	4664411	4660046	4655135	4648587	4640402	4630580	4619666	4607661	4593474	4578195	4561825
12	4261372	4260376	4258881	4254895	4250411	4244432	4236959	4227991	4218026	4207065	4194111	4180160	4165213
13	3920307	3919421	3918046	3914379	3910253	3904753	3897070	3889627	3880460	3870376	3859450	3845625	38301074
14	3629997	3629149	3627875	3624480	3620660	3615567	3609201	3601562	35939074	3583737	3572702	3560818	3548086
15	3379697	3378907	3377722	3374560	3371004	3366262	3360335	3353222	3345319	3336626	3326362	3315288	3303434

Рис. 8.4.3. Таблица распределения плотности энергии в секторах

Энергия4 Половина ширины воронки

0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	714399	713813	713813	713060	711973	710718	709296	707624
2	724983	724389	724389	723625	722521	721248	719805	718107
3	735895	735281	734506	734506	733396	732094	730629	728906
4	747119	746507	745720	745720	744502	743270	741703	740034
5	758703	758081	757282	757282	756127	754794	753284	751508
6	770651	770019	769207	768034	768034	766681	765147	763342
7	782981	782339	781514	780323	780323	778947	777389	775556
8	795713	795061	794222	793011	791614	791614	790030	788167
9	808865	808202	807350	806119	804638	803088	801394	801194
10	822459	821785	820918	819667	818222	816585	814659	812659
11	836518	835832	834951	833678	832209	830544	828585	826430
12	851067	850369	849472	848177	846682	844998	842996	840803
13	866130	865420	864507	863189	861668	859944	857916	855685
14	881735	881013	880084	878742	877193	875438	873373	871102
15	897915	897179	896233	894866	893289	891502	889399	887086
16	914698	913948	912984	911592	909986	908165	906023	903667

Рис. 8.4.4. Фрагмент числовой матрицы, отражающий распределение плотности энергии квазистатической фазы от первого заряда

Процедура формирования и заполнения зеркально отраженной матрицы, которая отражает влияние крайнего заряда в ряду на расчетный объем I, выполняется нажатием клавиши «Матрица 10». Матрица 10 формируется путем создания новой числовой матрицы и переносом значений плотностей энергии из матрицы 9 с измененными координатами ячеек.

При условии равенства расстояния между скважинными зарядами половине ширины воронки выброса, формирующейся к моменту начала прорыва продуктов детонации в атмосферу, объем зоны существенного влияния первого скважинного заряда равен расчетному объему I. Для построения итогового распределения плотности энергии необходимо просуммировать три числовые матрицы.

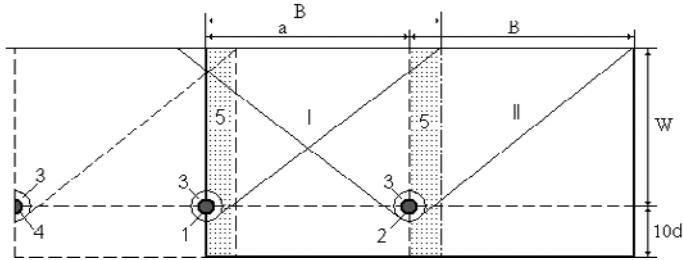


Рис. 8.4.5. Итоговая схема распределения плотностей энергии квазистатической фазы взрыва

При уменьшении расстояния между скважинными зарядами в ряду следующий заряд в ряду после первого скважинного заряда, обозначенный на рис. 8.4.5 цифрой 4, оказывает влияние на формирующееся распределение плотности энергии в объеме I. Это обстоятельство является особенностью распределения плотности энергии квазистатической фазы взрыва. Фрагмент зоны существенного влияния следующего скважинного заряда равен фрагменту, образуемому при сближении зарядов в объеме II. Фрагмент является частью зоны существенного влияния первого скважинного заряда и выделен на рис. 8.4.5 цифрой 5, а его размер по обнаженной поверхности равен разности полуширины воронки выброса и расстояния между скважинными зарядами 1 и 2. Построение данного фрагмента осуществляется путем формирования отдельной числовой матрицы 13 и занесением в нее числовых значений плотности энергии из матрицы 9, а для построения итогового распределения плотностей энергии требуется сумма четырех числовых матриц.

Планограммы распределения плотностей энергии, сформировавшейся под действием первого заряда, представлены на рис. 8.4.6. В соответствии с принятой нами моделью первый заряд не оказывает влияния на расчетный объем II, что показано на рис. 8.4.6. Распределение плотностей энергии, сформировавшееся под действием второго заряда, представлено в виде планограмм на рис. 8.4.7.

Итоговое распределение плотностей энергии послеволновой фазы рассчитывается путем суммирования всех числовых матриц. Планограммы распределения плотностей энергии послеволновой фазы, рассчитанные для объемов I и II, представлены на рис. 8.4.8.

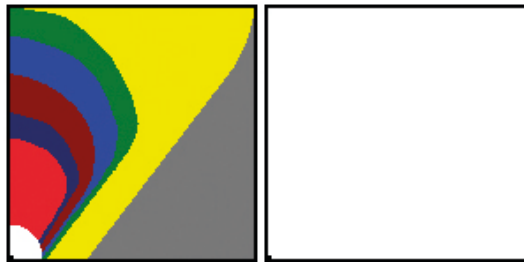


Рис. 8.4.6. Планограммы распределения плотностей энергии квазистатической фазы, сформировавшейся под воздействием первого скважинного заряда: а – расчетный объем I; б – расчетный объем II

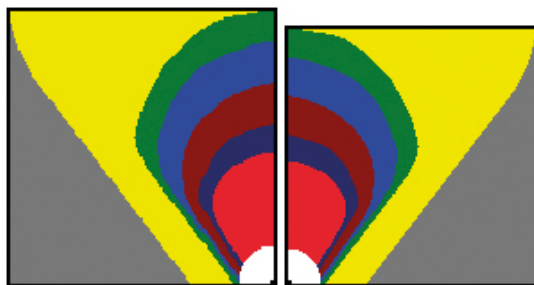


Рис. 8.4.7. Планограммы распределения плотностей энергии квазистатической фазы, сформировавшейся под воздействием второго скважинного заряда: *а* – расчетный объем I; *б* – расчетный объем II



Рис. 8.4.8. Планограммы распределения плотностей энергии квазистатической фазы: *а* – расчетный объем I; *б* – расчетный объем II

Для контроля правильности заполнения числовых матриц в алгоритме программы предусмотрены две проверочные таблицы, создание и заполнение которых инициируется клавишей «Таблица 1», а их фрагменты показаны на рис. 8.

Таблицы имеют размер числовых матриц, создаваемых в программе «Энергия-3».

Первая таблица содержит распределение угловых значений секторов, в которых находятся соответствующие ячейки числовой матрицы.

Контрольные таблицы													
ТАБЛИЦА УГЛОВ													
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
8	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
11	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
12	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
13	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
14	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
15	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
16	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
17	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ТАБЛИЦА РАДИУСОВ													
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
1	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69
2	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68
3	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67
4	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66
5	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65
6	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
7	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
8	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62
9	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61
10	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
11	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59
12	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58
13	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
14	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56
15	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
16	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
17	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53

Рис. 8.4.9. Контрольные таблицы

Итогом работы программы является впервые полученное распределение плотностей энергии взрыва и построенные на их основе планограммы распределения плотностей энергии квазистатической фазы развития физического процесса.

Компьютерная программа «Энергия-2» запатентована патентом группой разработчиков.

Компьютерная программа «Энергия-3» в полном объеме представлена в приложении монографии. Приложение 4.

8.5. Распределение энергии разрушения всех фаз процесса по площадям

Для объединения всех предыдущих программ и придания им вида комплексного решения задачи моделирования процесса передачи энергии взрыва в массив горных пород нами была разработана программа «Энергия-10». Экранный вид главного меню программы представлен на рис. 8.5.1.

В главном меню программы размещены клавиши: «Энергия-1», «Энергия-2», «Энергия-3», при помощи которых осуществляется вызов соответствующих программ комплекса для последующей работы с ними.

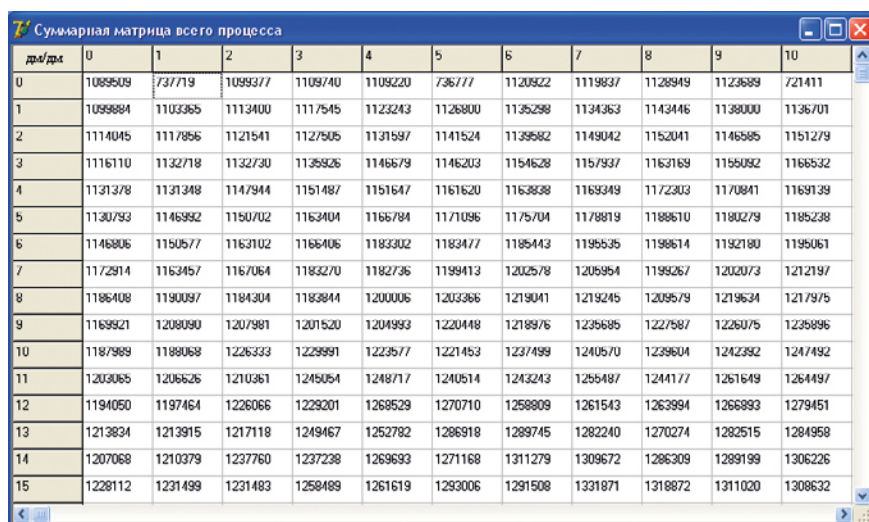
В соответствии с предложенной моделью физического процесса все распределения плотностей энергии взрыва рассматриваемых фаз сопрягаются и накладываются друг на друга во времени и пространстве. Завершенный процесс передачи энергии взрыва в зону технологического дробления породы отображает распределение плотностей энергии, полученное путем суммирования численных значений плотностей всех фаз процесса.

Энергия-1	737460	Критерий зоны регулируемого дробления
	361410	Критерий зоны нерегулируемого дробления
Энергия 2	98	Плывм двух участков м³
	49	Объем участка I, м³
Энергия-3	49	Объем участка II, м³
	48,3	Объем зоны регулируемого дробления, участок I м³
	0,7	Объем зоны нерегулируемого дробления, участок I м³
СУММАРНАЯ МАТРИЦА 12	99	Объем зоны регулируемого дробления, участок I, %
	1	Объем зоны нерегулируемого дробления, участок I, %
СУММАРНАЯ ПЛАНОГРАММА 12	19,98	Плывм зоны регулируемого дробления, участок II, м³
	15,98	Объем зоны нерегулируемого дробления, участок II, м³
	13,04	Зона несущественного влияния, участка II, м³
Расчет1	56	Объем зоны регулируемого дробления, участок II %
Расчет2	44	Объем зоны нерегулируемого дробления, участок II %

Рис. 8.5.1. Главное меню программы «Энергия-10»

В данном случае суммарное распределение составляется путем суммирования трех итоговых числовых матриц, камуфлетной, волновой и квазистатической фаз. При помощи клавиши «Итоговая матрица 12» осуществляется процедура вызова из памяти всех рассчитанных итоговых числовых матриц и их сложение на основе вновь создаваемой матрицы. Фрагмент суммарной числовой матрицы представлен на рис. 8.5.2.

Процедура, обозначенная клавишей «Итоговая планограмма 12», осуществляет обработку полученной суммарной числовой матрицы всего процесса путем цветовой дифференциации числовых значений плотности энергии и осуществляет построение суммарных планограмм. На рис. 8.5.3 представлены суммарные планограммы, рассчитанные для объема между двумя соседствующими скважинными зарядами в ряду и отображающие влияние крайнего заряда в ряду соответственно.



дм/дм	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	1089509	737719	1099377	1109740	1109220	736777	1120922	1119837	1128949	1123689	721411
1	1099884	1103365	1113400	1117545	1123243	1126800	1135298	1134363	1143446	1138000	1136701
2	1114045	1117856	1121541	1127505	1131597	1141524	1139582	1149042	1152041	1146585	1151279
3	1116110	1132718	1132730	1136926	1146679	1146203	1154628	1157937	1163169	1155092	1168532
4	1131378	1131348	1147944	1151487	1151647	1161620	1163838	1169349	1172303	1170841	1169139
5	1130793	1146992	1150702	1163404	1166784	1171096	1175704	1178819	1188610	1180279	1185238
6	1146806	1150577	1163102	1166406	1183302	1183477	1185443	1195535	1198614	1192180	1195061
7	1172914	1163457	1167064	1183270	1182736	1199413	1202578	1205954	1199267	1202073	1212197
8	1186408	1190097	1184304	1183844	1200006	1203366	1219041	1219245	1209579	1219634	1217975
9	1169921	1208090	1207981	1201520	1204993	1220448	1218976	1235685	1227587	1226075	1235896
10	1187989	1188068	1226333	1229991	1223577	1221453	1237499	1240570	1239604	1242392	1247492
11	1203065	1206626	1210361	1245054	1248777	1240514	1243243	1255487	1244177	1261649	1264497
12	1194050	1197464	1226066	1229201	1269529	1270710	1259809	1261543	1263994	1266993	1279451
13	1213834	1213915	1217118	1249467	1252782	1286918	1289745	1282240	1270274	1282515	1284958
14	1207068	1210379	1237760	1237238	1269693	1271168	1311279	1309672	1286309	1289199	1306226
15	1228112	1231499	1231483	1258489	1261619	1293006	1291508	1331871	1318872	1311020	1308632

Рис. 8.5.2. Фрагмент суммарного распределения плотностей энергии взрыва

Процедура, обозначенная клавишей «Итоговая планограмма 12», осуществляет обработку полученной суммарной числовой матрицы всего процесса путем цветовой дифференциации числовых значений плотности энергии и осуществляет построение суммарных планограмм. На рис. 8.5.4 представлены суммарные планограммы, рассчитанные для объема между двумя соседствующими скважинными зарядами в ряду и отображающие влияние крайнего заряда в ряду соответственно.

Вторая таблица заполнена численными значениями радиусов, расстояний от центра скважинного заряда до конкретной ячейки матрицы. Для каждой конкретной ячейки числовой матрицы можно определить угол сектора и расстояние от нее до центра взрыва.

Используя координатные оси, можно определить угловой сектор и расстояние до конкретной ячейки числовой матрицы с использованием таблицы распределения численных значений плотностей энергии по секторам.

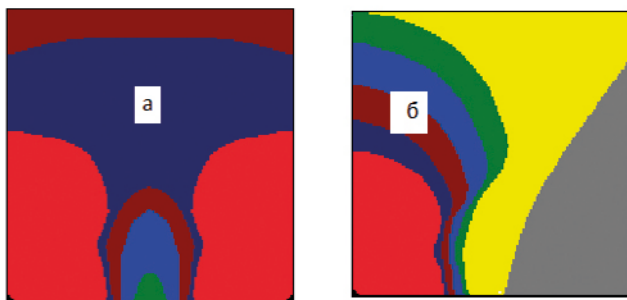


Рис. 8.5.3. Планограммы распределения плотностей энергии разрушения квазистатической фазы: *а* – расчетный объем I; *б* – расчетный объем II

Предложенный расчетный метод включает в себя определение численных критериев границ зоны нерегулируемого дробления. Эта процедура выполняется путем нажатия клавиши «Расчет 1». Программа определяет по полученной суммарной числовой матрице два численных критерия для внешней и внутренней границы зоны нерегулируемого дробления. Полученные значения заносятся в диалоговые ячейки главного меню программы. Программа осуществляет расчет обсчитываемых участков, полученный результат также выводится в диалоговые ячейки главного меню.

В соответствии с предложенными критериями определения границ зоны нерегулируемого дробления программа осуществляет расчет объемов зоны регулируемого и нерегулируемого дробления. Процедура вычисления активизируется путем нажатия клавиши «Расчет 2». Результаты вычислений выводятся в диалоговых ячейках, расположенных в окне главного меню программы. Отношение зон регулируемого и нерегулируемого дробления, в процентном соотношении и в кубических метрах также выводится в диалоговых ячейках главного меню.

Как большинство современных компьютерных программ, «Энергия-10» снабжена процедурой помощи пользователю, которая инициируется клавишей «Помощь». Процедура осуществляет вывод диалогового окна, содержащего инструкцию по использованию программ комплекса, показанную на рис. 8.5.4.

Результатом работы данной программы является конечная визуальная картина распределения плотностей энергии взрыва в массиве горных пород при взрыве скважинных зарядов. Данная программа представляет итог решения в виде диалоговых окон, в которых показаны распределения плотностей энергии на всех этапах развития процесса взрыва в массиве горных пород.

Представление численных значений плотности энергии в виде разноцветных планограмм облегчает их технологический анализ.

Реализация расчетного метода при помощи комплекса компьютерных программ «Энергия» дает возможность получить численные значения плотности энергии за несколько минут, несмотря на большое количество вычислений.

Цветовое отображение облегчает визуальное восприятие полученного решения и дает возможность быстро его анализировать.

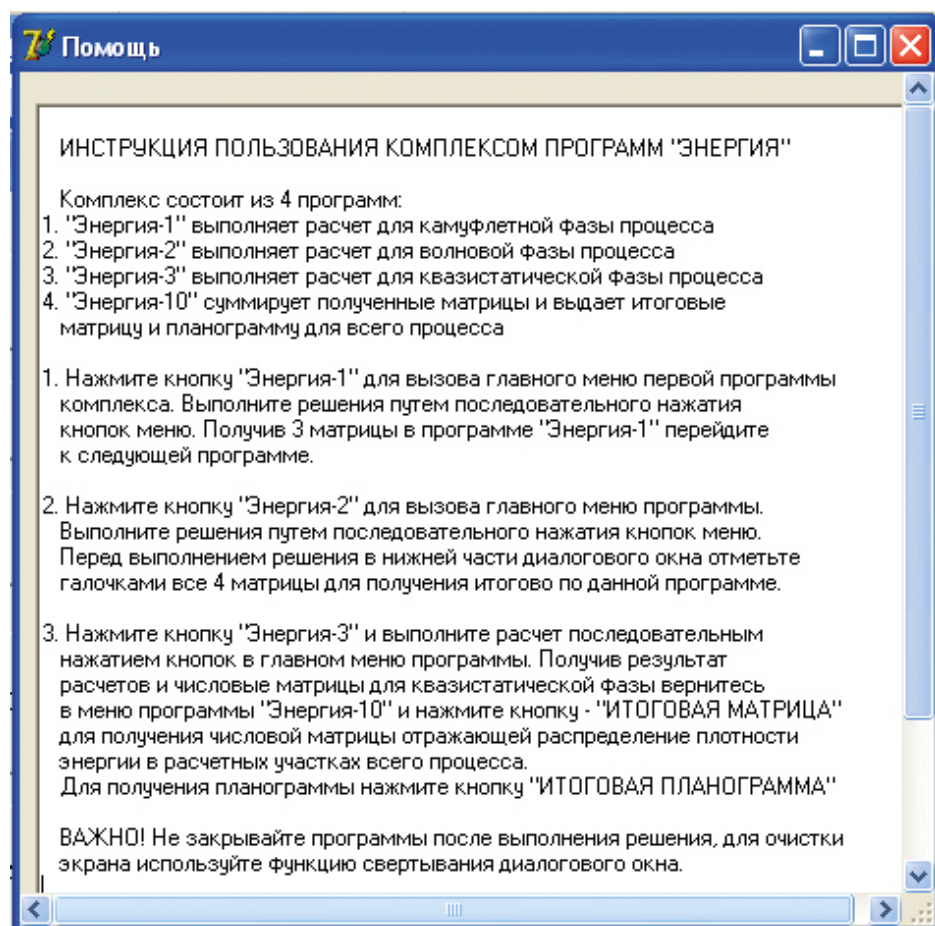


Рис. 8.5.4. Инструкция по использованию программ комплекса «Энергия»

Основной задачей программы «Энергия-10» является формирование общей базы данных, которая является доступной для всех программ комплекса. Интерфейс данной программы значительно облегчит работу с разработанным комплексом программ, что делает его более доступным. Программа имеет диалоговое окно «Исходные данные», которое является доступным для всех программ комплекса.

Компьютерная программа «Энергия-10» представлена в приложении монографии. Приложение 5. Защищена патентом группой разработчиков.

Глава 9. Распределение крупности дробления породы по площадям

9.1. Связь энергии дробления с размерами кусков породы

Дробление породы взрывом является одной из наиболее трудных проблем в изучении взрывных процессов. Предпринимались попытки рассчитывать крупность раздробленной породы по максимальным массовым скоростям, по максимальным напряжениям в волне напряжений, по интенсивности изменения этих параметров в волне напряжений. Но эти попытки не увенчались успехом.

Качество дробления породы взрывом самым непосредственным образом связано с распределением энергии взрыва в отбиваемом массиве горных пород. Оно связано с превращением неравномерно распределенной энергии взрыва в массиве в работу разрушения. Работа разрушения завершается процессом дробления породы. Численные характеристики раздробленной породы зависят от величины энергии разрушения в каждой точке отбиваемого массива.

Для решения проблемы расчета крупности дробления породы взрывом необходимо получить аналитические зависимости, связывающие параметры кусков породы с энергией разрушения, рассчитать поля распределения кусков по крупности в дробимом объеме и грансостав отбитой горной массы в средней цилиндрической зоне карьерного уступа. Эти исследования и разработки выполнены в основном И.Н. Лапиковым под научным руководством и при активном участии Н.Н. Казакова.

Таблица 1.

Объемы кусков и их поверхность по уровням дробления породы взрывом

i	V	S	V	S	V	S
0	0,882	8,03	7,056	32,12	23,814	72,27
1	0,104	4,42	0,833	17,69	2,810	39,81
2	0,012	2,44	0,098	9,74	0,332	21,92
3	0,0014	1,34	0,012	5,37	0,039	12,08
4	0,000171	0,74	0,00137	2,96	0,00462	6,65
5	0,0000202	0,41	0,000161	1,63	0,000545	3,66
6	0,00000238	0,22	0,0000190	0,90	0,0000643	2,02
7	0,000000281	0,12	0,00000225	0,49	0,00000759	1,11
8	0,0000000332	0,07	0,000000265	0,27	0,000000895	0,61
9	0,00000000391	0,04	0,0000000313	0,15	0,000000106	0,34
Всего	1	17,83	8	71,32	27	160,47
L	1		2		3	

В разработках использована гипотеза многоуровневого дробления породы взрывом, предложенная и разработанная Н.Н. Казаковым. По этой гипо-

тезе произведены расчеты объемов и поверхностей кусков породы на всех уровнях дробления для условных расчетных кубических объемов породы с длиной грани 1 м, 2 м и 3 м. Результаты этих расчетов представлены в таблице 1.

В первом столбце представлены уровни дробления породы от нулевого до девятого. Во втором, четвертом и шестом столбцах представлены объемы кусков, образовавшихся на каждом уровне дробления. В третьем, пятом и седьмом столбцах представлены суммарные поверхности кусков на каждом уровне дробления. Суммарный объем кусков на всех уровнях дробления представлены в предпоследней строке. Для объема с длинной грани, равной 1 м, он равен 1 м³. Для объема с длинной грани, равной 2 м, он равен 8 м³. Для объема с длинной грани, равной 3 м, он равен 27 м³.

В предпоследней строке представлены суммарные поверхности всех кусков для трех дробимых объемов. Для объема с длиной грани 1 м суммарная площадь поверхности кусков равна 17,8 м². Для объема с длиной грани 2 м суммарная площадь поверхности кусков равна 77,3 м². Для объема с длиной грани 3 м суммарная площадь поверхности кусков равна 160,8 м².

Суммарная поверхность кусков породы в любом дробимом объеме определяется по формуле

$$S = K_M \cdot d_{pk}^2, \quad (9.1.1)$$

где K_M – коэффициент вновь образованной поверхности при десятиуровневой гипотезе дробления породы взрывом; d_{pk} – максимальный линейный размер псевдокуба нулевого уровня дробления породы взрывом.

Коэффициент вновь образованной поверхности определяется по формуле

$$K_M = \frac{S}{d_{pk}^2}. \quad (9.1.2)$$

Подставив в формулу (9.1.2) численные значения суммарной поверхности из таблицы 1 определяем численные значения коэффициента K_M .

$$K_M = \frac{S}{L^2} = \frac{17,8}{1^2} = \frac{77,3}{2^2} = \frac{160,8}{3^2} \approx 18. \quad (9.1.3)$$

Подставив численное значение коэффициента $K_M = 18$ в формулу (1), получим формулу для определения величины вновь образованной поверхности при дроблении любого объема породы с длиной грани, равной d_{pk} , если дробление этого объема обеспечено энергетически.

$$S_{NP} = 18 \cdot d_{pk}^2. \quad (9.1.4)$$

Формула (9.1.4) позволяет рассчитать суммарную вновь образованную поверхность многочисленных разноразмерных кусков в условно выделенном дробимом объеме, если его дробление обеспечено энергетически.

Вновь образованную поверхность необходимо связать с энергией дробления и крупностью кусков, на которые условно выделенный объем дробится.

На образование новой поверхности необходимо затратить энергию разрушения, определяемую по формуле

$$E_p = e \cdot S_{NP} = 18 \cdot e \cdot d_{pk}^2, \quad (9.1.5)$$

где e – удельная энергия образования единицы новой поверхности.

Заменив энергию разрушения на плотность энергии разрушения, после подстановок в формулу (9.1.5) и преобразований получим формулу

$$d_{pk} = \frac{18 \cdot e}{PE}, \quad (9.1.6)$$

где PE – плотность энергии разрушения в окрестностях конкретной точки отбиваемого массива. По формуле (9.1.6) рассчитывается максимальный линейный размер псевдокуба нулевого уровня дробления при дроблении монолитного массива горных пород.

При дроблении трещиноватых горных пород необходимо учитывать уже имеющуюся до взрыва поверхность трещин. Поверхность кусков породы в 1 м^3 с учетом наличия поверхности трещин определяется по формуле

$$S_c = S_{NP} + S_T = \frac{PE}{e} + S_T, \quad (9.1.7)$$

где S_T – поверхность естественных трещин в одном кубометре дробимого объема.

Максимальный линейный размер псевдокуба нулевого уровня дробления при дроблении трещиноватых пород определяется по формуле

$$d_{pk} = \frac{18 \cdot e}{PE + e \cdot S_T}. \quad (9.1.8)$$

Формула (9.1.8) аналитически связывает энергию разрушения, выраженную через плотность энергии в дробимом объеме, свойства горных пород и горного массива, выраженные через удельную энергию образования единицы новой поверхности и удельную трещиноватость массива, крупность раздробленного материала, выраженную через максимальный линейный размер псевдокуба нулевого уровня дробления.

Энергетическая обеспеченность дробления условно выделенного объема определяется условием

$$d_{pk} \leq L,$$

где L – длина грани условно выделенного дробимого объема породы.

9.2. Расчетный метод определения крупности дробления породы

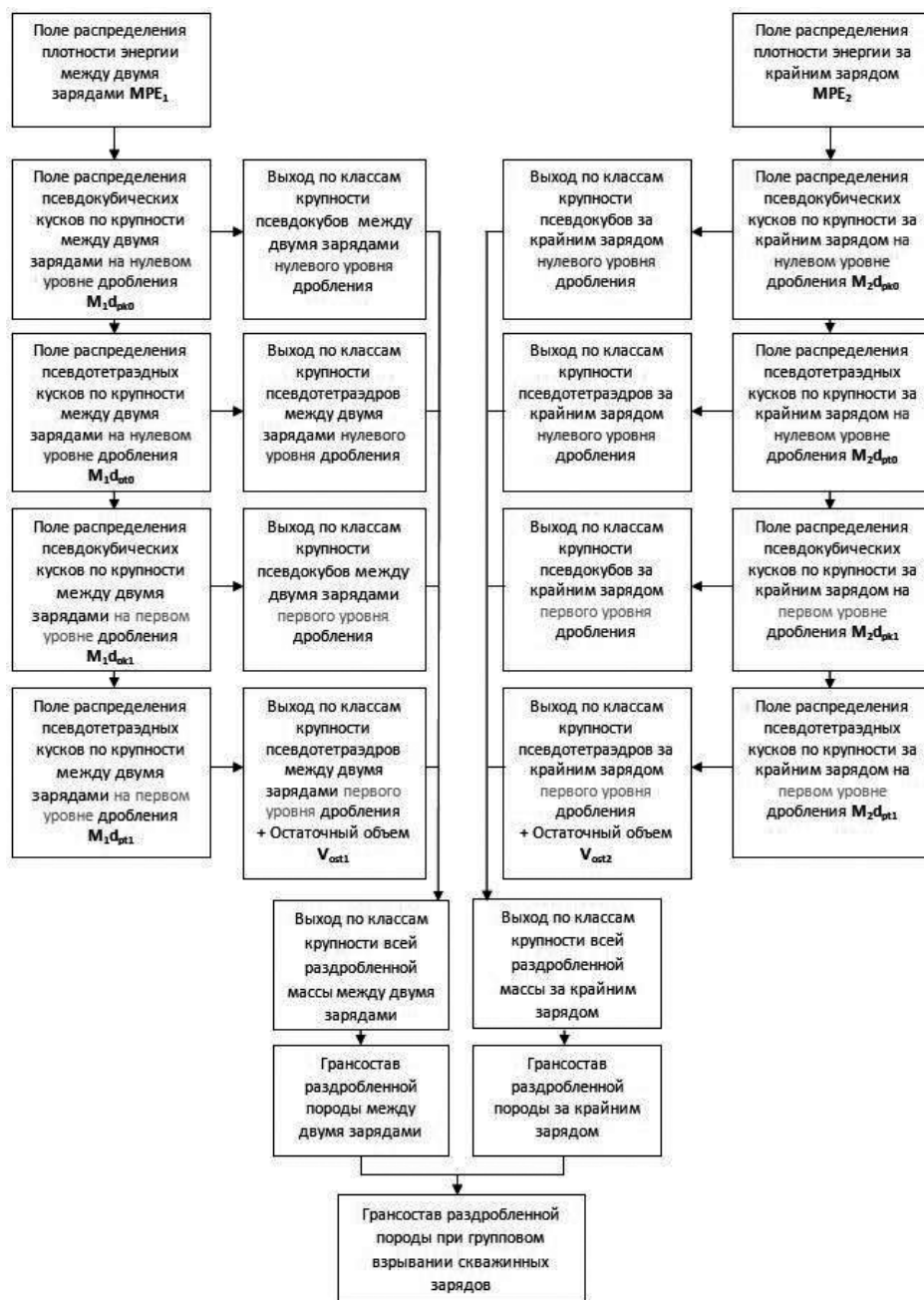


Рис. 9.2.1. Схема расчетного метода

Дробление условно выделенного объема энергетически обеспечено, если его грань равна или меньше максимального линейного размера псевдокуба нулевого уровня дробления. Если грань выделенного дробимого объема меньше d_{pk} , дробление выделенного объема энергетически не обеспечено, необходимо увеличивать выбранный дробимый объем. Если выделенный дробимый объем превосходит зону отбойки, то порода не дробится на куски, в ней только развивается система трещин.

Используя рассчитанный максимальный размер псевдокуба нулевого уровня дробления, можно рассчитать все параметры раздробленной породы в условно выделенном объеме при десятиуровневой гипотезе дробления породы взрывом.

Определением крупности дробления породы являются два поля распределения плотностей энергии взрыва — поле распределения плотности энергии между двумя зарядами и поле распределения плотности энергии за крайним зарядом. Эти поля представляют собой матрицы (MPE_1 и MPE_2) значений плотности энергии взрыва в двух расчетных зонах, которые являются частью отбиваемого взрывом массива. Такое количество расчетных зон обусловлено тем, что их комбинированием возможно составить полное поле распределения плотности энергии при групповом взрывании скважинных зарядов на блоке карьера. Поля распределения плотности энергии взрыва рассчитаны с использованием комплекса компьютерных программ «Энергия», разработанных А.В. Шляпиным под руководством Н.Н. Казакова.

На рис. 9.2.1 представлена схема разработанного расчетного метода определения крупности дробления породы при групповом взрывании скважинных зарядов в карьерах.

По каждому из двух полей распределения плотности энергии взрыва рассчитываются по четыре поля распределения кусков породы по крупности. С использованием формулы (9.1.8) по матрице MPE_1 рассчитывается поле распределения кусков псевдокубической формы по крупности на нулевом уровне дробления в зоне между зарядами, представленное матрицей $M_1 d_{pk0}$.

Для расчета поля распределения кусков псевдотетраэдрной формы по крупности на нулевом уровне дробления в зоне между зарядами, представленное матрицей $M_1 d_{pt0}$, используется формула (9.1.7) и значения из матрицы $M_1 d_{pk0}$.

Расчет поля распределения кусков псевдокубической формы по крупности на первом уровне дробления в зоне между зарядами, представленное матрицей $M_1 d_{pk1}$, осуществляется с помощью формул (9.2.9), (9.2.5) и (9.2.6) с использованием матрицы $M_1 d_{pk0}$.

Поле распределения кусков псевдотетраэдрной формы по крупности на первом уровне дробления в зоне между зарядами, представленное матрицей $M_1 d_{pt1}$, рассчитывается с использованием матрицы $M_1 d_{pk1}$ и формулы (9.2.7).

Принцип определения четырех полей распределения кусков по крупности в зоне за крайним зарядом идентичен принципу определения четырех полей распределения кусков по крупности в зоне между зарядами.

С использованием формулы (9.2.8) и матрицы MPE_2 рассчитывается поле распределения кусков псевдокубической формы по крупности на нулевом

уровне дробления в зоне за крайним зарядом, представленное матрицей $M_2 d_{pk0}$.

Используя формулу (9.2.7) и матрицу $M_2 d_{pk0}$, рассчитывается поле распределения кусков псевдотетраэдрной формы по крупности на нулевом уровне дробления в зоне за крайним зарядом, представленное матрицей $M_2 d_{pt0}$.

Суммарный объем раздробленной взрывом породы на нулевом и первом уровнях дробления составляет 97,8% от объема всей раздробленной горной массы. На последующих уровнях дробления образуются куски мелких размеров при небольшом выходе горной массы, которые с технологической точки зрения априори попадают в самый технологически мелкий класс крупности. Поэтому поля распределения кусков по крупности рассчитываются только по нулевому и первому уровням дробления породы.

Классы крупности задаются парой граничных по размеру кусков. После определения размера куска в каждом расчетном объеме определяется класс крупности, в который он попадает по условию

$$d_j < d_k \leq d_{j+1},$$

где d_k – линейный размер куска в поле распределения по крупности; d_j – минимальный размер данного класса; d_{j+1} – максимальный размер данного класса.

Расчетный объем закрашивается в заданный цвет класса.

Выход горной массы по классам крупности для кусков псевдокубической формы нулевого уровня дробления определяется по формуле

$$V_{kk0} = 0,762 \cdot \sum \Delta V_{pkk}. \quad (9.2.1)$$

С использованием данной формулы по матрице $M_1 d_{pk0}$ рассчитывается таблица выхода горной массы по классам крупности для кусков псевдокубической формы нулевого уровня в зоне между зарядами.

Значение выхода горной массы по классам крупности куска псевдокубической формы первого уровня дробления определяется по формуле

$$V_{kk1} = 0,09 \cdot \sum \Delta V_{pkk}. \quad (9.2.2)$$

Используя эту формулу по матрице $M_1 d_{pk1}$, рассчитывается таблица выхода горной массы по классам крупности для кусков псевдокубической формы первого уровня в зоне между зарядами.

Выход горной массы по классам крупности для кусков псевдотетраэдрной формы нулевого уровня дробления рассчитывается по формуле

$$V_{kk0t} = 0,12 \cdot \sum \Delta V_{pkk}. \quad (9.2.3)$$

С использованием этой формулы и значений, выбираемых из матрицы $M_1 d_{pt0}$, рассчитывается таблица выхода горной массы по классам крупности для кусков псевдотетраэдрной формы нулевого уровня в зоне между зарядами.

Выход горной массы по классам крупности из расчетного объема для кусков псевдотетраэдрной формы первого уровня дробления определяется по формуле

$$V_{kk1t} = 0,014 \cdot \sum \Delta V_{pkk}. \quad (9.2.4)$$

С использованием этой формулы и значений, выбираемых из матрицы $M_{1d_{pt1}}$, рассчитывается таблица выхода горной массы по классам крупности для кусков псевдотетраэдрной формы первого уровня в зоне между зарядами.

Выход по классам крупности каждого расчетного объема суммируется с уже рассчитанным объемом выхода горной массы по этому классу крупности.

Выход горной массы по классам крупности в зоне между зарядами определяется суммированием выходов горной массы по четырем таблицам для зоны между зарядами.

Таблица суммарного выхода горной массы по классам крупности в этой зоне рассчитывается по формуле

$$V_{j1} = V_{kk0} + V_{kk1} + V_{kk0t} + V_{kk1t}. \quad (9.2.5)$$

Остаточный объем раздробленной породы в зоне между зарядами рассчитывается по формуле 9.2.5. Полученное значение суммируется с выходом горной массы самого мелкого класса крупности в зоне между зарядами.

$$\overline{V_{j1}} = V_{j1} + V_{o1}. \quad (9.2.6)$$

Процедура суммирования выходов горной массы по классам крупности для зоны за крайним зарядом аналогична процедуре суммирования выходов горной массы по классам крупности для зоны между зарядами.

С использованием формулы 9.2.1 и численных значений максимального линейного размера из матрицы $M_{2d_{pk0}}$ рассчитывается таблица выхода горной массы по классам крупности для кусков псевдокубической формы нулевого уровня в зоне за крайним зарядом.

По значениям, выбираемым из матрицы $M_{2d_{pk1}}$, с использованием формулы (9.2.2) рассчитывается таблица выхода горной массы по классам крупности для кусков псевдокубической формы первого уровня в зоне за крайним зарядом.

Таблица выхода горной массы по классам крупности для кусков псевдотетраэдрной формы нулевого уровня в зоне за крайним зарядом рассчитывается с использованием формулы 9.2.3 по матрице $M_{2d_{pt0}}$.

Используя формулу 9.2.4 и значения из матрицы $M_{2d_{pt1}}$ рассчитывается таблица выхода горной массы по классам крупности для кусков псевдотетраэдрной формы первого уровня в зоне за крайним зарядом.

Выход горной массы по классам крупности в зоне за крайним зарядом определяется суммированием выходов горной массы по четырем таблицам для зоны за крайним зарядом. Таблица суммарного выхода горной массы по классам крупности в этой зоне рассчитывается по формуле

$$V_{j2} = V_{kk0} + V_{kk1} + V_{kk0t} + V_{kk1t}. \quad (9.2.7)$$

По формуле 9.2.9 рассчитывается остаточный объем породы в зоне за крайним зарядом. Полученное значение суммируется с выходом горной массы самого мелкого класса крупности в зоне за крайним зарядом.

$$\overline{V_{j2}} = V_{j2} + V_{o2}. \quad (9.2.8)$$

Комбинированием таблиц суммарного выхода горной массы по двум расчетным зонам с учетом количества и расположения скважинных зарядов рассчитывается суммарная таблица выхода горной массы по классам крупности при групповом взрывании скважинных зарядов.

Выход горной породы по классам крупности при групповом взрывании скважинных зарядов рассчитывается по формуле

$$V_{Ej} = V_{j1} \cdot c + V_{j2} \cdot I, \quad (9.2.9)$$

где V_{j1} – сумма объемов соответствующих классов псевдокубических и псевдотетраэдральных кусков в зоне между зарядами; c – количество зон между зарядами; V_{j2} – сумма объемов соответствующих классов псевдокубических и псевдотетраэдральных кусков в зоне за крайним зарядом; I – количество зон за крайним зарядом.

По суммарной таблице выхода горной массы по классам крупности при групповом взрывании скважинных зарядов рассчитывается гранулометрический состав отбитой горной массы.

Разработанный расчетный метод определения крупности раздробленной взрывом породы, основанный на использовании полей распределения плотности энергии, является оригинальным. Он может быть использован для определения качества дробления горной массы на горных предприятиях и может использоваться в качестве инструмента выбора рациональных параметров БВР.

По матрице $M_2 d_{pk0}$ с использованием формул 9.2.9, 9.2.5 и 9.2.6 рассчитывается поле распределения кусков псевдокубической формы по крупности на первом уровне дробления в зоне за крайним зарядом, представленное матрицей $M_2 d_{pk1}$.

Матрица $M_2 d_{pt1}$, являющаяся полем распределения кусков псевдотетраэдральной формы по крупности на первом уровне дробления в зоне за крайним зарядом, которая рассчитывается по формуле 9.2.7 с использованием матрицы $M_2 d_{pk1}$.

9.3. Интерфейс и схема выполняемых действий программы «Взрывдезинтеграция»

Разработанный расчетный метод определения качества дробления породы взрывом может быть реализован только на основе специально разработанных компьютерных программ. При расчетах необходимо оперировать очень большими числовыми массивами.

На основе разработанного расчетного метода определения качества дробления горной породы взрывом с использованием полученных нами аналитических зависимостей разработана компьютерная программа «Взрывдезинтеграция». Программа позволяет производить расчет полей распределения кусков раздробленной горной массы по крупности и рассчитывать по ним выход горной массы по классам крупности при групповом взрывании скважинных зарядов. Программа «Взрывдезинтеграция» разработчиками защищена патентом.

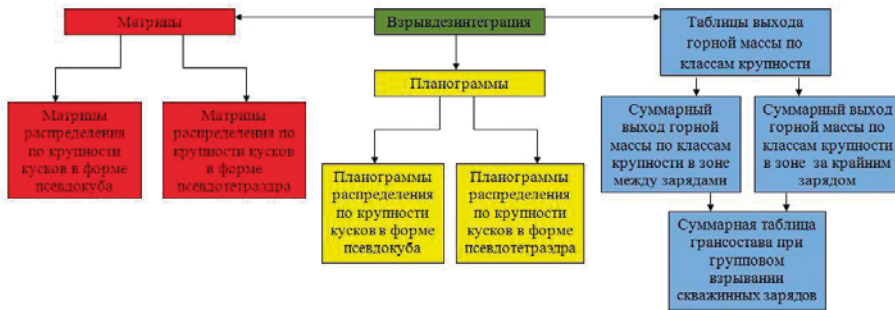


Рис. 9.3.1. Схематическое изображение интерфейса программы «Взрывдезинтеграция»

Управляющий интерфейс программы «Взрывдезинтеграция» реализован на основе вкладок. Преимущества такой реализации заключаются в фиксированных позициях всех графических элементов, таких как матрицы распределения крупности, планограммы, таблицы выхода горной массы по классам крупности, и отсутствии необходимости создания большого количества дополнительных окон, усложняющих доступ к другим частям программы.

Схематически интерфейс программы можно представить в виде древовидной структуры, представленной на рис. 9.3.1. В каждой из вкладок присутствует по несколько подчиненных групп вкладок.

Вкладка «Матрицы» содержит расчетные поля распределения псевдокубических и псевдотетраэдрных кусков раздробленной горной массы по крупности в зоне между зарядами и зоне за крайним зарядом.

В соответствии с разработанным расчетным методом по каждой из матриц распределения плотности энергии взрыва рассчитывается по четыре матрицы распределения кусков по крупности. По каждой матрице распределения кусков по крупности строится планограмма распределения.

На рис. 9.3.2 представлено схематическое изображение структуры вкладки «Матрицы распределения по крупности кусков в форме псевдокуба».

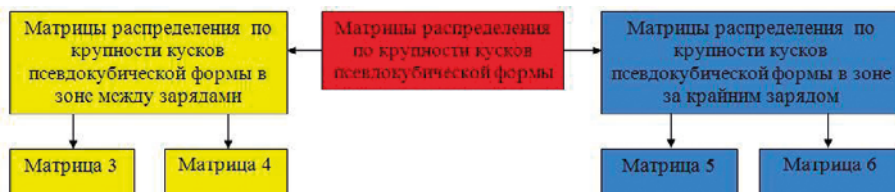


Рис. 9.3.2. Схема структуры вкладки «Матрицы распределения кусков в форме псевдокуба»

Вкладка включает в себя поле распределения кусков по крупности псевдокубической формы нулевого уровня дробления в зоне между зарядами, представленное матрицей 3, поле распределения кусков псевдокубической формы первого уровня дробления в зоне между зарядами, представленное матрицей 4, поле распределения кусков псевдокубической формы нулевого уровня дробления в зоне за крайним зарядом, представленное матрицей 5, поле распределения кусков псевдокубической формы первого уровня дробления в зоне за крайним зарядом, представленное матрицей 6.

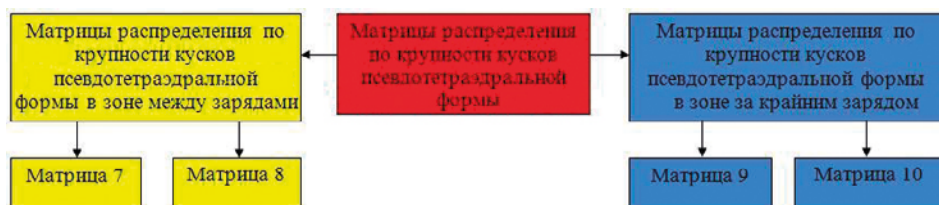


Рис. 9.3.3. Схема структуры вкладки «Матрицы распределения кусков в форме псевдотетраэдра»

В каждом поле распределения кусков по крупности для удобства восприятия больших числовых массивов цветом выделяются классы крупности.

На рис. 9.3.3 представлено схематическое изображение структуры вкладки «Матрицы распределения кусков в форме псевдотетраэдра».

Вкладка «Матрицы распределения по крупности кусков в форме псевдотетраэдра» включает в себя поле распределения кусков псевдотетраэдральной формы нулевого уровня дробления в зоне между зарядами, представленное матрицей 7, поле распределения кусков псевдотетраэдральной формы первого уровня дробления в зоне между зарядами, представленное матрицей 8, поле распределения кусков псевдотетраэдральной формы нулевого уровня дробления в зоне за крайним зарядом, представленное матрицей 9, поле распределения кусков псевдотетраэдральной формы первого уровня дробления в зоне за крайним зарядом, представленное матрицей 10. Цветом выделяются классы крупности.

На рис. 9.3.4 представлено схематическое изображение структуры вкладки «Планограммы».

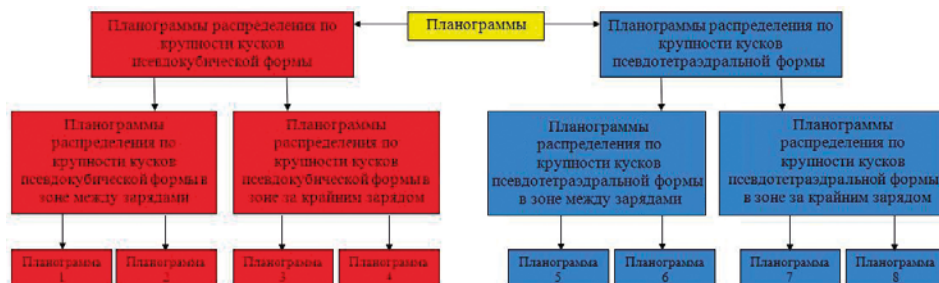


Рис. 9.3.4. Схема структуры вкладки «Планограммы»

Вкладка «Планограммы» включает в себя две группы подчиненных вкладок. Первая группа вкладок включает в себя планограммы распределения кусков псевдокубической формы нулевого и первого уровней дробления в зоне между зарядами и в зоне за крайним зарядом. Вторая группа вкладок включает в себя планограммы распределения кусков псевдотетраэдрной формы нулевого и первого уровней дробления в зоне между зарядами и в зоне за крайним зарядом.

Вкладка «Таблицы выхода горной массы по классам крупности» включает в себя таблицу суммарного выхода горной массы по классам крупности в зоне между зарядами, таблицу выхода горной массы по классам крупности в зоне за крайним зарядом, таблицу гранулометрического состава отбитой горной массы при групповом взрывании скважинных зарядов с расчетными классами от 0 до 1500 мм с шагом в 100 мм, таблицу гранулометрического состава отбитой горной массы при групповом взрывании скважинных зарядов с произвольно задаваемыми классами крупности.

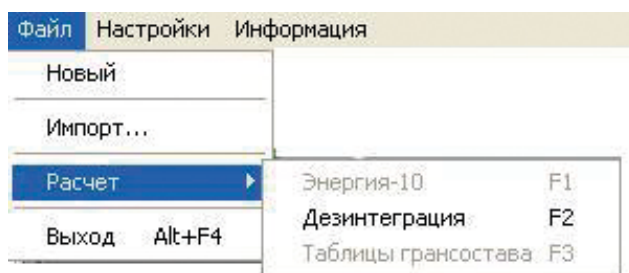


Рис. 9.3.5. Меню управления программой «Взрывдезинтеграция»

Непосредственное управление расчетными процедурами осуществляется при помощи главного меню программы, находящегося в верхней части окна программы (рис. 9.3.5), либо при помощи так называемых «горячих клавиш», что уменьшает количество дополнительных совершаемых действий для доступа к необходимым функциям и существенно ускоряет процедуру расчета. При относительно небольших размерах это меню обеспечивает полный контроль над всеми настройками и расчетными действиями программы «Взрывдезинтеграция».

Схему выполняемых действий программы «Взрывдезинтеграция» **можно условно разделить на четыре части. Первой частью является ввод исходных данных.** Вторая часть представлена расчетами полей распределения кусков по крупности. Третья часть является расчетом выходов горной массы и грансостава отбитой горной массы при групповом взрывании скважинных зарядов по расчетным классам крупности. Дополнительной, четвертой, стадией работы программы является расчет выходов по классам крупности и грансостава по произвольно заданным классам крупности.

Схема выполняемых действий программы «Взрывдезинтеграция» представлен на рис. 9.3.6. На нем изображена последовательность расчетных процедур и вывода результатов расчета.

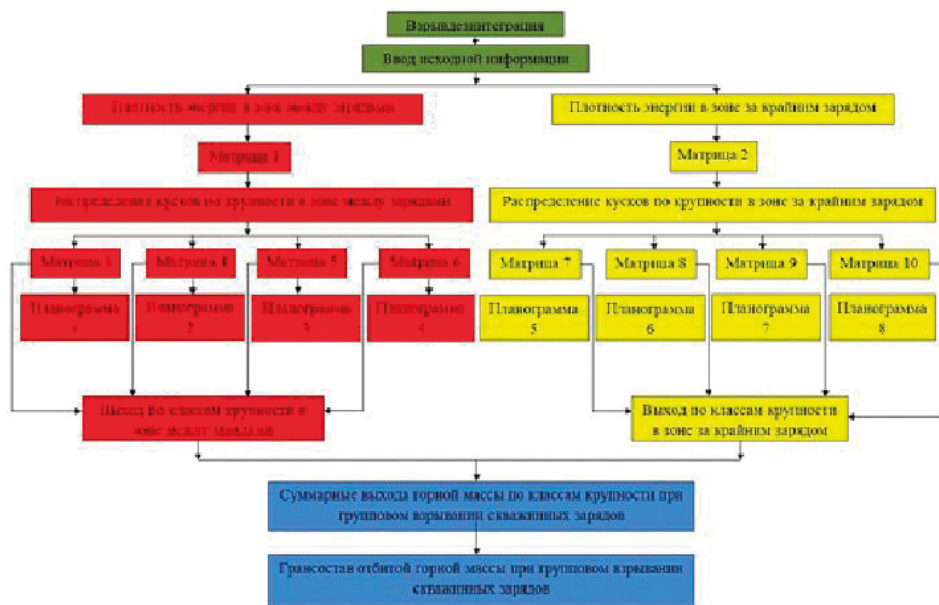


Рис. 9.3.6. Схема выполняемых действий программы «Взрывдезинтеграция»

Как видно из данного рисунка, часть программы «Взрывдезинтеграция» параллельно рассчитывает поля распределения псевдокубических и псевдотетраэдрных кусков для зоны между зарядами и для зоны за крайним зарядом. По завершении процедуры расчета полей распределения кусков по крупности сохраненные в оперативной памяти массивы значений передаются в процедуру расчета выходов горной массы. Производится параллельный расчет выхода горной массы по классам крупности в зоне между зарядами и выхода горной массы по классам крупности в зоне за крайним зарядом. После окончания процессов расчета выходов горной массы для двух зон вводятся дополнительные исходные данные в виде количества взрывающихся в ряду скважин и запускается процедура расчета выхода горной массы при групповом взрывании скважинных зарядов. По полученным результатам расчета выхода горной массы рассчитывается гранулометрический состав при групповом взрывании скважинных зарядов. Также возможно после окончания расчета грансостава изменить заданные изначально классы крупности и произвести расчет грансостава по произвольным классам крупности.

9.4. Расчет полей распределения кусков по крупности в зоне между двумя зарядами

Первым этапом расчета программой «Взрывдезинтеграция» является расчет полей распределения кусков по крупности в зоне между двумя зарядами.

В качестве иллюстрации представлены результаты расчета полей распределения кусков по крупности в зоне между зарядами при взрыве зарядов

тритила диаметром 250 мм в граните. Расстояние между скважинами и ЛНС равны 7 м.

Свойства гранита: объемный вес породы 2700 кг/м^3 ; предел прочности на сжатие 160 МПа; скорость продольной волны в граните 4000 м/с; модуль Юнга $5,6 \cdot 10^{10} \text{ кг/м}^2$; коэффициент Пуассона 0,23; предел прочности на растяжение 8 МПа.

Исходные данные в виде матриц значений плотностей энергии взрыва импортируются из программы А.В. Шляпина «Энергия-10».

Результатом работы программы по расчету полей распределения кусков по крупности в зоне между зарядами являются четыре поля распределения кусков по крупности.

Восемь рассчитанных полей распределения кусков по крупности, по четыре поля на участке между двумя зарядами и на участке за крайним зарядом, накладываются одно на другое с учетом мест их образования и суммируются. Образно говоря, наложенные одно на другое поля распределения кусков по крупности представляют собой «слоеный пирог».

Поля распределения кусков по крупности являются прекрасным материалом для детального анализа эффективности дробления породы взрывом в конкретных условиях взрывания. Детальный анализ можно выполнить еще до производства взрывных работ. При анализе можно выявить положение зон крупного дробления и разработать инженерные мероприятия по их ликвидации или, по крайней мере, по сокращению объема этих зон. Можно поиск инженерных мероприятий направить и на увеличение объема зон со средней крупностью дробления.

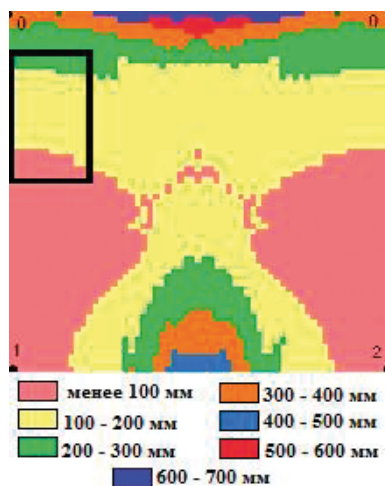


Рис. 9.4.1. Планограмма распределения по крупности псевдокубических кусков нулевого уровня дробления в зоне между зарядами

На планограмме видно, что максимальные линейные размеры кусков с удалением от заряда вдоль ЛНС увеличиваются, достигая примерно 900 мм у обнаженной поверхности. При удалении от заряда по линии 1-2 максимальные линейные размеры кусков породы возрастают более интенсивно. Зона

с большими линейными размерами кусков между зарядами при приближении к черным прямоугольникам на планеграмме отмечено положение фрагмента поля распределения по крупности псевдокубических кусков нулевого уровня дробления в зоне между зарядами, представленного на рис. 9.4.2.

Планеграмма распределения по крупности псевдокубических кусков первого уровня дробления в зоне между зарядами представлена на рис. 9.4.2. Аналогично предыдущей планеграмме точками 1 и 2 обозначены заряды ВВ, а прямая 0–0 является свободной поверхностью.

Цвета на планеграмме выделены зоны кусков разных размеров. Фрагмент поля распределения кусков по крупности (рис. 9.4.3) разбит на ячейки размером 10 на 10 см. В каждой ячейке указано численное значение максимального линейного размера псевдокубического куска в метрах. Для удобства восприятия расчетные элементы с линейными размерами псевдокубических кусков, входящих в один класс крупности, выделены одним цветом. Цвета выделенных классов в представленном фрагменте аналогичны цветам, использованным в планеграмме. Куски трех классов крупности: красным цветом выделены куски классом менее 100 мм,

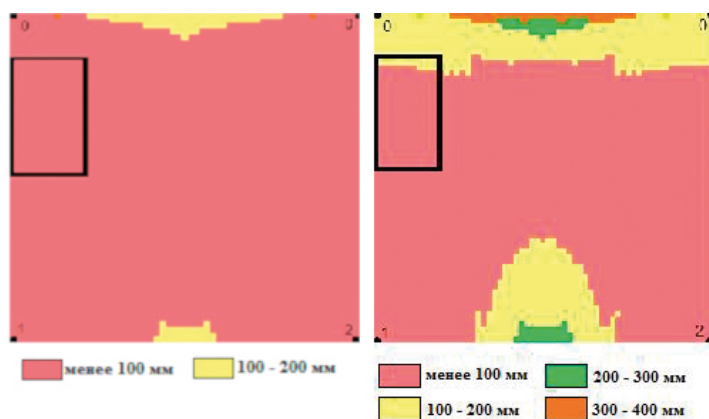


Рис. 9.4.2. Планеграммы распределения по крупности псевдокубических кусков первого и нулевого уровня дробления в зоне между зарядами

Желтым — 100–200 и зеленым 200–300. В верхней строке фрагмента представлена проекция на обнаженную поверхность распределения псевдокубических кусков нулевого уровня дробления по крупности в зоне между двумя зарядами. На представленном фрагменте цветами выделены расстояния до расчетного элемента от точки пересечения ЛНС с обнаженной поверхностью в дециметрах. В левом столбце фрагмента представлена проекция на ЛНС расстояния до расчетного элемента от точки пересечения ЛНС с обнаженной поверхностью в дециметрах. Из анализа рисунка следует, что при взрыве скважинных зарядов в данном фрагменте поля распределения кусков по крупности образуются куски с максимальными линейными размерами от 9 см в левом нижнем углу до 26 см в правом верхнем углу. Пользуясь линейками прокрутки на экране монитора можно просмотреть все поля распределения кусков по крупности.

Дм/Дм		1	2	3	4	5	6	7	8			9	10	11	12	13	14
9		0,26	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25			0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
10		0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25			0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,26
11		0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20			0,25	0,25	0,25	0,24	0,25	0,25
12		0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19			0,20	0,20	0,20	0,19	0,20	0,25
13		0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19			0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,20
14		0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18			0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
15		0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18			0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19
16		0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,18			0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
17		0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17			0,17	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18
18		0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17			0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
19		0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17			0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
20		0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16			0,16	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17

Рис. 9.4.3. Фрагмент поля распределения по крупности псевдокубических кусков нулевого уровня (в метрах) дробления в зоне между зарядами

Поле распределения по крупности псевдокубических кусков первого уровня дробления, как видно из данного рисунка, представлено двумя классами крупности — менее 100 мм и 100–200 мм.

На рис. 9.4.4 представлен фрагмент поля распределения по крупности псевдокубических кусков первого уровня дробления.

Положение этого фрагмента в поле распределения кусков по крупности выделено прямоугольником на правой части рис. 9.4.2.

Аналогично фрагменту поля распределения по крупности псевдокубических кусков нулевого уровня дробления данный фрагмент также разбит на ячейки размером 10 на 10 см, в которых указано значение в метрах максимального линейного размера псевдокубического куска.

Дм/Дм	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
9	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
10	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
11	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
12	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05
13	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
14	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
15	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
16	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
17	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
18	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
19	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
20	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
21	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
22	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
23	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
24	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03

Рис. 9.4.4. Фрагмент поля распределения по крупности псевдокубических кусков первого уровня дробления (в метрах) в зоне между зарядами

Куски одного класса крупности выделены цветом, соответствующим данному классу. Данный фрагмент поля содержит куски только одного класса крупности — менее 100 мм. Поэтому все ячейки этого фрагмента выделены одним красным цветом. Линейные размеры кусков в данном фрагменте варьируются от 2 см в левом нижнем углу до 6 см в правом верхнем.

На планеграмме распределения по крупности псевдотетраэдрных кусков нулевого уровня дробления в зоне между зарядами, изображенной на рис. 9.4.5, присутствуют куски с максимальными линейными размерами, входящими в четыре класса крупности: менее 100, 100–200, 200–300 и 300–400.

Дм/Дм	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
9	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
10	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13
12	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,12
13	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
14	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10
15	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
16	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
17	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
18	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09
19	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
20	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08

Рис. 9.4.5. Фрагмент поля распределения по крупности псевдотетраэдрных кусков нулевого уровня дробления (в метрах) в зоне между зарядами

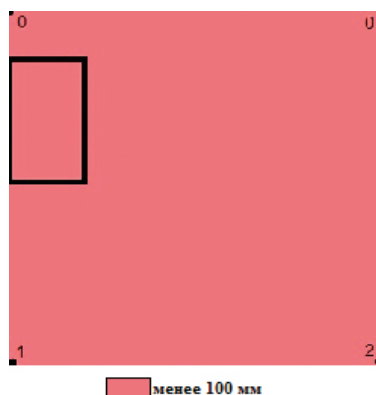


Рис. 9.4.6. Планеграмма распределения по крупности псевдотетраэдрных кусков первого уровня дробления в зоне между зарядами

Дм/Дм	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
9	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
10	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
11	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
12	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03
13	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
14	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
15	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
16	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
17	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
18	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
19	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
20	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
21	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
22	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
23	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
24	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
25	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
26	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02

Рис. 9.4.7. Фрагмент поля распределения по крупности псевдотетраэдрных кусков первого уровня дробления (в м) в зоне между зарядами

Цветовые обозначения классов крупности представлены под планограммой. Как следует из рисунка, наиболее крупные куски в данном поле образуются у обнаженной поверхности.

9.5. Расчет полей распределения кусков по крупности в зоне за крайним зарядом

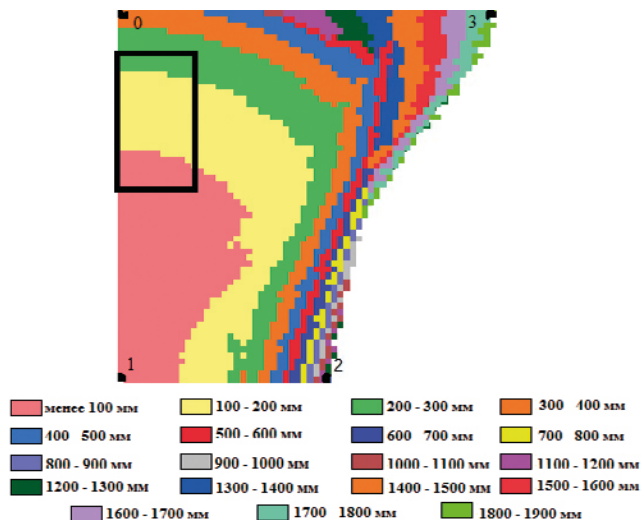


Рис. 9.5.1. Планограмма распределения по крупности псевдокубических кусков нулевого уровня дробления в зоне за крайним зарядом

Изображенная на рис. 9.4.6 планограмма распределения по крупности псевдотетраэдрных кусков первого уровня дробления в зоне между зарядами включает куски только одного класса крупности — менее 100 мм. Поэтому вся планограмма выделена одним красным цветом.

Расчетные элементы фрагмента поля распределения кусков по крупности, представленного на рис. 9.4.7, также выделены одним красным цветом. Из анализа прямоугольником, как и на предыдущих планограммах, обозначено положение фрагмента поля распределения по крупности псевдотетраэдрных кусков первого уровня дробления в зоне между зарядами. Данный фрагмент поля, изображенный на рис. 5, имеет аналогичное предыдущему представленному фрагменту разбиение на расчетные элементы.

Это распределение кусков является частью более сложного поля распределения. Оно используется в дальнейших расчетах. Поля распределения кусков по крупности в зоне между двумя зарядами являются частью необходимых исходных данных для программы расчета выхода горной массы по классам крупности при групповом взрывании скважинных зарядов.

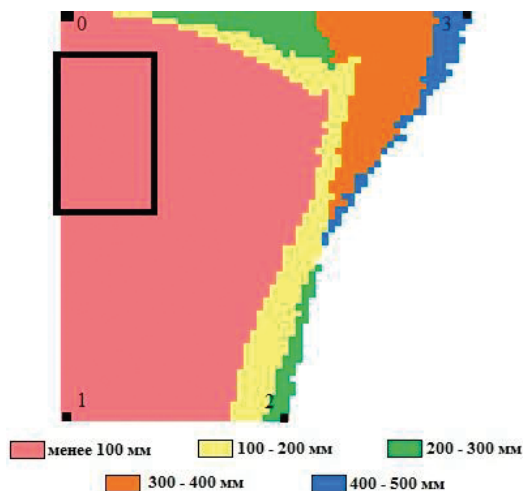


Рис. 9.5.2. Планограмма распределения по крупности псевдокубических кусков первого уровня дробления в зоне за крайним зарядом

Максимальные линейные размеры кусков, содержащихся в этих элементах, входят в два класса крупности: менее 100 мм (на рисунке выделены красным цветом), и 100-200 мм (выделены желтым цветом). Из этого фрагмента следует, что размеры кусков в данном фрагменте изменяются от 1 см в левом нижнем углу до 3 см в правом верхнем. По итогам расчета программой «Взрывдезинтеграция» полей распределения кусков по крупности в зоне между двумя зарядами получены результаты, по которым можно получить представление о качестве дробления породы в данной зоне.

В описанной зоне, как и во всех других зонах, раздробленная взрывом горная масса представляет собой смесь кусков разных размеров в любом месте дробимого объема.

Условное разделение этой единой дробленой массы на четыре поля принято с целью удобства выполнения расчетных процедур. Дальнейшие результаты расчетов представляются не в графических, а в табличных формах.

В отличие от взрыва в зоне между двумя скважинными зарядами, когда поля распределения плотности энергии суммируются друг с другом, при взрыве крайнего заряда имеется поле распределения плотности энергии только от одного заряда.

Линейные размеры кусков при взрыве крайнего заряда с удалением от его центра возрастают более интенсивно, чем при взрыве двух зарядов. На некотором расстоянии, где энергии для дробления породы уже не хватает, образуется граница, за которой происходит только развитие отдельных трещин. Этой границей является боковая поверхность воронки выброса.

Дм/Дм	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77
9	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,29
10	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,28
11	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,27
12	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,26
13	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
14	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,25
15	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,20
16	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19
18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
19	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18
20	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
21	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17
22	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
23	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
24	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16
25	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
26	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15
29	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10

Рис. 9.5.3. Фрагмент поля распределения по крупности псевдокубических кусков нулевого уровня дробления (в м) в зоне за крайним зарядом

Дм/Дм	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77
9	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07
10	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
11	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
12	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
13	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
14	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06
15	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05
16	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
17	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
18	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04

Дм/Дм	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77
19	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
20	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
21	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
22	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
23	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
24	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04

Рис. 9.5.4. Фрагмент поля распределения по крупности псевдокубических кусков первого уровня дробления (в м) в зоне за крайним зарядом

Зона раздробленной породы за крайним зарядом существенно отличается и по конфигурации, и по крупности дробления от зоны между двумя зарядами. Она меньше по площади, имеет криволинейную боковую поверхность воронки выброса. В этой зоне образуются более крупные куски породы. Данный этап расчета, выполняемый программой «Взрывдезинтеграция», необходим для получения второй важной части исходных данных для программы расчета выхода горной массы по классам крупности при групповом взрывании скважинных зарядов

Дм/Дм	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77
9	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
10	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14
11	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
13	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13
14	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,12
15	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
16	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10
17	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
18	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
19	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
20	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09
21	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
22	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
23	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
24	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
25	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08

Рис. 9.5.5. Фрагмент поля распределения по крупности псевдотетраэдрных кусков нулевого уровня дробления (в метрах) в зоне за крайним зарядом

На рис. 9.5.1 и 9.5.2 представлены результаты расчета полей распределения кусков по крупности в зоне за крайним зарядом при взрыве зарядов тротила диаметром 250 мм в граните.

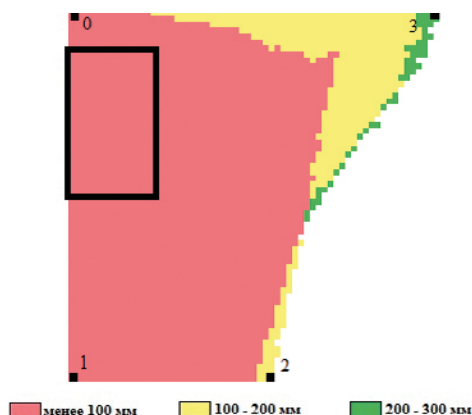


Рис. 9.5.6. Планограмма распределения по крупности псевдотетраэдрных кусков первого уровня дробления в зоне за крайним зарядом

Планограмма распределения псевдокубических кусков по крупности в расчетном участке за крайним зарядом. Линией 0–3 на планограмме обозначена свободная поверхность.

Кривая 2–3 является боковой поверхностью воронки выброса. Точка 1 на планограмме обозначает заряд ВВ. Цветом на данном рисунке, как и на планограммах распределения кусков по крупности в зоне между зарядами, выделены зоны кусков одного класса крупности. На планограмме видно, что наибольшее изменение максимальных линейных размеров кусков происходит с удалением от заряда к точке пересечения боковой поверхности воронки выброса с обнаженной поверхностью.

Прямоугольником на планограмме отмечено местоположение фрагмента поля распределения по крупности псевдокубических кусков нулевого уровня дробления в зоне за крайним зарядом, представленного на рис. 9.5.1 и 9.5.2. Представленный фрагмент поля распределения кусков по крупности разбит на расчетные элементы аналогично фрагментам поля распределения кусков по крупности в зоне между зарядами, которые представлены в предыдущем параграфе. Также куски одного класса крупности выделены одним цветом. Цветовые обозначения классов представлены на рис. 9.5.2.

В данном фрагменте поля присутствуют куски четырех классов крупности: менее 100 мм, 100–200, 200–300 и 300–400. Размеры кусков в представленном фрагменте (рис. 9.5.4) изменяются от 9 до 29 см.

Поэтому все расчетные элементы во фрагменте выделены только одним красным цветом. Размер кусков в представленном фрагменте варьируется от 2 см до 7 см. На планограмме распределения по крупности псевдотетраэдрных кусков нулевого уровня дробления в зоне за крайним зарядом, которая изображена на рис. 9.5.5, представлены десять расчетных классов крупности: менее 100 мм, 100–200, 200–300, 300–400, 400–500, 500–600, 600–700, 700–800, 800–900 и 900–1000 мм. Как и в представленных ранее планограммах распределения кусков по крупности в зоне за крайним зарядом, самые крупные куски образуются около точки пересечения обнаженной поверхности с боковой поверхностью воронки выброса. Фрагмент поля распределения

по крупности псевдотетраэдрных кусков нулевого уровня дробления представлен на рис. 9.5.6. Он содержит куски двух классов крупности, которые выделены красным (менее 100 мм) и желтым (100–200 мм) цветом. Из анализа рисунка следует, что при взрыве скважинных зарядов в данном фрагменте поля распределения кусков по крупности образуются куски с линейными размерами от 5 см в левом нижнем углу до 14 см в правом верхнем углу.

Местоположение данного фрагмента в поле распределения кусков по крупности выделено прямоугольником на рис. 9.5.5. На планеграмме распределения по крупности псевдотетраэдрных кусков первого уровня дробления в зоне за крайним зарядом, которая изображена на рис. 9.5.6, представлено три зоны: зона, выделенная красным цветом, содержит куски классом крупности менее 100 мм; зона, выделенная желтым цветом, содержит куски классом крупности 100–200 мм; зона, выделенная зеленым цветом, содержит куски классом крупности 200–300 мм.

Зона раздробленной породы за крайним зарядом существенно отличается и по конфигурации, и по крупности дробления от зоны между двумя зарядами. Она меньше по площади, имеет криволинейную боковую поверхность воронки выброса. В этой зоне образуются более крупные куски породы. Данный этап расчета, выполняемый программой «Взрывдезинтеграция», необходим для получения второй важной части исходных данных для программы расчета выхода горной массы по классам крупности при групповом взрывании скважинных зарядов.

Самые крупные куски рассматриваемого поля распределения размером около 300 мм находятся около пересечения боковой поверхности воронки выброса и обнаженной поверхности. Прямоугольником на планеграмме выделен фрагмент поля распределения по крупности псевдотетраэдрных кусков первого уровня дробления в зоне за крайним зарядом, представленный на рис. 9.5.7. Все расчетные элементы этого фрагмента выделены красным.

Дм/Дм	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77
9	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
10	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
11	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
12	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
13	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
14	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03
15	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
16	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
17	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
18	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
19	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
20	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
21	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
22	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
23	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
24	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02

Рис. 9.5.7. Фрагмент поля распределения по крупности псевдотетраэдрных кусков первого уровня дробления (в м) в зоне за крайним зарядом цветом, так как содержащиеся в них максимальные линейные размеры изменяются от 1 см до 3 см, а следовательно, лежат в пределах одного, самого мелкого, класса крупности

В диссертации представлены лишь фрагменты полей распределения кусков по крупности в отбиваемом объеме. Представить поля целиком не представляется возможным из-за их громоздкости. Но просмотреть на экране монитора все поля распределения кусков можно, пользуясь линейками прокрутки.

В ходе выполнения расчетных операций нет необходимости просматривать поля распределения кусков по крупности ни целиком, ни по частям. Они формируются и используются в дальнейших расчетах без визуального просмотра.

На данном этапе расчета нами получена последняя часть исходных данных, необходимых для работы программы расчета выхода горной массы по классам крупности при групповом взрывании скважинных зарядов.

9.6. Расчет выходов горной массы по классам крупности

Целью буровзрывных работ в карьерах является отбойка от массива и дробление горных пород взрывом. Во всех случаях взрыв должен обеспечить требуемое для последующих технологических операций качество дробления горных пород.

Наиболее полным и объективным критерием оценки качества дробления горных пород является гранулометрический состав отбитой горной массы. Однако до настоящего времени при проектировании буровзрывных работ не предусматривается расчет грансостава из-за отсутствия метода его определения на стадии проектирования. Это обусловлено недостаточной изученностью сложных физических процессов передачи энергии взрыва в массив горных пород, распределения переданной энергии взрыва в массиве и превращения распределенной в массиве энергии в работу дробления горных пород.

До настоящего времени при проектировании буровзрывных работ единственным проектным требованием к качеству дробления горной массы является учет линейного размера кондиционного куска, принятого на горном предприятии. Размер кондиционного куска учитывается при определении расчетного удельного расхода ВВ для конкретной горной породы. Предполагается, что при реализации полученного расчетного удельного расхода ВВ основная часть отбитой горной массы будет раздроблена на куски размером меньше кондиционного куска. Это предположение не всегда является оправданным.

Известны случаи расчета грансостава для конкретных условий ведения взрывных работ по эмпирическим зависимостям, полученным на основе обобщения экспериментальных результатов по дроблению руды. В этих расчетах наряду с эмпирическими зависимостями используется какое-либо вероятностное распределение кусков по крупности, выбираемое из многих распределений по усмотрению исследователя. Эти расчеты выполняются при ведении исследовательских работ, а не при проектировании взрывов. Перенос эмпирических зависимостей из условий, где они получены, в другие условия проблематичен.

Рассчитанные с использованием полей распределения плотности энергии взрыва в отбиваемом объеме поля распределения кусков породы по крупности дают возможность рассчитать выход горной массы по классам крупности. При его расчете в качестве исходных данных используются физико-механические и технологические свойства горных пород и массива, свойства и параметры скважинных зарядов взрывчатых веществ, проектные параметры буровзрывных работ.

В соответствии с разработанным расчетным методом расчет выхода горной массы по классам крупности выполняется по следующей схеме.

В таблице 9.6.1 представлены результаты расчета по программе «Взрывдезинтеграция» выхода горной массы по классам крупности в зоне между зарядами. В первом столбце представлены классы крупности. С использованием полей распределения кусков породы по крупности по программе «Взрывдезинтеграция» рассчитываются таблицы выхода горной массы по классам крупности в двух расчетных зонах: между двумя зарядами и за крайним зарядом. Затем определяется по числу взрывааемых скважин количество расчетных зон двух видов на обустроенном участке. С учетом количества и соотношения расчетных зон двух видов формируется итоговая таблица выхода горной массы по классам крупности. По итоговой таблице рассчитывается грансостав отбитой горной массы.

Таблица 9.6.1.

Выхода горной массы по классам крупности в зоне между зарядами

	ПК0, м³	ПТ0, м³	ПК1, м³	ПТ1, м³	Ост.об., м³	Сумм.об., м³
<100	141.1	54	68.4	11.8	16.3	291.6
100-200	179.8	15.3	2.1	0	-	197.2
200-300	61.9	1.2	0	0	-	63.1
300-400	29.5	0.9	0	0	-	30.4
400-500	3.4	0	0	0	-	3.4
500-600	5.1	0	0	0	-	5.1
600-700	5.2	0	0	0	-	5.2
Всего	426	71.4	70.5	11.8	16.3	596

Таблица 9.6.2.

Выхода горной массы по классам крупности в зоне за крайним зарядом

	ПК0, м³	ПТ0, м³	ПК1, м³	ПТ1, м³	Ост.об., м³	Сумм.об., м³
<100	64,5	22,7	35,1	7,1	12,0	141,5
100-200	70,7	12,9	6,9	1,4	-	91,8
200-300	46,1	5,3	2,7	0,3	-	54,5
300-400	30,6	1,5	5,3	0,0	-	37,4

	ПК0,	ПТ0,	ПК1,	ПТ1,	Ост.об.,	Сумм.об.,
	м ³					м ³
400-500	21,3	0,8	1,7	0,0	-	23,7
500-600	10,2	1,5	0,0	0,0	-	11,7
600-700	5,4	2,1	0,0	0,0	-	7,5
700-800	3,6	2,7	0,0	0,0	-	6,3
800-900	2,7	2,3	0,0	0,0	-	5,0
900-1000	2,0	0,6	0,0	0,0	-	2,4
1000-1100	3,9	0,0	0,0	0,0	-	3,9
1100-1200	5,0	0,0	0,0	0,0	-	5,0
1200-1300	4,5	0,0	0,0	0,0	-	4,5
1300-1400	8,0	0,0	0,0	0,0	-	8,0
1400-1500	9,0	0,0	0,0	0,0	-	9,0
1500-1600	7,4	0,0	0,0	0,0	-	7,4
1600-1700	6,9	0,0	0,0	0,0	-	6,9
1700-1800	6,3	0,0	0,0	0,0	-	6,3
1800-1900	3,2	0,0	0,0	0,0	-	3,2
Всего	311,0	52,2	51,6	8,7	12,0	435,6

Во втором — выхода по классам крупности кусков псевдокубической формы нулевого уровня дробления. В третьем — выхода по классам крупности кусков псевдотетраэдрной формы нулевого уровня дробления. В четвертом столбце — выхода по классам крупности кусков псевдокубической формы первого уровня дробления. В пятом — выхода по классам крупности кусков псевдотетраэдрной формы первого уровня дробления. В шестом столбце — остаточный объем породы в зоне между зарядами. В седьмом столбце представлены суммарные выхода по классам крупности в зоне между двумя зарядами.

Всего в таблице в демонстрируемом примере семь расчетных классов крупности — от 0 до 700 мм с шагом 100 мм. Суммарный выход горной массы по классам крупности распределяется крайне неравномерно и изменяется от 292 м³ до 5 м³. Более 70% горной массы в таблице представлены кусками псевдокубической формы нулевого уровня дробления. Менее 0,03% расчетного объема осталось за пределами двух уровней дробления.

Результаты, представленные в таблице 9.6.1, являются промежуточными материалами в расчетах, поэтому нет необходимости их детально анализировать.

В таблице 2 представлены результаты расчета выхода горной массы по классам крупности в зоне за крайним зарядом. Структура таблицы и принятые обозначения аналогичны принятым в таблице 9.6.1.

В этой расчетной зоне отбитый объем меньше, чем в зоне между двумя зарядами. Зона разрушения за крайним зарядом отличается от зоны между зарядами не только объемом, но и формой. В этой зоне порода дробится

не двумя, а одним зарядом ВВ, и дробится она крупнее, чем в зоне между зарядами. Всего в таблице представлено девятнадцать расчетных классов крупности.

В этой таблице также суммарный выход горной массы по классам крупности распределяется неравномерно и изменяется от 142 м^3 до 3 м^3 . Выход горной массы в мелких классах крупности уменьшился в сравнении с таблицей 1, а в крупных классах увеличился.

Более 70% горной массы в таблице представлены кусками псевдокубической формы нулевого уровня дробления. Здесь также меньше 0,03% расчетного объема осталось за пределами двух уровней дробления. Результаты этой таблицы также являются промежуточным расчетным материалом.

Таблицы 9.6.1 и 9.6.2 используются при расчете итоговой таблицы суммарного выхода горной массы по классам крупности при групповом взрывании скважинных зарядов. В программе «Взрывдезинтеграция» эта таблица расположена во вкладке «Суммарные выходы».

Комбинированием и суммированием этих таблиц можно получить суммарную таблицу выхода горной массы по расчетным классам крупности для различного количества одновременно взрываемых в ряду скважин.

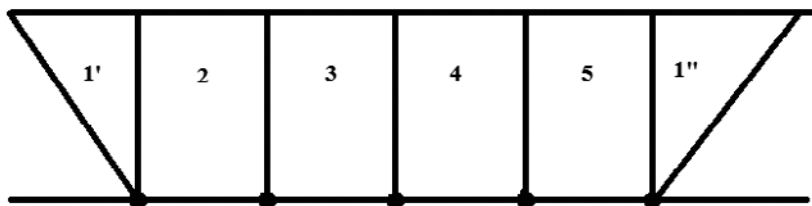


Рис. 9.6.1. Схема отбойки руды группой зарядов

На рис. 9.6.1 представлена схема отбойки руды пятью скважинными зарядами. В этом случае в отбиваемом объеме присутствуют четыре расчетных зоны между зарядами (2–5) и две за крайним зарядом (1'–1'').

Итоговая таблица выхода горной массы по классам крупности при групповом взрывании скважинных зарядов рассчитывается не простым суммированием таблиц 9.6.1 и 9.6.2, а их суммированием с учетом числа и вида расчетных зон в отбиваемом массиве.

В таблице 9.6.3 представлен итоговый выход горной массы по классам крупности, отбитой пятью зарядами, и грансостав раздробленной породы, рассчитанный по программе «Взрывдезинтеграция».

Но по материалам этой таблицы программа «Взрывдезинтеграция» формирует любое меньшее заданное число классов крупности, удобное для анализа на конкретном карьере.

В таблице 9.6.4 представлены итоговые выходы горной массы и грансостав по четырем заданным классам крупности.

В первом столбце представлены расчетные классы крупности в миллиметрах. Во втором столбце — выход горной массы по расчетным классам крупности в м^3 . В третьем — грансостав отбитой горной массы в процентах.

Анализировать численные значения выхода горной массы и грансостава по большому количеству расчетных классов крупности достаточно сложно. Такой анализ не представляет для производителей особого интереса. В первом классе крупности от 0 до 400 мм горная порода раздроблена мелко. Куски породы в этом классе меньше 400 мм. Основная отбитая горная масса 2985 м³ представлена мелкими кусками, что составляет 91,6% от всего объема отбитой горной массы.

Среднее дробление породы представлено классом крупности от 400 до 700 мм. Выход по этому классу крупности 120 м³ составляет 4,1% от всего объема отбитой горной массы.

Крупное дробление породы представлено классом крупности от 700 до 1000 мм. Выход по этому классу крупности 0,8%.

Четвертый класс крупности является негабаритом, т. е. куски размером более 1000 мм. Выход негабарита в демонстрационном варианте составляет 3,3%.

Таблица 9.6.4 является конечным результатом расчетных процедур, выполненных с использованием комплекса компьютерных программ «Энергия – Взрывдезинтеграция». Это расчетный грансостав отбитой горной массы при групповом взрывании скважинных зарядов в карьерах.

Таблица грансостава компактная, наглядная, удобная для анализа качества дробления породы взрывом. Но к этому простому и ясному представлению мы шли непростым путем, преодолевая множество сложных научных и вычислительных проблем.

Таблица 9.6.3.

Выход горной массы и грансостав по расчетным классам крупности

Классы крупности, мм	Выход горной массы, м ³	Грансостав, %
<100	1455	44,6
100-200	975	29,9
200-300	360	11,1
300-400	195	6
400-500	60	1,9
500-600	30	1,2
600-700	30	1,1
700-1000	45	0,8
1000-1900	135	3,3

Комплекс компьютерных программ «Энергия – Взрывдезинтеграция» разработан коллективом ученых ИПКОН РАН.

Таблица 9.6.4.

Выход горной массы и грансостав по задаваемым классам крупности

Степень дробления	Классы крупности, мм	Выход горной массы, м ³	Грансостав, %
Мелкое дробление	<400	2985	91,6
Среднее дробление	400-700	120	4,1
Крупное дробление	700-1000	45	0,8
Негабарит	>1000	135	3,3

Разработанная нами компьютерная программа «Взрывдесинтеграция» использует в качестве исходной информации результаты расчета, сделанные комплексом компьютерных программ «Энергия», которые разработаны к.т.н. А. В. Шляпиным под научным руководством д.т.н. Н.Н. Казакова. «Энергия» и «Взрывдесинтеграция» – это единый комплекс компьютерных программ. Несмотря на большой объем вычислений и геометрических построений, несмотря на формирование и многократное перекрестное использование в расчетах больших матричных числовых массивов, расчеты по комплексу программ «Взрывдесинтеграция» выполняются в течение нескольких минут.

Использование комплекса компьютерных программ «Энергия – Взрывдесинтеграция» при проектировании массовых взрывов в карьерах позволит определять по каждому блоку проектные показатели качества дробления горной массы. Проектные показатели качества дробления горной массы, т. е. проектный грансостав раздробленной руды, будет оказывать обратное воздействие на проектные параметры буровзрывных работ. Проектные параметры буровзрывных работ необходимо корректировать, если первоначальный проектный грансостав не будет удовлетворять требованиям, предъявляемым к качеству дробления горной массы взрывом на конкретном блоке.

Комплекс компьютерных программ «Энергия – Взрывдесинтеграция» может использоваться при выборе рациональных параметров буровзрывных работ для разных руд и горных пород в карьере. Для этого необходимо составить набор вариантов с разными параметрами буровзрывных работ, рассчитать грансостав для каждого варианта. Сопоставляя качество дробления по каждому варианту совместно с экономическими, трудовыми и энергетическими затратами по смежным технологическим процессам, выбрать из числа рассматриваемых наиболее рациональный вариант параметров буровзрывных работ для данных горно-геологических и технологических условий.

Комплекс компьютерных программ «Энергия – Взрывдесинтеграция» является хорошим инструментом исследования процессов дробления горных пород взрывом. В исследовательских целях анализу могут подвергнуться численные значения многих параметров разных фаз процесса, могут детально анализироваться в цифрах фазовые и итоговые поля распределения энергии взрыва в отбиваемом объеме. Могут анализироваться в цифрах поля распределения кусков породы по крупности в отбиваемом объеме.

Результаты численных анализов могут являться основой выработки инженерных решений по совершенствованию технологии дробления руд и горных пород в карьерах.

Компьютерная программа «Взрывдезинтеграция» защищена патентом. № 2009612164. Частично программа «Взрывдезинтеграция» представлена в приложении к монографии. Приложение 6.

Глава 10. Сферическая камуфлетная фаза взрыва

10.1. Верхний слой обуренного блока на карьерном уступе

В соответствии с разработанной «Многофазной и многозонной теорией технологического дробления горных пород взрывом» нами выделен для индивидуального изучения верхний слой обуренного блока на карьерном уступе.

На крупных карьерах наиболее распространенной является 15-метровая высота уступов. При такой высоте уступа наибольшее распространение получила 6-метровая длина забойки. В таких условиях верхний слой карьерного уступа, примыкающий к забойкам всех скважин, по объему равен 40% отбиваемой горной массы по блоку.

Под забойкой в данном случае подразумевается часть длины скважины от верхнего конца заряда взрывчатого вещества до верхней площадки уступа. Забоечное верхнее пространство скважины может быть пустым, может быть частично заполнено забоечным материалом, может быть частично или полностью заполнено водой. Но во всех этих случаях в нашей задаче под толщиной верхнего слоя уступа, примыкающего к забойке, под длиной забойки подразумевается верхняя незаряженная часть длины скважины.

Принципиальным отличием положения верхнего слоя карьерного уступа от положения среднего слоя карьерного уступа является то, что верхний слой лежит в стороне от заряда ВВ и в стороне от главного «театра» развития процессов дробления породы взрывом скважинного заряда. В верхний слой передается маленький объем энергии заряда. Все физические процессы в верхнем слое развиваются в сферической симметрии с более быстрым нарастанием объема породы, вовлекаемого в зоны возмущения, и с более интенсивным уменьшением всех параметров возмущения из-за большего расхождения зон возмущения.

Снизу над каждой скважиной в верхний слой уступа внедрены полушария зарядов взрывчатого вещества диаметром, равным диаметру скважинного заряда.

Верхний слой обуренного блока дробится плохо лежащими под ним рядами. Именно этот объем является главным поставщиком негабаритных фракций, обеспечивающих высокий выход негабарита в раздробленном развале породы.

Все наше внимание сосредоточиваем на изучении физических и технологических процессов, происходящих вокруг одного карьерного скважинного заряда. По результатам развития процессов, происходящих в массиве горных пород, можно будет сформировать поля распределения плотности энергии, поля распределения кусков по крупности, таблицы выхода объема кусков по фракциям и определить выход негабарита при групповом взрывании скважинных зарядов.

В последующем можно будет определить результаты совместного дробления горных пород по блоку при перемешивании пород этих слоев в развале отбитой горной массы.

10.2. Модель сферической камуфлетной фазы

В начале развития процесса воздействия взрыва на горные породы в карьере цилиндрическая камуфлетная и сферическая камуфлетная фазы развиваются совместно во времени, но в разных частях породного массива. Цилиндрическая фаза развивается в средней части уступа, а сферическая камуфлетная фаза развивается в верхней части уступа. Поэтому некоторые их параметры определяются совместно.

Нами предложена геометрическая модель развития сферической камуфлетной фазы взрыва. В рамках геометрической модели предложены: сферическая модель формы верхней части цилиндрического заряда; модель верхней части газовой полости; модель верхней части зоны камуфлетного и волнового действия взрыва (рис. 10.2.1).

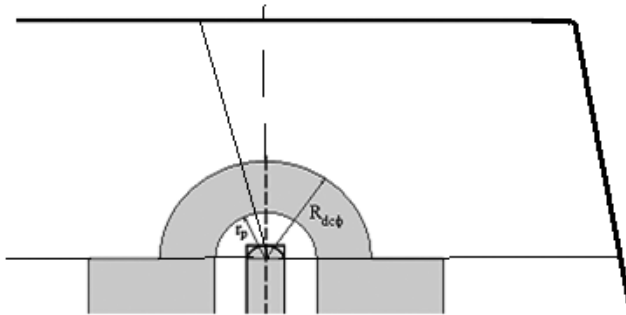


Рис. 10.2.1. Модели формы заряда, полости и зоны камуфлетного действия взрыва в верхней концевой части скважинного заряда

Модель формы заряда принимается в виде цилиндра с полусферами на концах заряда. Радиус полусфер r_0 принимается равным радиусу скважинного заряда. Модель формы камуфлетной газовой полости принимается в виде цилиндра с полусферами на концах. Приняты одинаковые радиусы r_p цилиндрической и сферической частей газовой полости.

Объем всей камуфлетной полости, в которую входят и цилиндрическая, и сферическая части камуфлетной полости с достаточной для решения практических задач точностью определяется по формуле [1]

$$V_p = \frac{38\mathfrak{Z}}{\rho c^2} \left(\frac{\rho c^2}{250\sigma_{сж}} \right)^{2/3},$$

где ρ – плотность горной породы; c – скорость продольной волны в породе; $\sigma_{сж}$ – предел прочности породы на сжатие; V_p – объем камуфлетной полости; \mathfrak{Z} – энергия скважинного заряда.

Радиус камуфлетной полости определяется следующим образом. Составляется специальное уравнение разницы объема модели заряда и объема камуфлетной полости. Корень этого уравнения r_p , искомый радиус камуфлетной полости. Уравнение решали автоматически, программными средствами MathCad.

$$r_p := \text{root} \left[\left[\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r_0^3 + [\pi \cdot r_0^2 \cdot (L_{зар} - 2 \cdot r_0)] - V_p \right], r_0 \right].$$

Радиусы и объемы камуфлетных полостей определяются из совместного решения уравнений:

$$V_{pц} = \pi r_p^2 (L_{зар} - 2r_0);$$

$$V_{pсф} = \frac{4}{3} \pi r_0^3; V_p = V_{pц} + V_{pсф},$$

где $V_{pц}$ – объем цилиндрической части полости; $V_{pсф}$ – объем сферической части полости; L_z – длина скважинного заряда.

Максимальная массовая скорость на внешней границе камуфлетной зоны определяется по условию равенства максимального напряжения в волне пределу прочности породы на сжатие. Максимальная массовая скорость, определяемая по формуле

$$U = \frac{c \sigma_{сж} (1 - \mu^2)}{E (1 - 0,36\mu)},$$

где E – модуль упругости горной породы; μ – коэффициент Пуассона горной породы.

Эта максимальная массовая скорость в волне напряжений является критерием внешней границы сферической камуфлетной зоны и радиусом излучения сферической камуфлетной волны напряжений в верхней зоне карьерного уступа.

Радиусы внешних границ цилиндрической и сферической частей камуфлетной зоны являются радиусами излучения слабых волн напряжений с цилиндрической и сферической симметрией.

Внешний радиус сферической части камуфлетной зоны является радиусом излучения сферической волны напряжений. Он определяется по формуле

$$R_{зсф} = r_p \sqrt[3]{\frac{\rho c^2}{4\sigma_{сж}}}.$$

На внешних границах камуфлетной полости в цилиндрической и сферической частях максимальная массовая скорость одинаковая. Но она формируется на разных расстояниях от центра взрыва и в разное время. Внешний радиус цилиндрической зоны $R_{зц}$ больше внешнего радиуса сферической зоны $R_{зсф}$ камуфлетной фазы взрыва. Это обусловлено разными условиями расхождения волн в цилиндрической и в сферической зонах.

10.3. Энергии разрушения сферической камуфлетной фазы

Определение параметров в камуфлетной зоне взрыва может быть выполнено в следующей последовательности. Процесс расширения газовой полости с достаточной для практики точностью описывается двумя сопряженными изэнтропами с разными фиксированными показателями изэнтроп [5].

Энергия, затраченная на разрушение породы в камуфлетной зоне взрыва, определяется по следующей формуле [4]

$$\mathcal{E}_p = \mathcal{E}_3 - (\mathcal{E}_o + \mathcal{E}_e)$$

где \mathcal{E}_e – энергия, излученная в слабую волну напряжений.

Энергия, излученная в сферическую волну Промежеточный параметр $A(\lambda)$ $A(\lambda) := 2 \cdot \mu \cdot (\sigma_1(\lambda) \cdot \sigma_2(\lambda) + \sigma_2(\lambda) \cdot \sigma_3(\lambda) + \sigma_3(\lambda) \cdot \sigma_1(\lambda))$ $\mathcal{E}_{\text{всф}} := \frac{\pi \cdot 2 \cdot R^2}{E} \cdot \int_0^A [((\sigma_1(\lambda))^2 + (\sigma_2(\lambda))^2) \cdot 2 - A(\lambda)] d\lambda$ $\mathcal{E}_{\text{всф}}\% := \frac{\mathcal{E}_{\text{всф}} \cdot 100}{\mathcal{E}_3} \qquad \mathcal{E}_{\text{всф}}\% = 0.23 \quad \%$ $\mathcal{E}_{\text{всф}} = 4654213 \quad \text{Дж}$	
--	--

Рис. 10.3.1. Фрагмент компьютерной программы определения в сферическую волну

Энергия, поглощенная в сферической части камуфлетной зоны (энергия разрушения), определяется по предложенной формуле

$$\mathcal{E}_{\text{pcф}} = \mathcal{E}_p \frac{V_{\text{pcф}}}{V_p}$$

Численные значения всех параметров в верхней зоне карьерного уступа в нашем демонстрационном варианте рассчитываются с помощью разработанных нами компьютерных программ в программной оболочке MathCad.

Энерги разрушения в цилиндрической части камуфлетной зоны $\mathcal{E}_{\text{рц}} := \mathcal{E}_p \cdot \frac{\Delta V_{\text{ц}}}{\Delta V_{\text{км}}} \qquad \mathcal{E}_{\text{рц}} = 658864261 \quad \text{Дж}$		
Энерги разрушения в сферической части камуфлетной зоны $\mathcal{E}_{\text{рсф}} := \mathcal{E}_p \cdot \frac{\Delta V_{\text{сф}}}{\Delta V_{\text{км}}} \qquad \mathcal{E}_{\text{рсф}} = 22874873 \quad \text{Дж}$		

Рис. 10.3.2. Фрагмент компьютерной программы определения энергии разрушения в сферической части камуфлетной полости

На рис. 10.3.2 представлен фрагмент компьютерной программы с рассчитанными численными значениями энергии разрушения в сферической и цилиндрической частях камуфлетной зоны.

На рис. 10.3.1 представлен фрагмент компьютерной программы определения энергии, излученной в сферическую волну. На фрагменте программы представлено численное значение энергии, излученной в сферическую волну напряжений в нашем демонстрационном варианте.

В верхнем слое энергия разрушения в сферической волне почти в 30 раз меньше энергии разрушения в цилиндрической волне.

10.4. Распределение энергии разрушения вдоль выбираемого направления и дробление породы сферической камуфлетной фазой взрыва

Задача распределения энергии разрушения по объему зоны и задача дробления породы сферической камуфлетной фазой решаются на основе условного разбиения сферической камуфлетной зоны на сферические слои толщиной ΔR . Толщина слоя может выбираться разная, в зависимости от цели и желаний исследования.

При прохождении сильной волны напряжений по сферической зоне камуфлетного действия взрыва энергия волны поглощается слоями породы. При выходе сильной волны напряжений на внешнюю границу камуфлетной зоны и при ее вырождении в слабую волну напряжений вся энергия сферической сильной волны напряжений $\mathcal{E}_{pc\phi}$ поглощается породой и превращается в работу разрушения породы. В слабую сферическую волну напряжений излучается энергия $\mathcal{E}_{ec\phi}$.

Изменение энергии разрушения в сферической камуфлетной зоне вдоль радиуса рассчитывается по предложенной формуле

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{pc\phi} \left[1 - \kappa \left(\frac{R - r_0}{R_{dc\phi} - r_0} \right)^{0,5} \right] - \mathcal{E}_{ec\phi},$$

где R – переменное значение радиуса положения расчетного слоя в пределах камуфлетной зоны.

Энергия разрушения в каждом расчетном слое определяется по предложенной формуле

$$\Delta \mathcal{E}_{pc\phi} = \mathcal{E}_{Ri} - \mathcal{E}_{R(i+1)}.$$

При R больше $R_{dc\phi}$ значение $\Delta \mathcal{E}_{pc\phi}$ нужно принимать равным нулю.

На фрагменте представлены: организация цикла, изменение энергии разрушения с расстоянием, распределение энергии разрушения по сферическим расчетным объемам.

Плотность энергии разрушения в расчетном слое толщиной ΔR определяется по предложенной формуле

$$\Pi\mathcal{E}_{pcf} = \frac{\Delta\mathcal{E}_{pcf}}{\frac{4\pi}{3} \left[(R + \Delta R)^3 - R^3 \right]}.$$

На рис. 10.4.1 представлен фрагмент компьютерной программы расчета распределения энергии разрушения в сферической части камуфлетной зоны верхнего слоя уступа.

Распределение энергии в сферической части камуфлетной зоны

$R := r_0, (r_0 + \Delta R) \dots R_{dcф}$
Изменение энергии разрушения в сферической камуфлетной зоне, в верхнем слое

$$\mathcal{E}(R) := \begin{cases} \mathcal{E}_{pcf} & \text{if } R \leq r_0 \\ \left[\mathcal{E}_{pcf} \cdot \left[1 - \sqrt{\left(\frac{R - r_0}{R_{dcф} - r_0} \right)^2} \right] + \mathcal{E}_{всф} \right] & \text{if } R \leq R_{dcф} \\ 0 & \text{if } R > R_{dcф} \end{cases}$$

Энергия разрушения в слое толщиной ΔR в сферической камуфлетной зоне, в верхнем слое

$$\Delta\mathcal{E}(R) := \begin{cases} 0 & \text{if } R \leq r_0 \\ (\mathcal{E}(R - \Delta R) - \mathcal{E}(R)) & \text{if } r_0 < R \leq R_{dcф} \\ 0 & \text{if } R > R_{dcф} \end{cases}$$

Рис. 10.4.1. Фрагмент компьютерной программы распределения энергии разрушения и плотности энергии разрушения по сферическим расчетным объемам

Линейный размер куска породы в расчетном слое толщиной ΔR , разрушенной действием камуфлетной фазы взрыва, определяется по предложенной формуле

$$d_{кcf} = \frac{18e}{\Pi\mathcal{E}_{pcf}},$$

где e – энергия образования единицы новой поверхности при разрушении породы взрывом.

$R =$	$\Delta V(R) =$	$\mathcal{E}(R) =$	$\Delta\mathcal{E}(R) =$	$\Pi\mathcal{E}_{сф}(R) =$	$dk_{сф}(R) =$
0.125	0	27168652	0	0	0
0.225	0.096	19269031	7899621	82218881	0.004
0.325	0.178	15996901	3272130	18407308	0.016
0.425	0.285	13486107	2510794	8822931	0.033
0.525	0.417	11369410	2116697	5081827	0.057
0.625	0.574	9504563	1864848	3251115	0.089
0.725	0.756	7818612	1685951	2230640	0.129
0.825	0.963	6268220	1550392	1609693	0.179
0.925	1.196	4825150	1443070	1206946	0.239

Рис. 10.4.2. Распределение энергии разрушения и крупности дробления породы по расчетным слоям

На рис 10.4.2 представлена расчетная таблица параметров распределения энергии разрушения и дробления породы сферической камуфлетной фазой взрыва.

Результаты представлены в виде столбиков-векторов. В первом столбике-векторе представлены расстояния от центра верхней сферической камуфлетной зоны. Размер сферической камуфлетной зоны 0,943 м. Ширина расчетных слоев принята равной 0,1 м. Расчетные слои доходят до отметки 0,925 м.

Во втором столбике-векторе представлены объемы породы в м³ в расчетных слоях. Объем породы в слоях интенсивно нарастает от 9,6 см³ до 1,2 м³. В третьем столбце-векторе представлено изменение энергии с расстоянием. В нижней части рисунка представлено численное значение энергии, излученной в слабую волну напряжений в нашем примере. Ее величина хорошо продолжает изменение энергии в столбце-векторе.

В четвертом столбце-векторе представлена энергия, поглощенная в каждом расчетном слое.

В пятом столбце представлена плотность энергии разрушения в каждом расчетном слое. Плотность энергии разрушения изменяется от 82 МПа до 1,2 МПа.

В шестом и седьмом столбцах представлена расчетная крупность дробления породы квазистатической фазой взрыва при толщине расчетных слоев 0,1 м. В последнем столбце представлена расчетная крупность дробления породы квазистатической фазой взрыва при переменной толщине расчетных слоев.

Ниже таблицы сравниваются распределяемая поглощенная энергия с суммой поглощенной энергии в расчетных слоях. Их значения близки.

Линейный размер куска в расчетном слое является размером среднего куска в слое. Когда толщина расчетного слоя больше расчетного линейного размера куска, порода в слое дробится. Процесс дробления породы обеспечен энергетически. Чем ближе расчетный линейный размер куска приближается к ширине расчетного слоя, тем точнее он совпадает с фактическим размером кусков в реальном процессе.

Когда расчетный линейный размер куска больше ширины расчетного слоя, порода в слое не дробится. Процесс дробления породы не обеспечен энергетически.

В таком случае необходимо суммировать ширину соседних расчетных зон, определять средневзвешенную по суммарному объему слоев плотность энергии и рассчитывать размер куска в суммарном объеме.

Если при суммировании слоев линейный размер куска в суммарном слое возрастает быстрее, чем толщина суммарного расчетного слоя, дробление породы энергетически не обеспечено. В слое развиваются только трещины до внешней границы камуфлетной зоны.

Из последнего столбца рис. 10.4.2 видно, что в нашем примере камуфлетной фазой взрыва порода дробится до радиуса 0,725 м. Дальше до конца камуфлетной зоны под действием камуфлетной фазы развиваются радиальные трещины.

При микронной ширине расчетных зон формируется таблица очень большой длины, которую нельзя показать в полном объеме в печатной работе. Поэтому на рис. 10.4.3 представлена таблица, составленная из фрагментов нескольких таблиц с разной шириной расчетных слоев, чтобы показать размеры мелких кусков, формируемых камуфлетной фазой взрыва.

Верхняя часть столбцов-векторов на рисунке получена при толщине расчетных слоев в 0,00001 м, (10 микрон). Представлено 3 слоя, прилегающих к заряду. Плотность энергии разрушения в первом слое превышает 34514 МДж/м². Линейный размер кусков в этих 3-х слоях изменяется от 8 до 26 микрон.

Ниже расположены 3 слоя с расчетной толщиной 100 микрон, 1 мм и 1 см. Плотность энергии в этих слоях в нашем примере изменяется от 5904 МДж/м³ до 29 МДж/м³. Линейный расчетный размер кусков в этих слоях изменяется от 100 микрон до 1 см. Ниже в 3-х строках на рис. 10.4.3 размеры кусков рассчитаны при толщине слоя 10 см. Плотность энергии разрушения в этих слоях изменяется с 15 МДж/м³ до 4,4 МДж/м³. Линейный размер кусков породы в первом слое нижней части таблицы равен 1,8 см. Во втором слое он равен 3,8 см. В третьем слое он равен 6,6 см. Ниже в двух объединенных слоях формируются куски размером 13 см. В этих расчетных слоях порода дробится на куски.

В данном примере при дальнейшем объединении слоев до границы камуфлетной зоны линейный размер кусков остается больше толщины объединенных слоев. А это значит, что в этой части зоны дробление породы энергетически не обеспечивается. Напряжения высокие, порода разрушается с образованием трещин, но не дробится на куски.

Внешняя граница зоны дробления камуфлетной фазой взрыва в нашем примере распространяется до 0,725 м.

R	$\Pi_{эсф}$	$a_{ксф}$	
0.125	0	0	
0.12501	34514058870	0.000008	
0.12502	14293904435	0.00002	$\Delta R := 0.00001$
0.12503	10966344302	0.000026	
0.1254	2904232522	0.0001	$\Delta R := 0.0001$
0.145	288523365	0.001	$\Delta R := 0.001$
0.265	29691337	0.01	$\Delta R := 0.01$
0.325	15794870	0.018	
0.425	7570713	0.038	$\Delta R := 0.1$
0.525	4360575	0.066	
0.625	2789692	0.13	$\Delta R := 0.2$
0.725	1914051		
0.825	1381233		
0.925	1035647	Тр	

Рис. 10.4.3. Плотность энергии разрушения и линейные размеры кусков породы

Следует отметить, что зона радиальной трещиноватости выходит за пределы камуфлетной зоны. Критерием ее внешней границы является равенство растягивающих тангенциальных напряжений в волне пределу прочности породы на растяжение. Но этот вопрос рассматривается в следующем разделе работы..

Если использовать гипотезу многоуровневого дробления породы взрывом, то в расчетных слоях, рядом с микронными расчетными линейными размерам кусков породы, будут присутствовать наноразмерные куски (частицы) [6].

Так, как показано на рис. 10.4.3, порода дробится камуфлетной фазой взрыва. В реальных условиях на камуфлетную зону, с миллисекундными замедлениями накладывается квазистатическая фаза взрыва.

Глава 11. Сферическая волновая фаза взрыва

11.1. Общие сведения о сферической волне, в верхнем слое карьерного уступа

В горной технической литературе и в практике проектирования буровзрывных работ в карьерах верхняя зона карьерного уступа не рассматривается как отдельный объект со своими закономерностями развития. Или он рассматривается как часть отбиваемого объекта, в котором развиваются процессы с цилиндрической симметрией развития процессов.

В классической механике воздействия взрыва на твердые среды сферическая модель развития процесса является наиболее распространенной. Но она рассматривается в отрыве от технологических условий и факторов, реализующихся при ведении взрывных работ в карьерах. Да и цель их исследования далека от вопросов технологического дробления горных пород взрывом в карьерах.

Сферическая волновая фаза в верхней части карьерного уступа является одним из двенадцати сочетаний «фаза – зона» процесса технологического дробления горных пород, взрывом одного скаженного заряда. Процессы, происходящие в этой зоне, мы называем сферической волновой фазой взрыва заряда промышленного взрывчатого вещества в горном массиве.

Сферическая волновая зона действия взрыва в массиве — это часть зоны технологического дробления горных пород взрывом. Она не распространяется в камуфлетной зоне в активной фазе процесса, а приходит в эту зону в виде ослабленной отраженной волны либо приходит в ослабленном виде от соседних зарядов.

Мы считаем, что ученые и проектировщики напрасно мало внимания обращают на изучение верхнего слоя карьерного уступа. Из-з его большой (до 40%) доли в отбиваемом и дробимом объеме он оказывает большое отрицательное влияние на качество технологического дробления горных пород взрывом в карьерах.

В предыдущей главе рассматривались условия формирования на границе излучения волны напряжений следующих параметров волны: радиуса излучения сферической волны, длины сферической волны и начальной массовой скорости частиц в сферической волне на границе излучения.

В этой главе все графические построения и демонстрируемые численные результаты взяты из компьютерного решения одного варианта задачи – взрывания скважинного заряда тротила диаметром 250 мм в граните. Предел прочности гранита на сжатие 157 МПа, предел прочности на растяжение 14,7 МПа, модуль упругости 54936 МПа, скорость продольной волны 4000 м/с.

Сферическая волна напряжений, возникающая в массиве горных пород при взрыве скважинного заряда в карьере, в основном подчиняется тем же закономерностям, что и цилиндрическая волна напряжений. Но есть и существенные различия.

Сферическая волна напряжений имеет меньший радиус излучения, меньшую длину волны и более интенсивное нарастание объема породы, вовлекаемой в зону ее возмущения. В сферической волне напряжений значительно меньше энергии, чем в цилиндрической волне напряжений.

11.2. Максимальная массовая скорость частиц в сферической волне напряжений

Одним из основных параметров сферической волны напряжений, распространяющейся при взрыве по верхнему слою карьерного уступа, является максимальная массовая скорость частиц породы. На разных по величине границах излучения начальные массовые скорости частиц в сферической и в цилиндрической волнах напряжений одинаковы.

С удалением волны от места взрыва максимальная массовая скорость частиц в сферической волне уменьшается более интенсивно. С удалением волны от места взрыва максимальная массовая скорость частиц уменьшается за счет геометрического расхождения и поглощения энергии волны породой. Изменение максимальной массовой скорости частиц в сферической волне напряжений изменяется по предложенным формулам:

$$U = U_n \left(\frac{R_{зсф}}{R} \right)^{2,1} \text{ при } R \leq R_p;$$

Левый график представлен в полулогарифмических координатах. Правый график представлен в логарифмических координатах.

На втором графике видно, что точка перегиба кривой лежит чуть ниже 10 м/с. На рис. 11.2.3 в полулогарифмической и логарифмической системах координат представлен график изменения максимальной массовой скорости слабой, падающей, сферической волны напряжений с расстоянием от центра концевой сферической части заряда, построенный программными средствами. На втором графике видно, что точка перегиба кривой лежит чуть ниже 10 м/с. Справа на рисунке представлена компьютерная таблица изменения максимальной массовой скорости частиц в сферической волне с удалением от ее центра распространения.

В нашем примере максимальная массовая скорость в сферической волне напряжений при ее прохождении на 8 метров уменьшается с 11,8 м/с до 0,3 м/с.

Изменение максимальной массовой скорости имеет большое значение при определении других параметров процесса воздействия взрыва на горный массив. Но для определения конечных результатов взрыва необходимо учитывать много других факторов.

$$U = U_n \left(\frac{R_{зсф}}{R} \right)^{2,1} \left(\frac{R_p}{R} \right)^{1,6} \text{ при } R > R_p.$$

Начальные параметры сферической квазистатической фазы					
Лзаб := 6	rp := 0.237	r0 := 0.125	$\alpha := 1$	w := 6	
Лзар := 11	Лзаб := 6	Лпер := 2	f := 16	B := 6	
Из расчета предшествующих фаз					
Vp := 1.9 м ³	P1 := 199177050 Па	Vp := 1.91 м ³			
Эз := 2034638738 Дж	Эс1 := 1266899806 Дж	62.3 %			
Эрц := 658864261 Дж	Эрсф := 22874873 Дж				
Лц := 5.9 м	Лсф := 2.9 м				

Рис. 11.2.1. Фрагмент компьютерной программы. Начальные параметры сферической волны в верхнем слое

$$\begin{aligned}
 R &:= R_{dc\phi}, (R_{dc\phi} + \Delta R) \dots L_{заб} \cdot 2 + \Delta R \\
 U1(R) &:= \begin{cases} 0 & \text{if } R < R_{dc\phi} \\ \left[\left[U_H \cdot \left(\frac{R_{dc\phi}}{R} \right)^{2.1} \right] \right] & \text{if } R \geq R_{dc\phi} \end{cases} \\
 U2(R) &:= \begin{cases} 0 & \text{if } R < R_{dc\phi} \\ \left[\left[U_H \cdot \left(\frac{R_{dc\phi}}{R} \right)^{1.6} \right] \right] & \text{if } R \geq R_{dc\phi} \end{cases} \\
 U3(R) &:= \begin{cases} 0 & \text{if } R < R_{dc\phi} \\ \left[\left[U_P \cdot \left(\frac{R_P}{R} \right)^{1.6} \right] \right] & \text{if } R \geq R_{dc\phi} \end{cases} \\
 U(R) &:= \begin{cases} U1(R) & \text{if } ((R_{dc\phi} < R_P)) \text{ if } R < R_P \\ U3(R) & \text{if } ((R_{dc\phi} < R_P)) \text{ if } R \geq R_P \\ U2(R) & \text{if } R_{dc\phi} \geq R_P \end{cases}
 \end{aligned}$$

Рис. 11.2.2. Фрагмент компьютерной программы определения максимальных массовых скоростей

На рис. 11.2.1. представлен фрагмент компьютерной программы с начальными условиями расчета параметров развития сферической фазы процесса в верхнем слое карьерного уступа при взрыве скважинного заряда в карьере. Наш демонстрационный вариант.

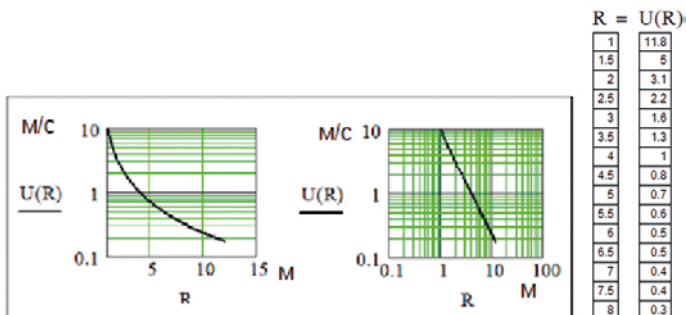


Рис. 11.2.3. Компьютерные графики изменения максимальной скорости частиц

На рис. 11.2.2 представлен фрагмент компьютерной программы определения максимальных массовых скоростей в сферической волне напряжений в верхнем слое карьерного уступа. Во фрагменте заданы условия формирования цикла расчетов. Определяются три кусочных значения скоростей в заданных пределах. Осуществляется выбор нужного значения по интервалу действия кусочной функции.

На рис. 11.2.3 представлены компьютерные графики изменения максимальной массовой скорости частиц в сферической волне в пределах зоны технологического дробления породы взрывом.

11.3. Форма сферической волны напряжений

Для определения энергии волны напряжений нужно знать не только амплитуду волны, но и ее форму.

Мы приняли форму сферической волны напряжений в пределах зоны технологического дробления горных пород взрывом, такую же, как у цилиндрической волны напряжений. Амплитуда сферической волны напряжений в пределах зоны технологического дробления горных пород взрывом уменьшается с удалением от центра взрыва. Длина сферической волны короче, чем длина цилиндрической волны, и в этой зоне она остается неизменной при распространении волны по массиву горных пород в пределах зоны технологического дробления горных пород взрывом

Граница излучения сферической волны меньше границы излучения цилиндрической волны напряжений. Амплитуды сферической и цилиндрической волн на границах излучения одинаковой величины.

Форму волны можно представить в разных координатах: «время – фазовые массовые скорости частиц», «безразмерная, или размерная длина волны – фазовые массовые скорости частиц» и др.

Принятую сферическую форму слабой волны напряжений, распространяющуюся в пределах зоны технологического дробления породы взрывом, в координатах «период колебаний – массовая скорость» предложено описывать трехкусочной зависимостью:

$$u = U \left(\frac{2t}{0,18T} - \left(\frac{t}{0,18T} \right)^2 \right), \text{ при } 0 \leq \frac{t}{T} \leq 0,36;$$

$$u = 0,4U \left(\left(\frac{t - 0,36T}{0,18T} \right)^2 - \frac{2t - 0,36T}{0,18T} + 2 \right), \text{ при } 0,36 \leq \frac{t}{T} \leq 0,54;$$

$$u = 0,4U \left(\frac{t}{0,46T} - 2,17 \right), \text{ при } 0,54 \leq \frac{t}{T} \leq 1,$$

где U – максимальная массовая скорость в волне; T – период колебаний; u – массовая скорость; t – время.

$$\begin{aligned}
 U &:= 11.8 & \Lambda &= 2.9 & U &:= 0.5 \\
 T &:= \frac{\Lambda}{c} & T &= 0.000716 & \Delta t &:= 0.05 \cdot T \\
 t &:= 0, \Delta t.. T \\
 F1(t) &:= U \cdot \left[\left[\frac{2 \cdot t}{0.18 \cdot T} - \left(\frac{t}{0.18 \cdot T} \right)^2 \right] \right] \\
 F2(t) &:= 0.4 \cdot U \cdot \left[\left(\frac{t - 0.36 \cdot T}{0.18 \cdot T} \right)^2 - \frac{2 \cdot t - 0.36 \cdot T}{0.18 \cdot T} + 2 \right] \\
 F3(t) &:= 0.4 \cdot U \cdot \left(\frac{t}{0.46 \cdot T} - 2.17 \right) \\
 u(t) &:= \begin{cases} F1(t) & \text{if } 0 \leq t \leq 0.36 \cdot T \\ F2(t) & \text{if } 0.36 \cdot T < t \leq 0.54 \cdot T \\ F3(t) & \text{if } 0.54 \cdot T < t \leq T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}
 \end{aligned}$$

Рис. 11.3.1. Фрагмент компьютерной программы определения формы волны во времени

На рис. 11.3.1 представлен фрагмент компьютерной программы в MathCad определения изменения фазовых массовых скоростей частиц во времени. График их изменения во времени есть форма сферической волны во времени.

На рис. 11.3.2 представлен компьютерный график формы сферической волны в координатах «время – фазовые массовые скорости частиц».

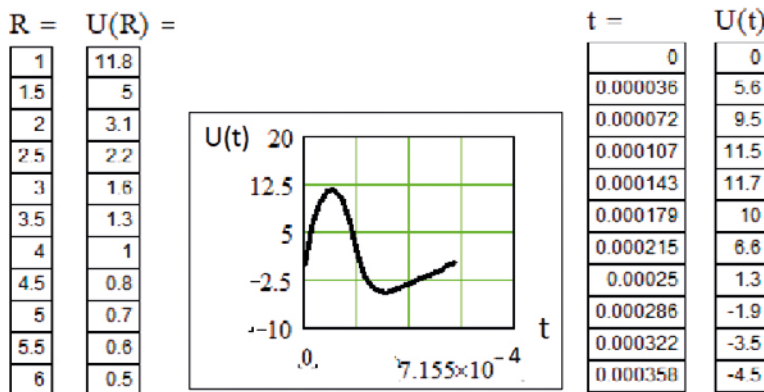


Рис. 11.3.2. Компьютерный график формы сферической волны в координатах «время – фазовые массовые скорости частиц» на границе излучения волны

На рис. 11.3.2 представлен компьютерный график изменения на границе излучения сферической волны, при радиусе излучения примерно 1 метр, фазовых значений массовой скорости частиц. В какой-то момент они достигают свое максимальное значение, равное 11,8 м/с. В какой-то момент они

принимают отрицательные значения. К концу периода колебания фазовая массовая скорость частиц равна 0.

Слева компьютерного графика представлена компьютерная таблица изменения расстояний и максимальной массовой скорости, рассчитанных при шаге счета $\Delta R = 0,5$ м. Справа компьютерного графика представлена верхняя часть компьютерной таблицы изменения фазовых значений массовых скоростей на границе излучения сферической волны и изменение времени возникновения этих фазовых массовых скоростей. По этой таблице построен компьютерный график на рис. 11.3.2.

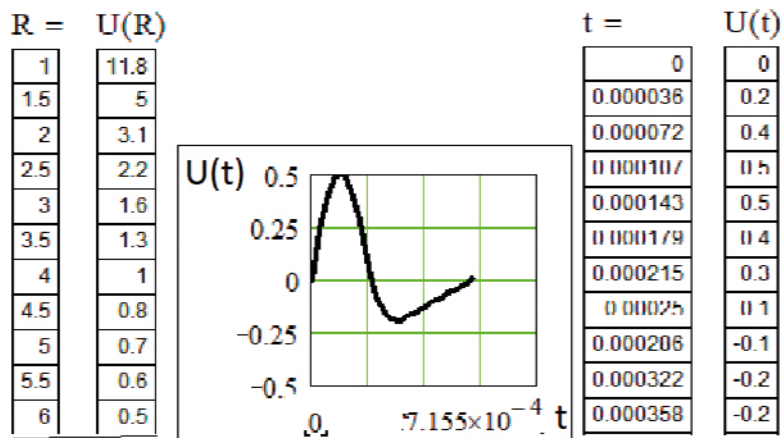


Рис. 11.3.3. Компьютерный график формы сферической волны в координатах «время – фазовые массовые скорости частиц» около обнаженной поверхности

На рис. 11.3.3 представлен компьютерный график формы сферической волны в координатах «время – фазовые массовые скорости частиц» около обнаженной поверхности на расстоянии 6 метров от площадки обустройства уступа.

Графики на рис. 11.3.2 и 11.3.3 имеют разные масштабы по оси Y . Если бы компьютер выбрал одинаковый масштаб, кривая второго графика почти слилась бы с осью X и стала бы недоступна для визуального анализа.

На рис. 11.3.3 в левой части компьютерного графика представлена компьютерная таблица изменения расстояний и максимальной массовой скорости, рассчитанных при шаге счета $\Delta R = 0,5$ м. В правой части компьютерного графика представлена верхняя часть компьютерной таблицы изменения фазовых значений около обнаженной поверхности излучения сферической волны и изменение времени возникновения этих фазовых массовых скоростей. По этой таблице построен компьютерный график на рис. 11.3.3.

Большое практическое значение при определении энергетических параметров имеют формы волны, представленные в координатах «безразмерная или размерная длина волны – фазовые массовые скорости частиц».

На рис. 11.3.4. представлен фрагмент компьютерной программы определения параметров формы волны «безразмерная или размерная длина волны – фазовые массовые скорости частиц».

$$\begin{aligned}
 U &:= 11.8 \quad \Lambda := 2.9 \\
 \lambda &:= 0, 0.1 \dots 2.9 \\
 u1(\lambda) &:= U \cdot \left[\left[\frac{2 \cdot \lambda}{0.18 \cdot \Lambda} - \left(\frac{\lambda}{0.18 \cdot \Lambda} \right)^2 \right] \right] \\
 u2(\lambda) &:= 0.4 \cdot U \cdot \left[\left(\frac{\lambda - 0.36 \cdot \Lambda}{0.18 \cdot \Lambda} \right)^2 - \frac{2 \cdot \lambda - 0.36 \cdot \Lambda}{0.18 \cdot \Lambda} + 2 \right] \\
 u3(\lambda) &:= 0.4 \cdot U \cdot \left(\frac{\lambda}{0.46 \cdot \Lambda} - 2.17 \right) \\
 u(\lambda) &:= \begin{cases} u1(\lambda) & \text{if } 0 \leq \lambda \leq 0.36\Lambda \\ u2(\lambda) & \text{if } 0.36\Lambda < \lambda \leq 0.54\Lambda \\ u3(\lambda) & \text{if } 0.54\Lambda < \lambda \leq \Lambda \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}
 \end{aligned}$$

Рис. 11.3.4. Фрагмент компьютерной программы определения формы волны

На фрагменте задаются или выбираются из предшествующих решений максимальная массовая скорость частиц в точке расчета и длина волны. Представлен блок определения фазовых значений массовых скоростей частиц в зависимости от фазы длины сферической волны.

На рис. 11.3.5 представлены компьютерные графики форм волны в зависимости от фазы длины волны. Левый график представляет форму сферической волны на границе излучения, равной 1 метру от центра излучения. Правый график представляет форму цилиндрической волны на границе излучения, равную 2 метрам от центра излучения.

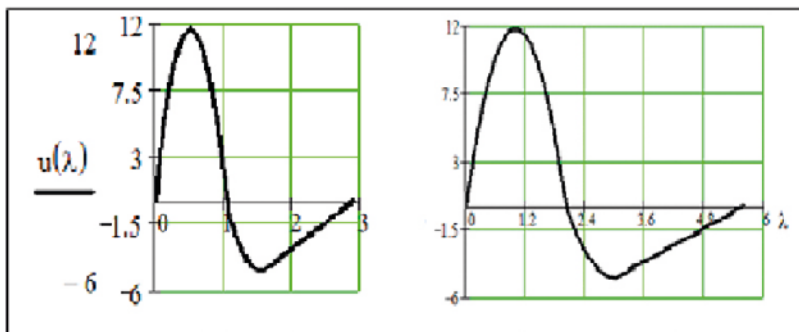


Рис. 11.3.5. Сравнение формы волн сферической и цилиндрической на границе излучения

При равенстве амплитуд сферическая волна два раза ближе к центру излучения, она в два раза короче. Она имеет меньше энергии и быстрее ослабевает при распространении по массиву горных пород.

11.4. Абсолютные деформации частиц в сферической волне напряжений

Изменение смещения частиц a во времени предложено определять по предложенным формулам трехкусочной функции:

$$a = \frac{U}{2} \left(\frac{t^2}{0.18 \cdot T} - \frac{t^3}{3 \cdot 0.18^2 \cdot T^2} \right), \text{ при } 0 \leq t \leq 0.36T;$$

$$a = \frac{-0.4U}{2} \left(\frac{3t^2}{0.18 \cdot T} - \frac{t^3}{3 \cdot 0.18^2 \cdot T^2} - 8t + 0.6T \right), \text{ при } 0.36T \leq t \leq 0.54T;$$

$$a = \frac{2}{2 \cdot 0.46 \cdot T} \left(\frac{t^2}{2 \cdot 0.46 \cdot T} - 2.17 \cdot t + 1.335 \cdot T \right), \text{ при } 0.54T \leq t \leq T.$$

Заменив в этих формулах временные параметры на параметры длины волны, получили формулы, описывающие смещение частиц по длине волны:

$$a = \frac{U}{0.18 \cdot c \cdot \Lambda} \left(\lambda^2 - \frac{\lambda^3}{0.54 \cdot \Lambda} \right), \text{ при } 0 \leq \lambda \leq 0.36\Lambda;$$

$$a = \frac{0.4U}{0.18 \cdot c \cdot \Lambda} \left(\left(\frac{\lambda^3}{0.54 \cdot \Lambda} - 3\lambda^2 \right) + 1.44\lambda\Lambda - 0.108\Lambda^2 \right), \text{ при } 0.36\Lambda \leq \lambda \leq 0.54\Lambda;$$

$$a = \frac{0.4U}{c\Lambda} \left(\frac{\lambda^2}{0.92} - 2.17 \cdot \lambda\Lambda + 1.335 \cdot \Lambda^2 \right), \text{ при } 0.54\Lambda \leq \lambda \leq \Lambda,$$

где c – скорость волны в породе; Λ – длина волны; λ – расстояния по длине волны.

$$\begin{aligned}
 & \text{сфера} \\
 & c := 4000 \quad \Lambda := 2.9 \quad T := \frac{\Lambda}{c} \quad T = 0.000725 \\
 & U := 11.8 \quad \text{на границе излучения} \\
 & t := 0, 0.005 \cdot T .. T \\
 & F1(t) := \frac{U}{2} \cdot \left(\frac{t^2}{0.18 \cdot T} - \frac{t^3}{3 \cdot 0.18^2 \cdot T^2} \right) \\
 & F2(t) := \frac{0.4 \cdot U}{2} \cdot \left[\left(\frac{t^3}{3 \cdot 0.18^2 \cdot T^2} - \frac{3 \cdot t^2}{0.18 \cdot T} \right) + 8 \cdot t \right] - 0.6 \cdot T \\
 & F3(t) := \frac{0.4 \cdot U}{2} \cdot \left(\frac{t^2}{2 \cdot 0.46 \cdot T} - 2.17 \cdot t + 1.335 \cdot T \right) \\
 & a(t) := \begin{cases} F1(t) & \text{if } 0 < t \leq 0.36 \cdot T \\ F2(t) & \text{if } 0.36 \cdot T < t \leq 0.54 \cdot T \\ F3(t) & \text{if } 0.54 \cdot T < t \leq T \\ t & \text{otherwise} \end{cases}
 \end{aligned}$$

Рис. 11.4.1. Фрагмент компьютерной программы определения абсолютных смещений частиц во времени

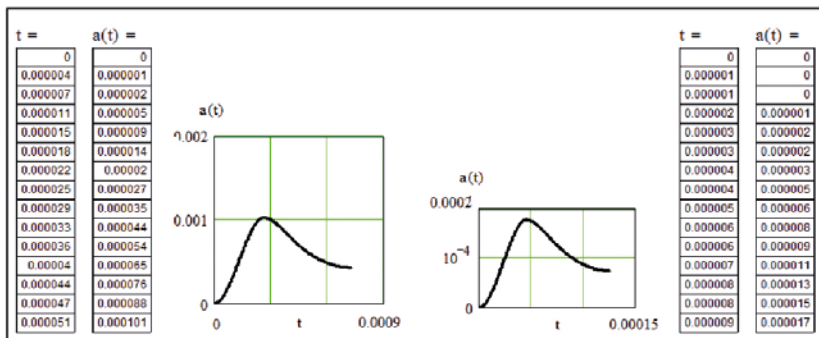


Рис. 11.4.2. Компьютерные графики изменения смещений частиц во времени на границе излучения и около обнаженной поверхности

На рис. 11.4.1 представлен фрагмент компьютерной программы определения абсолютных смещений частиц во времени. На фрагменте приведены условия и начальные параметры на границе излучения, представлено формирование расчетного цикла, представлен блок расчета фазовых значений абсолютных смещений во времени.

На рис. 11.4.2 представлены компьютерные графики изменения смещений частиц во времени на границе излучения и около обнаженной поверхности. Левый график – это смещения на границе излучения сферической волны напряжений. Правый график – это смещения около обнаженной поверхности в 6 метрах от центра излучения сферической волны напряжений.

Слева от графиков представлена компьютерная таблица пошагового во времени расчета фазовых смещений на границе излучения сферической

волны напряжений. По этой таблице построен правый график изменения смещений частиц во времени на границе излучения. Справа таблица пошагового расчета смещений около обнаженной поверхности.

Смещение частиц по длине сферической волны

$$\Lambda := 2.9 \quad U := 11.8$$

$$\lambda := 0.05 \cdot \Lambda \quad \Lambda$$

$$F1(\lambda) := \frac{U}{0.18 \cdot c \cdot \Lambda} \cdot \left(\lambda^2 - \frac{\lambda^3}{0.54 \cdot \Lambda} \right)$$

$$F2(\lambda) := \frac{2.222 \cdot U}{c \cdot \Lambda} \cdot \left(\frac{\lambda^3}{0.54 \cdot \Lambda} - 3 \cdot \lambda^2 + 1.44 \cdot \lambda \cdot \Lambda - 0.108 \cdot \Lambda^2 \right)$$

$$F3(\lambda) := \frac{0.4 \cdot U}{c \cdot \Lambda} \cdot \left(\frac{\lambda^2}{0.92} - 2.17 \cdot \lambda \cdot \Lambda + 1.335 \cdot \Lambda^2 \right)$$

$$a(\lambda) := \begin{cases} F1(\lambda) & \text{if } 0 < \lambda \leq 0.36 \cdot \Lambda \\ F2(\lambda) & \text{if } 0.36 \cdot \Lambda < \lambda \leq 0.54 \cdot \Lambda \\ F3(\lambda) & \text{if } 0.54 \cdot \Lambda < \lambda \leq \Lambda \\ \lambda & \text{otherwise} \end{cases}$$

Рис. 11.4.3. Фрагмент компьютерной программы определения абсолютных смещений частиц в пространстве

На рис. 11.4.3 представлен фрагмент компьютерной программы определения абсолютных смещений частиц в пространстве.

На рис. 11.4.4 представлены компьютерные графики смещения частиц в пространстве в сферической волне. Левый график – это смещение частиц в пространстве на границе излучения сферической волны. В таблице слева представлена верхняя часть компьютерной таблицы пошагового расчета величин смещения на границе излучения.

Правый график – это смещение частиц в пространстве около обнаженной поверхности в 5 метрах от границы излучения сферической волны. В таблице

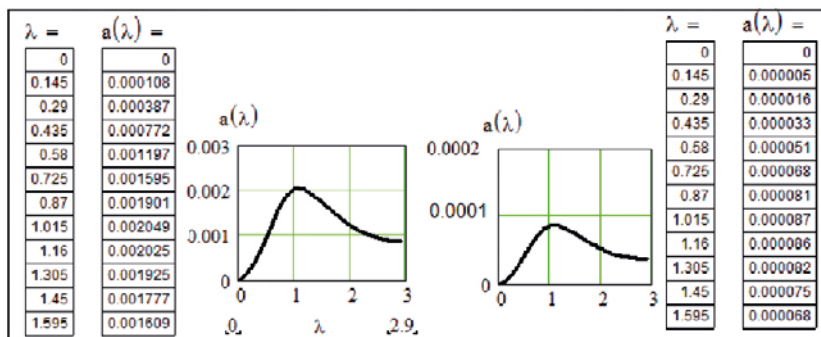


Рис. 11.4.4. Компьютерные графики и таблицы смещения частиц в пространстве в сферической волне справа представлена верхняя часть компьютерной таблицы пошагового расчета величин смещения около обнаженной поверхности.

11.5. Относительные деформации в сферической волне напряжений

Относительные деформации и напряжения в сферической волне напряжений на различных расстояниях от взорванного заряда взрывчатого вещества являются необходимыми параметрами определения всех энергетических параметров волны и определения границ между разными проявлениями разрушающего действия волны.

Продифференцировав уравнения смещения частиц по λ , получили уравнения относительной радиальной и тангенциальной деформации по длине волны:

$$\begin{aligned}\varepsilon_r &= \frac{-U}{0.18 \cdot c \cdot \Lambda} \left(2\lambda - \frac{3\lambda^2}{0.54 \cdot \Lambda} \right), \text{ при } 0 \leq \lambda \leq 0.36\Lambda; \\ \varepsilon_r &= \frac{-2.222 \cdot U}{c \cdot \Lambda} \left(\left(\frac{3\lambda^2}{0.54 \cdot \Lambda} - 6\lambda \right) + 1.44\lambda \right), \text{ при } 0.36\Lambda \leq \lambda \leq 0.54\Lambda; \\ \varepsilon_r &= \frac{-0.4U}{\hbar\Lambda} \left(\frac{2\lambda}{0.92} - 2.17 \cdot \Lambda \right), \text{ при } 0.54\Lambda \leq \lambda \leq \Lambda.\end{aligned}$$

На сферической поверхности формируется два равных по величине тангенциальных составляющих тензора деформации $\varepsilon_{\theta 1} = \varepsilon_{\theta 2} = \varepsilon_{\theta}$:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{\theta} &= \frac{U}{0.18 \cdot c \cdot \Lambda \cdot R} \left(\lambda^2 - \frac{\lambda^3}{0.54 \cdot \Lambda} \right), \text{ при } 0 \leq \lambda \leq 0.36\Lambda; \\ \varepsilon_{\theta} &= \frac{0.4U}{0.18 \cdot c \cdot \Lambda \cdot R} \left(\left(\frac{\lambda^3}{0.54 \cdot \Lambda} - 3\lambda^2 \right) + 1.44\lambda\Lambda - 0.108\Lambda^2 \right), \text{ при } 0.36\Lambda \leq \lambda \leq 0.54\Lambda; \\ \varepsilon_{\theta} &= \frac{0.4U}{\hbar\Lambda \cdot R} \left(\frac{\lambda^2}{0.92} - 2.17 \cdot \lambda\Lambda + 1.335 \cdot \Lambda^2 \right), \text{ при } 0.54\Lambda \leq \lambda \leq \Lambda,\end{aligned}$$

где ε_r – радиальная относительная деформация; ε_{θ} – тангенциальная относительная деформация.

Зная численные значения относительных деформаций, можно определить численные значения сжимающих и растягивающих напряжений на любых расстояниях в зоне технологического дробления породы взрывом.

Максимальное радиальное напряжение в волне на любом расстоянии в зоне ее действия при принятой форме волны формируется в фазе $\lambda = 0,18\Lambda$ и определяется из совместного решения уравнений:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{r1} &= \frac{-U}{0.18 \cdot c \cdot \Lambda} \left(2 \cdot 0,18\Lambda - \frac{3(0,18\Lambda)^2}{0.54 \cdot \Lambda} \right); \\ \varepsilon_{\theta 1} &= \frac{0.4U}{0.18 \cdot c \cdot \Lambda \cdot R} \left(\left(\frac{(0,18\Lambda)^3}{0.54 \cdot \Lambda} - 3(0,18\Lambda)^2 \right) + 1.44(0,18\Lambda)\Lambda - 0.108\Lambda^2 \right);\end{aligned}$$

$$\sigma_{r \max} = \frac{E}{1 - \mu^2} (\varepsilon_{r1} + \mu \varepsilon_{\Theta 1}) .$$

Максимальное тангенциальное напряжение в волне на любом расстоянии в зоне ее действия при принятой форме волны формируется в фазе $\lambda = 0,54\Lambda$ и определяется из совместного решения уравнений:

$$\varepsilon_{r2} = \frac{-U}{0.18 \cdot c \cdot \Lambda} (2 \cdot 0,54\Lambda - 3 \cdot 0,54\Lambda) ;$$

На рис. 11.5.1 представлен фрагмент компьютерной программы определения максимальных значений сжимающих и растягивающих напряжений в падающей сферической волне при взрыве скважинного заряда взрывчатого вещества на уступе карьера. Мы решительно отказываемся считать падающую волну сжимающей волной. Никто и никогда не отрицал тот факт, что в падающей волне напряжений развиваются радиальные трещины под действием тангенциальных растягивающих напряжений. Но и сжимающие напряжения, и растягивающие напряжения рассматривали как не связанные между собой векторные величины. В действительности они являются неразрывными составляющими объемного тензорного напряженного состояния части горного массива.

$$\sigma_{\Theta \max} = \frac{E}{1 - \mu^2} (\varepsilon_{\Theta 2} + \mu \varepsilon_{r2}) .$$

<p>Определение максимальных сжимающих напряжений в сферической волне</p> $\varepsilon_{r1}(R) := \frac{-U(R)}{0.18 \cdot c \cdot \Lambda} \cdot \left[2 \cdot 0.18 \cdot \Lambda - \frac{3 \cdot (0.18 \cdot \Lambda)^2}{0.54 \cdot \Lambda} \right]$ $\varepsilon_{\Theta 1}(R) := \frac{U(R)}{0.18 \cdot c \cdot \Lambda \cdot R} \cdot \left[(0.18 \cdot \Lambda)^2 - \frac{(0.18 \cdot \Lambda)^3}{0.54 \cdot \Lambda} \right]$ $\sigma_{11}(R) := \frac{E}{1 - \mu^2} \cdot (\varepsilon_{r1}(R) + \mu \cdot \varepsilon_{\Theta 1}(R)) \quad \sigma_{111}(R) := \frac{\sigma_{11}(R)}{1000000}$		
<p>Определение максимальных растягивающих напряжений в сферической волне</p> $\varepsilon_{r2}(R) := \frac{-0.4 \cdot U(R)}{c \cdot \Lambda \cdot 0.18} \cdot \left[\frac{3(0.42 \cdot \Lambda)^2}{0.54 \cdot \Lambda} - 6 \cdot (0.42 \cdot \Lambda) + 1.44 \cdot \Lambda \right]$ $BB := \left[\frac{(0.42 \cdot \Lambda)^3}{0.54 \cdot \Lambda} - 3 \cdot (0.42 \cdot \Lambda)^2 + 1.44 \cdot \Lambda \cdot (0.42 \cdot \Lambda) - 0.108 \cdot \Lambda^2 \right]$ $\varepsilon_{\Theta 2}(R) := \frac{0.4 \cdot U(R)}{c \cdot \Lambda \cdot R \cdot 0.18} \cdot BB$ $\sigma_{223}(R) := \frac{E}{1 - \mu^2} \cdot (\varepsilon_{\Theta 2}(R) + \mu \cdot \varepsilon_{r2}(R)) \quad \sigma_{2233}(R) := \frac{\sigma_{223}(R)}{1000000}$		
R =	$\sigma_{111}(R)$	$\sigma_{2233}(R)$
0.954	-180	131
1.054	-131	97
1.154	-100	74
1.254	-92	57
1.354	-79	45
1.454	-70	38
1.554	-63	32
1.654	-58	27
1.754	-53	24
1.854	-46	21
1.954	-44	18
2.054	-41	16
2.154	-36	14
2.254	-36	13
2.354	-33	12
2.454	-31	10

Рис. 11.5.1. Фрагмент компьютерной программы и компьютерная таблица результатов расчета максимальных значений сжимающих и растягивающих напряжений в сферической волне

На рисунке, правее фрагмента программы, представлена компьютерная таблица пошагового расчета максимальных значений сжимающих и растягивающих напряжений на разных расстояниях от центра распространения сферической волны напряжений в верхнем слое карьерного уступа.

В первом столбце представлены расстояния в метрах. Во втором столбце представлены максимальные сжимающие напряжения в МПа. В третьем столбце представлены максимальные растягивающие (тангенциальные) напряжения в МПа.

Сжимающие напряжения по определению в волне напряжений меньше предела прочности породы на сжатие, которое равно 160 МПа. Растягивающие напряжения в волне напряжений превышают предел прочности породы на растяжение, равный 14,7 МПа, до отметки 2 метра от центра распространения сферической волны напряжений. В нашем демонстрационном примере, в зоне от 1 метра до 2 метров, формируются, с убывающей густотой, радиальные трещины. От отметки 2 метра до обнаженной поверхности до отметки 6 метров сферическая волна напряжений горную породу не дробит на куски и не образует в ней трещины.

Формально по изложенной методике можно рассчитывать напряжения на сотни метров от места взрыва. Но авторы напоминают читателям, что использование этой методики расчета напряжений правомерно только в пределах зоны технологического дробления породы взрывом, то есть в пределах чуть больше одной ячейки сетки обуренных скважин на уступе карьера. В нашем демонстрационном примере зона использования методики расчета напряжений сферической волны лежит в границах от 1 до 10 метров, при острой необходимости до 15 метров.

Максимальная массовая скорость является наиболее часто измеряемым в экспериментах параметром слабой волны напряжений. Именно на основе анализа максимальных массовых скоростей или максимальных напряжений часто предпринимаются попытки определить конечные результаты взрыва.

$$\begin{aligned} \lambda &:= 0, \Delta \lambda \dots \Lambda \\ \varepsilon r1(\lambda, R) &:= \frac{-U(R)}{0,18 \cdot c \cdot \Lambda} \cdot \left(2\lambda - \frac{3\lambda^2}{0,54 \cdot \Lambda} \right) \\ \varepsilon r2(\lambda, R) &:= \frac{-0,4 \cdot U(R)}{c \cdot \Lambda \cdot 0,18} \cdot \left(\frac{3\lambda^2}{0,54 \cdot \Lambda} - 6 \cdot \lambda + 1,44 \cdot \Lambda \right) \\ \varepsilon r3(\lambda, R) &:= \frac{-0,4 \cdot U(R)}{c \cdot \Lambda} \cdot \left(\frac{2\lambda}{0,92} - 2,17 \cdot \Lambda \right) \\ \varepsilon r(\lambda, R) &:= \begin{cases} \varepsilon r1(\lambda, R) & \text{if } 0 < \lambda \leq 0,36 \cdot \Lambda \\ \varepsilon r2(\lambda, R) & \text{if } 0,36 \cdot \Lambda < \lambda \leq 0,54 \cdot \Lambda \\ \varepsilon r3(\lambda, R) & \text{if } 0,54 \cdot \Lambda < \lambda \leq \Lambda \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \end{aligned}$$

Рис. 11.5.2. Фрагмент программы определения численных значений радиальной относительной деформации

На рис 11.5.2 представлен фрагмент компьютерной программы определения численных значений радиальной относительной деформации. Представлены зависимости формирования расчетного цикла, определения численных значений радиальных относительных деформаций по трем кускам

функции и зависимости выбора нужного численного значения по зонам действия кусочных функций.

$$\begin{aligned}\varepsilon_{01}(\lambda, R) &:= \frac{U(R)}{0.18 \cdot c \cdot \Lambda \cdot R} \cdot \left(\lambda^2 - \frac{\lambda^3}{0.54 \cdot \Lambda} \right) \\ \varepsilon_{02}(\lambda, R) &:= \frac{0.4 \cdot U(R)}{c \cdot \Lambda \cdot R \cdot 0.18} \cdot AA(\lambda) \\ \varepsilon_{03}(\lambda, R) &:= \frac{0.4 \cdot U(R)}{c \cdot \Lambda \cdot R} \cdot \left[\frac{\lambda^2}{0.92} - (2.17 \cdot \Lambda \cdot \lambda) + 1.335 \cdot \Lambda^2 \right] \\ \varepsilon_{\theta}(\lambda, R) &:= \begin{cases} \varepsilon_{01}(\lambda, R) & \text{if } 0 < \lambda \leq 0.36 \cdot \Lambda \\ \varepsilon_{02}(\lambda, R) & \text{if } 0.36 \cdot \Lambda < \lambda \leq 0.54 \cdot \Lambda \\ \varepsilon_{03}(\lambda, R) & \text{if } 0.54 \cdot \Lambda < \lambda \leq \Lambda \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}\end{aligned}$$

Рис. 11.5.3. Фрагмент программы определения численных значений радиальной относительной деформации

На рис 11.5.3 представлен фрагмент компьютерной программы определения численных значений тангенциальной относительной деформации. Представлены зависимости формирования расчетного цикла определения численных значений тангенциальных относительных деформаций по трем кускам функции и зависимости выбора, нужного численного значения по зонам действия кусочных функций.

Формулы для определения численных значений относительных деформаций и составляющих тензора напряжений сферической волны, на первый взгляд, похожи на формулы для определения численных значений относительных деформаций и составляющих тензора напряжений цилиндрической волны. Но при внимательном их рассмотрении можно заметить и различия в них. У них разные радиусы излучения, разная длина волны и разная интенсивность изменения максимальных массовых скоростей частиц.

Но главное, о чем всегда нужно помнить, по этим похожим формулам определяются на одних и тех же расстояниях совершенно разные численные значения искомых параметров цилиндрических и сферических волн.

11.6. Тензор напряжений сферической волны

Сферическая волна напряжений формирует в горном массиве тензор напряжений в сферической системе координат в представленном виде:

$$T_n = \begin{pmatrix} \sigma_r & \tau_{r\theta} & 0 \\ \tau_{\theta r} & \sigma_\theta & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_z \end{pmatrix},$$

Зная относительные деформации и упругие свойства породы, традиционными методами определили изменение составляющих тензора напряжений вдоль длины волны:

$$\sigma_r = \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_r + \mu \varepsilon_\theta);$$

$$\sigma_\theta = \sigma_{\theta 1} = \sigma_{\theta 2} = \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_\theta + \mu \varepsilon_r),$$

где σ_r , σ_θ – составляющие тензора напряжений; E – модуль упругости; μ – коэффициент Пуассона.

Особенностью сферической симметрии является то, что вторым и третьем составляющими тензора напряжений являются равные между собой тангенциальные составляющие тензора напряжений.

<p>Радиальная составляющая тензора напряжений в сферической волне на каждом шаге расчета</p> $\sigma 1(\lambda, R) := \frac{E}{1-\mu^2} \cdot (\varepsilon r(\lambda, R) + \mu \cdot \varepsilon \theta(\lambda, R))$ <p>Тангенциальные составляющие тензора напряжений в сферической волне на каждом шаге расчета</p> $\sigma 2(\lambda, R) := \frac{E}{1-\mu^2} \cdot (\varepsilon \theta(\lambda, R) + \mu \cdot \varepsilon r(\lambda, R))$ $\sigma 3(\lambda, R) := \sigma 2(\lambda, R)$
--

Рис. 11.6.1. Фрагмент компьютерной программы определения составляющих тензора напряжений

На рис 11.6.1 представлен фрагмент компьютерной программы определения составляющих тензора напряжений. На фрагменте представлены зависимости определения численных значений, всех составляющих тензора напряжений сферической волны напряжений. Численные значения составляющих тензора напряжений определяются в зависимости от двух переменных λ и R , по каждому из которых организованы совместно действующие расчетные циклы.

На рис. 11.6.2 представлены рассчитанные графики фазовых изменений, составляющих тензора напряжений на границе излучения волны. Сплошной линией представлено фазовое изменение радиального сжимающего напряжения. Штрихпунктирной линией представлено фазовое изменение

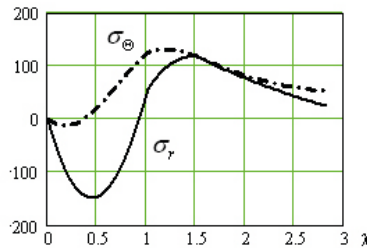


Рис. 11.6.2. Графики фазовых изменений составляющих тензора напряжений на границе излучения волны

тангенциального растягивающего напряжения. В нашем примере в тензоре напряжений два главных составляющих тензора представлены тангенциальными напряжениями, отображаемыми штрихпунктирной линией.

11.7. Энергии сферической волновой фазы

Энергии сферической волновой фазы взрыва скважинного заряда в карьере определяется с использованием фазовых значений тензора напряжений, которые в свою очередь определяются с использованием фазовых значений тензора относительных деформаций вдоль длины волны.

Энергию взрыва скважинного заряда, переданную в волну напряжений на любом расстоянии от центра взрыва сферической части волновой зоны в пределах зоны технологического дробления пород взрывом, по верхнему слою уступа, с сферической симметрией развития процесса, предложено определять по формулам:

$$A(\lambda) = 2\mu(\sigma_r(\lambda)\sigma_\theta(\lambda) + \sigma_\theta(\lambda)\sigma_z(\lambda) + \sigma_z(\lambda)\sigma_r(\lambda));$$

$$\mathcal{E}_{\text{вф}} = \frac{2\pi R^2}{E} \int_0^\Lambda \left((\sigma_r(\lambda))^2 + (\sigma_\theta(\lambda))^2 + (\sigma_z(\lambda))^2 - A(\lambda) \right) d\lambda,$$

где $-A(\lambda)$ искусственно отделенная от нижерасположенной формулы часть громоздкой формулы.

По этим формулам определяется энергия сферической волны напряжений на любом расстоянии от центра взрыва в пределах зоны технологического дробления породы взрывом скважинного заряда в карьере.

На рис. 11.7.1 представлен фрагмент компьютерной программы определения численных значений энергии сферической волны на разных расстояниях от центра ее распространения.

На рис. 11.7.2 представлен компьютерный график изменения энергии сферической волны напряжений в джоулях с удалением от центра ее распространения.

Энергия сферической волны излученная через поверхность с
радиусом R

$$A(\lambda, R) := 2 \cdot \mu \cdot (\sigma_1(\lambda, R) \cdot \sigma_2(\lambda, R) + \sigma_2(\lambda, R) \cdot \sigma_3(\lambda, R) + \sigma_3(\lambda, R) \cdot \sigma_1(\lambda, R))$$

$$\mathcal{E}_{\text{всф}}(R) := \frac{\pi \cdot 2 \cdot R^2}{E} \cdot \int_0^\Lambda \left[((\sigma_1(\lambda, R))^2 + ((\sigma_2(\lambda, R)))^2 \cdot 2 - A(\lambda, R)) \right] d\lambda$$

$$\mathcal{E}_{1\text{всф}}(R) := \begin{cases} 0 & \text{if } R \leq R_{\text{дсф}} \\ \mathcal{E}_{\text{всф}}(R) & \text{if } R > R_{\text{дсф}} \end{cases}$$

Рис. 11.7.1. Фрагмент компьютерной программы определения численных значений энергии сферической волны

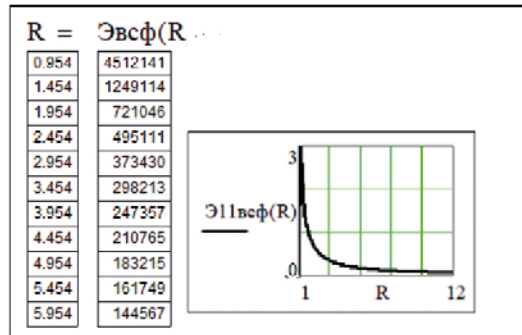


Рис. 11.7.2. Компьютерный график изменения энергии сферической волны в МДж

Рядом с графиком расположена компьютерная таблица пошагового расчета энергии сферической волны на разных расстояниях от центра ее пространства.

11.8. Распределение энергии и плотности энергии разрушения сферической волновой фазы вдоль радиуса

Величина расчетных объемов во всех зонах действия трех фаз процесса в верхнем слое карьерного уступа определяется с использованием фазовых численных значений, по формуле

$$\Delta V = \frac{4}{3} \pi (R_i - R_{i-1}),$$

где R_i, R_{i-1} – радиусы внешней и внутренней поверхности расчетных объемов.

Величина энергии разрушения во всех зонах действия трех фаз процесса в верхнем слое карьерного уступа определяется с использованием фазовых численных значений по формуле

$$\Delta \mathcal{E} = (\mathcal{E}_i - \mathcal{E}_{i-1}),$$

где $\mathcal{E}_i, \mathcal{E}_{i-1}$ – энергии разрушения на внешней и внутренней поверхности расчетных объемов.

Плотность энергии разрушения во всех зонах действия трех фаз процесса в верхнем слое карьерного уступа определяется с использованием фазовых численных значений по формуле

$$\Pi \mathcal{E} = \frac{\Delta \mathcal{E}}{\Delta V}.$$

Разработаны методики и компьютерные программы в оболочке MathCad, позволяющие рассчитать многие параметры развития квазистатической, волновой и камуфлетной фаз взрыва в верхнем слое карьерного уступа и крупность дробления породы совместным действием этих фаз с учетом категории трещиноватости горных пород.

Энергия разрушения в каждом расчетном слое определяется по предложенной формуле

$$\Delta \mathcal{E} p = \mathcal{E}_{Ri} - \mathcal{E}_{R(i+1)}.$$

Плотность энергии разрушения в расчетном слое толщиной ΔR определяется по предложенной формуле

$$\Pi_{\mathcal{E}} = \frac{\Delta \mathcal{E} p}{\frac{4\pi}{3} \left[(R + \Delta R)^3 - R^3 \right]}.$$

Линейный размер куска породы в расчетном слое толщиной ΔR , разрушенной действием камуфлетной фазы взрыва, определяется по предложенной формуле

$$d_{\kappa} = \frac{18e}{\Pi_{\mathcal{E}}},$$

где e — энергия образования единицы новой поверхности при разрушении породы взрывом.

В литературе отводится существенная роль разрушающему действию отраженной волны напряжений. Но, сравнивая маленькие массовые скорости в отраженной волне со скоростями в падающей волне, трудно с этим утверждением согласиться.

$$\begin{aligned} \Delta V_{\text{ксф}}(R) &:= \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \left[(R + \Delta R)^3 - R^3 \right] \\ \Pi_{\mathcal{E}2\text{сф}}(R) &:= \frac{\mathcal{E}_{\text{с}}(R)}{\Delta V_{\text{ксф}}(R)} \\ \Pi_{\mathcal{E}в}(R) &:= \begin{cases} 0 & \text{if } R \leq R_{\text{дсф}} \\ \Pi_{\mathcal{E}2\text{сф}}(R) & \text{otherwise} \end{cases} \\ \text{Размер кусков в слое толщиной } \Delta R, \text{ за счет энергии волновой фазы} \\ d_{\text{в}}(R) &:= \begin{cases} 0 & \text{if } R \leq R_{\mathcal{E}2\text{сф}} \\ \left(\left(\frac{18 \cdot e}{\Pi_{\mathcal{E}2\text{сф}}(R)} \right) \right) & \text{if } R > R_{\mathcal{E}2\text{сф}} \end{cases} \\ d_{\text{в}}(R) &:= \begin{cases} 0 & \text{if } R \leq R_{\mathcal{E}2\text{сф}} \\ \left(\left(\frac{18 \cdot e}{\Pi_{\mathcal{E}2\text{сф}}(R)} \right) \right) & \text{if } R > R_{\mathcal{E}2\text{сф}} \end{cases} \end{aligned}$$

Рис. 11.8.1. Фрагмент программы определения распределенной плотности энергии в зоне действия сферической волны

В таблице 11.8.2 представлены выбранные через 1 метр значения максимальных массовых скоростей падающей и отраженной волн по самому короткому и самому нагруженному волной направлению от центра сферической зоны до свободной поверхности (обуриваемой площадки) на уступе карьера.

В наиболее близкой к центру точке, на границе излучения слабой волны напряжений, максимальная массовая скорость в волне в нашем примере равна 11,8 м/с. Около поверхности уступа максимальная скорость в падающей волне равна 0,52 м/с. На отрезке в 5 м максимальная массовая скорость уменьшилась в 20 раз. В отраженной волне у обнаженной поверхности максимальная массовая скорость равна 0,39 м/с. Скорость в вернувшейся к заряду волне равна 0,17 м/с.

В последнем столбце таблицы представлена максимально возможная сумма максимальных скоростей. Такая сумма могла бы быть, если бы волны накладывались во всех точках зоны возмущения в максимальной фазе. Но такие условия не реализуются. Волны накладываются в разных фазах, и сумма максимальных скоростей будет почти всегда меньше цифр, указанных в четвертом столбце.

На рис. 11.8.2 представлена таблица, составленная из фрагментов столбцов-векторов, полученных при толщине расчетных слоев 0,5 м.

R =	U(R) = $\sigma_{111}(R)$	$\sigma_{2233}(R)$	$\varepsilon_c(R) =$	$\Pi \varepsilon_b(R) = d_b(R) =$		
0.954	11.8	-160	131	0	0	0
1.054	9.571	-131	97	827477	539897	0.533
1.154	7.912	-109	74	557497	305065	0.942
1.254	6.645	-92	57	390077	182462	1.578
1.354	5.656	-79	45	202617	81761	3.522
1.454	5.032	-70	38	152856	53755	5.358
1.554	4.524	-63	32	122637	37919	7.595
1.654	4.095	-58	27	100058	27414	10.508
1.754	3.728	-53	24	82917	20270	14.208
1.854	3.411	-48	21	69601	15275	18.855
1.954	3.136	-44	18	59119	11712	24.59
2.054	2.895	-41	16	50722	9116	31.592
2.154	2.683	-38	14	43937	7196	40.02
2.254	2.495	-36	13	38379	5752	50.088
2.354	2.328	-33	12	33779	4651	61.929
2.454	2.178	-31	10	29934	3799	75.817

Рис. 11.8.2. Фрагмент столбцов-векторов изменения с расстоянием максимальных радиальных и тангенциальных напряжений в МПа/м² в слабой волне напряжений

В первом столбце-векторе представлены расстояния в метрах расчетных слоев от центра распространения сферической волны. Последняя строка столбца-вектора примыкает к верхней поверхности, с которой производится бурение скважин в карьере. Длина забойки в скважине 6 метров.

Во втором столбце-векторе максимальная массовая скорость (в м/с) в волне напряжений.

В третьем столбце-векторе максимальное значение радиального сжимающего напряжения в МПа/м². Граница излучения волны напряжений определяется по условию $\sigma_{rmax} = \sigma_{сж}$. В нашем примере предел прочности гранита на сжатие 160 МПа/м².

В четвертом столбце-векторе максимальное значение тангенциального растягивающего напряжения в МПа/м². По этому параметру определяется внешняя граница формирования радиальных трещин при распространении волны по условию $\sigma_{\theta max} = \sigma_{рас}$. В нашем примере предел прочности гранита на растяжение 15 МПа/м². В шестой строке четвертого столбца расчетное максимальное тангенциальное напряжение в волне равно 15,5 МПа/м². В нашем примере отдельные радиальные трещины будут доходить до поверхности с радиусом 3,4 м. За пределами этой поверхности волна напряжений породу не разрушает. Дальше могут «оживляться» ранее существовавшие и залеченные трещины.

Но судить о факте дробления породы внутри объема с радиусом 3,4 м и о крупности дробления по численным значениям параметров напряжения не представляется возможным. Следует различать понятия «разрушение породы» и «дробление породы», тем более «технологическое дробление породы». В наших представлениях технологическое дробление породы — это дробление заданного объема породы при заданных технологических параметрах до технологически приемлемой крупности.

В пятом столбце-векторе представлена энергия, поглощенная в каждом расчетном слое, в Дж.

В шестом столбце-векторе представлена плотность энергии в каждом расчетном слое в Дж/м³.

Дробление породы взрывом на куски происходит при обязательном выполнении двух условий:

- в дробимом объеме напряжения должны быть выше предела прочности породы;

- дробление породы на куски с линейным размером меньше линейного размера дробимого объема должно быть обеспечено энергетически.

В седьмом столбце таблицы представлены расчетные линейные размеры кусков породы при плотности энергии разрушения, представленной в пятом столбце. Линейный размер дробимого объема 6 метров. Линейные размеры кусков во много раз больше не только толщины расчетных слоев 0,5 метра, но больше линейного размера всего дробимого объема. А это значит, что дробление породы в зоне действия слабой волны напряжений не обеспечено энергетически. Не могут же куски породы быть больше дробимого объема.

Наложение падающих и отраженных волн, наложение волн от соседних взрываемых зарядов не изменяет положения. Слабые волны напряжений разрушают породу, формируют радиальные трещины, но не дробят породу на куски.

В верхнем 6-метровом слое уступа, который примыкает к забойке, порода дробится до отметки 0,625 м от центра распространения верхней сферической волны напряжений, далее развиваются радиальные трещины до отметки 3,4 м. За пределами 3,4 м и до 6 м в слое толщиной 2,6 м порода не подвергается разрушающему действию волновой фазой взрыва. Но на зону действия волн напряжений накладывается с отставанием во времени квазистатическая фаза взрыва. В этой статье не рассматривается вопрос о влиянии квазистатической фазы на конечные результаты взрыва.

Таким образом, авторами предложена модель сферической формы заряда, полости и зоны камуфлетного действия взрыва в верхней концевой части скважинного заряда конечной длины.

Разработаны индивидуальные математические зависимости для определения объемов и параметров камуфлетной фазы взрыва в верхнем слое карьерного уступа, расположенного выше скважинного заряда.

Разработана методика и компьютерная программа расчета распределения энергии разрушения и распределения плотности энергии разрушения камуфлетной и волновой фаз взрыва в верхней зоне карьерного уступа.

Разработана методика расчета крупности дробления породы и трещинообразования камуфлетной и волновой фазами взрыва в пределах верхней зоне карьерного уступа.

Глава 12. Сферическая квазистатическая фаза взрыва

12.1. Общие сведения о сферической квазистатической фазе взрыва

В технической литературе дается, главным образом, качественное описание развития квазистатической (поршневой) фазы взрыва. Под квазистатическим действием взрыва мы понимаем процессы, которые развиваются в горном массиве на стадии вторичного, после волнового расширения газовой полости, заполненной продуктами детонации. Такое понимание квазистатического действия взрыва, модели и теория квазистатической фазы взрыва предложены доктором технических наук Н.Н. Казаковым. Аналитические зависимости определения параметров процессов разработаны Казаковым Н.Н., Шляпиным А.В., Лапиковым И.Н.

Вторичное расширение сферической газовой полости начинается после того, когда волна напряжений дойдет до верхней поверхности уступа, отразится от свободной поверхности, и отраженная волна дойдет до камуфлетной газовой полости. Завершается процесс вторичного расширения сферической газовой полости в момент начала прорыва продуктов детонации в атмосферу.

При больших расстояниях от обуренных поверхностей, сферическая квазистатическая фаза взрыва не развивается вообще и взрыв не производит технологическое дробление горных пород этой фазой.

Величина энергии, переданная по любому направлению от центра взрыва, при развитии сферической квазистатической фазы взрыва определяется длиной смещения внешней границы сферической квазистатической полости по этому направлению. Начальные площади направлений могут выбираться произвольно. Но они должны быть равными между собой.

12.2. Главные идеи и модели сферической квазистатической фазы взрыва и зоны ее действия

Нами предложена совмещенная геометрическая и физическая модель сферической части квазистатической полости, представленная на рис. 12.2.1. Квазистатическая полость на рис. 12.2.1 закрашена желтым цветом. В верхней части рисунка представлен вертикальный разрез полости по линии наименьшего сопротивления в обуренном карьерном блоке по проектной сетке скважин, заряженных взрывчатым веществом. Рассматривается один скважинный заряд.

В нижней части рисунка представлен горизонтальный разрез уступа по площадке соприкосновения забойки с верхней кромкой скважинного заряда.

Белые окружности, внедряющиеся в желтые окружности — это камуфлетная квазистатическая полость. Верхняя жирная полоса — это площадка обуривания уступа. Вертикальная жирная полоса и в верхней части рисунка, и в нижней части рисунка — это боковая обнаженная поверхность.

Криволинейные треугольники на рисунке — это части дробимой породы, лежащие за пределами квазистатической полости.

Модель квазистатической полости представляет собой чуть больше четверти шарового объема с радиусом R_n .

Основным принципом, связывающим геометрические параметры развития сферической, квазистатической фазы взрыва скважинного заряда в карьере, является принятое положение: по любому направлению в квазистатической полости передается энергия, пропорциональная величине смещения внешней границы полости в этом направлении, а распределяется энергия по всей длине направления до внешней границы дробимого или обрушаемого объема породного массива.

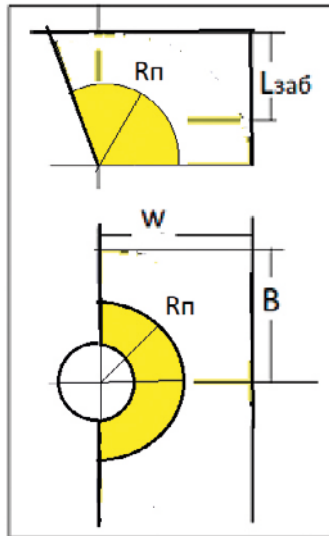


Рис. 12.2.1. Модель сферической части квазистатической полости

12.3. Определение объема сферической квазистатической полости

Сферическая часть квазистатической полости представляет собой часть шаровой полости по объему немного больше четверти шара. Радиус сферической квазистатической полости определяется по предложенной формуле

$$R_n = W \frac{\Lambda_{сф}}{\Lambda_{ц}},$$

Где W — ЛНС; $\Lambda_{сф}$ — длина сферической квазистатической волны напряжений; $\Lambda_{ц}$ — длина цилиндрической квазистатической волны напряжений.

Объем сферической квазистатической полости определяется по предложенной формуле

$$V_{квсф} = \frac{4}{6} \pi R_n^3 \frac{105}{180},$$

где R_n – радиус квазистатической полости во всех ее активных направлениях.

На рис. 12.3.1 представлен фрагмент компьютерной программы с начальными условиями расчета параметров сферической квазистатической фазы взрыва.

На рис. 12.3.2 представлен фрагмент компьютерной программы определения объема сферической квазистатической полости. В нашем примере объем сферической квазистатической равен 31,3 м³.

Начальные параметры сферической квазистатической фазы				
$L_{заб} := 6$	$gr := 0.237$	$r_0 := 0.125$	$\alpha := 1$	$w := 6$
$L_{зар} := 11$	$L_{заб} := 6$	$L_{пер} := 2$	$f := 16$	$B := 6$
Из расчета предшествующих фаз				
$V_p := 1.9 \text{ м}^3$	$P_1 := 199177050 \text{ Па}$	$V_p := 1.91 \text{ м}^3$		
$Эз := 2034638738 \text{ Дж}$	$Эз1 := 1266899806 \text{ Дж}$	62.3%		
$Эрц := 658864261 \text{ Дж}$	$Эрсф := 22874873 \text{ Дж}$			
$\Delta_c := 5.9 \text{ м}$	$\Delta_{сф} := 2.9 \text{ м}$			
Объем метрового слоя цилиндрической части квазистатической полости				
$V_{сп} := 40.8 \text{ м}^3$				

Рис. 12.3.1. Фрагмент компьютерной программы с начальными условиями расчета параметров сферической квазистатической фазы взрыва

Расчет объема сферической квазистатической полости	
Объем цилиндрической части квазистатической полости к концу второй	
$V_{цк} := V_{сп} \cdot (L_{зар} - L_{пер} - r_0)$	$V_{цк} = 362.1 \text{ м}^3$
Радиус квазистатической полости	
$R_n := \frac{\Delta_{сф}}{\Delta_c} \cdot w$	$R_n = 2.9 \text{ м}$
Объем сферической квазистатической части полости	
$V_{квсф} := \frac{4}{3 \cdot 2} \cdot \pi \cdot [(R_n)^3] \cdot \frac{105}{180}$	$V_{квсф} = 31.3 \text{ м}^3$

Рис. 12.3.2. Фрагмент компьютерной программы определения объема сферической квазистатической полости

12.4. Определение энергии разрушения и остаточной энергии в газовой полости

Задача дробления породы квазистатической фазой взрыва решается путем условного разбиения всего объема породы в верхнем слое уступа, примыкающего к забойке, на активные направления и условного разбиения объема каждого направления на расчетные слои (объемы).

Активные направления представляют собой четырехгранные пирамиды, сходящиеся вершинами в центре полости. При приближении к границам отбываемого объема площадь их основания возрастает. Основания и сечения пирамид являются частями сфер разного диаметра.

Площади активных направлений на поверхности камуфлетной полости могут выбираться произвольно. Но они должны быть одинаковыми в сферической части полости.

Давление в квазистатической полости		
$V_H := V_p$	$V_i := V_{квсф} + V_{цк}$	$V_i = 393 \quad \text{м}^3$
$P_i := P_1 \cdot \left(\frac{V_H}{V_i}\right)^{1.3}$		$P_i = 194214 \quad \text{Па}$
Оставшаяся энергия в квазистатической полости к концу развития квазистатической фазы		
$Э_i := \frac{P_i \cdot V_i}{0.3}$		$Э_i = 254703510 \quad \text{Дж}$
$Э_i\% := \frac{Э_i \cdot 100}{Э_3}$		$Э_i\% = 12.5 \quad \%$
Энергия разрушения в квазистат. полости		
$Э_{рквс} := Э_{о1} - Э_i$		$Э_{рквс} = 1012196296 \quad \text{Дж}$
Энергия разрушения в сферической квазистатической полости верхнего слоя		
$Э_{рсфквз} := Э_{рквс} \cdot \frac{V_{квсф}}{V_i}$		$Э_{рсфквз} = 80622431 \quad \text{Дж}$

Рис. 12.4.1. Фрагмент компьютерной программы определения энергии разрушения в сферической квазистатической полости верхнего слоя

На рис. 12.4.1 представлен фрагмент компьютерной программы определения энергии разрушения в сферической квазистатической полости.

Во фрагменте представлены численные значения технологических параметров демонстрационного варианта взрывания скважинного заряда в карьере. В качестве исходных выбраны результаты расчета предшествующих фаз процесса.

Во фрагменте определяется давление во всей квазистатической полости. В нашем варианте давление равно 194214 Па.

Определяется остаточная энергия во всей квазистатической полости. В нашем примере остаточная энергия равна 254,7 МДж, что составляет 12,5% от энергии заряда. Эта энергия будет затрачена на перемещение отбитой горной массы и на формирование развала породы.

Определяется энергия разрушения во всей квазистатической полости и энергия разрушения в сферической квазистатической полости. В нашем примере энергия разрушения в сферической части квазистатической полости равна 80,6 МДж.

12.5. Распределение энергии разрушения по выбираемым направлениям

Количество и размер направлений выбирается произвольно. Выбираемые направления одинакового поперечного сечения представляют собой четырехугольные пирамиды, сходящиеся вершинами в центре распространения сферической квазистатической волны напряжений. Их поперечное сечение определяется углами раствора в двух перпендикулярных направлениях $\alpha = \beta$. Основания пирамид и любые их поперечные сечения являются частью сферических поверхностей с разными радиусами.

В нашем варианте приняли углы раствора пирамид, равные 5° . Количество пирамид определяется по формуле

$$N_n = \frac{105}{\alpha} \frac{180}{\beta}.$$

Количество направлений при $\alpha = 5$ градусам при $\Delta\alpha := 5$			
$N_{n1} := \frac{105}{\Delta\alpha}$	$N_{n1} = 21$	$N_{n2} := \frac{180}{\Delta\alpha}$	$N_{n2} = 36$
$N_n := N_{n1} \cdot N_{n2}$		$N_n = 756$	

Рис. 12.5.1. Фрагмент программы определения количества выбранных направлений

На рис 12.5.1 представлен фрагмент компьютерной программы определения количества выбранных направлений N_n .

В нашем варианте при углах раствора 5° выбрано 756 направлений, которые покрывают весь объем сферической квазистатической полости.

Энергия разрушения сферической квазистатической фазы по каждому направлению определяется по предложенной формуле

$$\mathcal{E}N = \frac{\mathcal{E}_{рсфквз}}{N_n},$$

где $\mathcal{E}_{рсфквз}$ – энергия разрушения сферической квазистатической фазы по всем направлениям.

12.6. Определение расстояний от центра взрыва до внешних границ сферической квазистатической зоны

При распределении энергии разрушения сферической квазистатической фазы необходимо знать расстояния от центра распространения сферической волны напряжений в верхнем слое карьерного уступа до внешних границ зоны действия сферической квазистатической фазы. Это есть расстояния от одного угла объемной прямоугольной фигуры до любой точки на всех шести плоскостях объемной прямоугольной фигуры. Они определяются с использованием хорошо известных геометрических и тригонометрических формул. Опорными величинами в формулах являются углы α , β , γ , и линейные параметры: $L_{заб}$; w и полуширина воронки выброса B .

Из-за большого числа формул и громоздкости их комбинаций мы не приводим их в тексте.

На рис. 12.6.1 представлен фрагмент компьютерной программы определения граничных расстояний до точек перелома кривых, описывающих изменение их численных значений. В первой строке граничный радиус направления 6 м от центра распространения сферической волны напряжений до площадки обруивания уступа.

Характерные направления				
NN1	$\alpha := 0$	$\beta := 0$	$R1r := L3a6$	$R1r = 6 \text{ м}$
NN2	$\alpha := 0$	$\beta := 45$	$R2r := \sqrt{L3a6^2 + w^2}$	$R2r = 8.5 \text{ м}$
NN3	$\alpha := 45$	$\beta := 45$	$R3r := \sqrt{w^2 + B^2}$	$R3r = 8.5 \text{ м}$
NN4	$\alpha := 45$	$\beta := 45$	$R4r := \sqrt{L3a6^2 + w^2 + B^2}$	$R4r = 10.4 \text{ м}$

Рис. 12.6.1. Фрагмент компьютерной программы определения граничных расстояний до точек перелома кривых изменения их величины

Во второй строке граничный радиус направления 8,5 м от центра распространения сферической волны напряжений до свободной поверхности на площадке обруивания уступа.

В четвертой строке граничный радиус направления 10,4 м от центра распространения сферической волны напряжений до крайней точки воронки выброса на верхней площадке обруивания уступа. Величина всех граничных радиусов в нашем примере будет лежать в пределах от 6 м до 10,4 м.

12.7. Распределение энергии разрушения по выбранному направлению

Каждое выбранное направление условно разбивается вдоль радиуса на расчетные объемы толщин ΔR . Каждый расчетный объем представляет собой часть сферического слоя разных диаметров.

Энергия разрушения сферической квазистатической фазы вдоль направления определяется по предложенной формуле

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}N \left[1 - \sqrt[3]{\left(\frac{R - rp}{R_r - rp} \right)^2} \right].$$

Энергия разрушения сферической квазистатической фазы в расчетном слое определяется по предложенной формуле

$$\Delta \mathcal{E} = \mathcal{E}_{R-\Delta R} - \mathcal{E}_R.$$

Объем расчетных элементов в выбранном направлении определяется по предложенной формуле

$$\Delta V = \frac{2\pi}{3N_H} \left[(R + \Delta R)^3 - R^3 \right].$$

Плотность энергии разрушения в расчетном слое по выбранному направлению определяется по предложенной формуле

$$\Pi \mathcal{E}_{рсфн} = \frac{\Delta \mathcal{E}_{рсфквз}}{\frac{2\pi}{3N_n} \left[(R + \Delta R)^3 - R^3 \right]},$$

где $\Delta \mathcal{E}_{рсфквз}$ – энергия разрушения сферической квазистатической фазы; N_n – количество выбранных направлений.

Линейный размер куска породы в расчетном слое в выбранном направлении определяется по предложенной формуле

$$dk = \frac{18e}{\Pi \mathcal{E}_{рсфн}}.$$

С использованием изложенных моделей и формул составлена компьютерная программа в оболочке MathCad, позволяющая впервые рассчитать многие параметры развития квазистатической фазы взрыва в верхнем концевом сферическом слое вплоть до крупности дробления породы при взрыве скважинного заряда конечной длины в карьерах.

Энергия разрушения сферической квазистатической фазы и ее распределение по расчетным объемам

$$\mathcal{E}(R) := \begin{cases} \left[\mathcal{E}_N \cdot \left[1 - \sqrt{\left(\frac{R - rp}{Rr - rp} \right)^2} \right]^3 \right] & \text{if } R \leq Rr \\ 0 & \text{if } R > Rr \end{cases}$$

$$\Delta \mathcal{E}(R) := \begin{cases} 0 & \text{if } R \leq rp \\ (\mathcal{E}(R - \Delta R) - \mathcal{E}(R)) & \text{if } rp < R \leq Rr \\ 0 & \text{if } R > Rr \end{cases}$$

Объем породы в расчетном слое по одному направлению

$$\Delta V1N(R) := \left[\frac{0.5 \cdot 4}{3 \cdot N_n} \cdot \pi \cdot \frac{105}{180} \cdot \left[(R + \Delta R)^3 - R^3 \right] \right]$$

$$\Delta V(R) := \begin{cases} 0 & \text{if } R = rp \\ \Delta V1N(R) & \text{if } R < Rr \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Плотность энергии в расчетном слое по выбранному направлению

$$\Pi \mathcal{E}сф(R) := \begin{cases} 0 & \text{if } R \leq rp \\ \left(\frac{\Delta \mathcal{E}(R)}{\Delta V(R)} \right) & \text{if } rp < R < Rr \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Линейный размер куска породы в расчетном слое в выбранном направлении

$$e := 1000 \cdot f \quad Rr = 6$$

$$dkсф(R) := \begin{cases} 0 & \text{if } R \leq rp \\ \frac{18 \cdot e}{\Pi \mathcal{E}сф(R)} & \text{if } rp < R < Rr \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Рис. 12.7.1. Фрагмент компьютерной программы определения энергии разрушения сферической квазистатической фазы и ее распределения по расчетным объемам

На рис. 12.7.1 представлен фрагмент компьютерной программы определения энергии разрушения сферической квазистатической фазы и ее распределения по расчетным объемам.

Во фрагменте программы представлены элементы расчета энергии разрушения, энергии разрушения в расчетных объемах, величины расчетных объемов, плотности энергии в расчетных объемах и крупности кусков раздробленной породы.

На рис. 12.7.2 представлен компьютерный график изменения энергии разрушения сферической квазистатической фазы вдоль одного из условно выбранных направлений. График является типичным практически для всех направлений. Графики различаются лишь численными значениями энергии и расстояний до границы действия сферической квазистатической фазы.

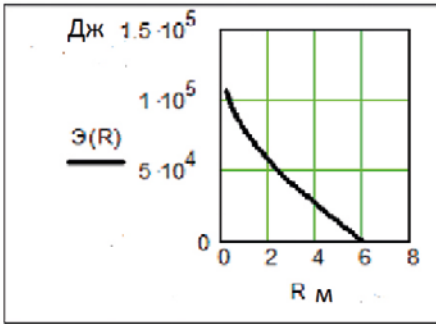


Рис. 12.7.2. Компьютерный график изменения энергии разрушения сферической квазистатической фазы

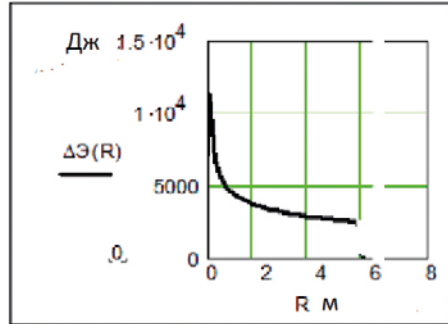


Рис. 12.7.3. Компьютерный график изменения энергии разрушения сферической квазистатической фазы

На рис. 12.7.3 представлен график изменения энергии разрушения сферической квазистатической фазы в расчетных объемах сферической квазистатической фазы вдоль одного из условно выбранных направлений. В разных выбранных направлениях численные параметры изменяются. Но форма графика остается неизменной.

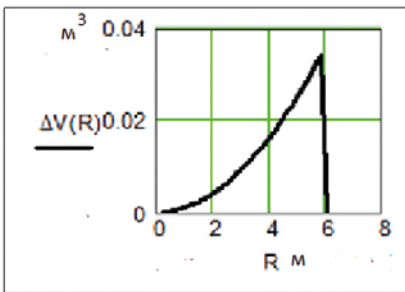


Рис. 12.7.4. Компьютерный график изменения условно выделенных расчетных объемов с удалением от центра распространения сферической квазистатической фазы

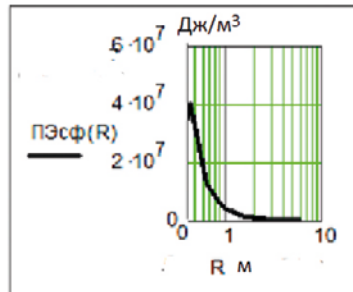


Рис. 12.7.5. Компьютерный график изменения плотности энергии разрушения сферической квазистатической фазы

На рис. 12.7.4 представлен компьютерный график изменения условно выделенных расчетных объемов с удалением от центра распространения сферической квазистатической фазы. График представлен в логарифмическом масштабе по оси X.

На рис. 12.7.6 представлен компьютерный график изменения крупности кусков раздробленной породы сферической квазистатической фазой взрыва по одному выбранному направлению. Сплошной линией на графике показан участок кривой, на котором дробление породы до расчетной крупности обеспечено энергетически.

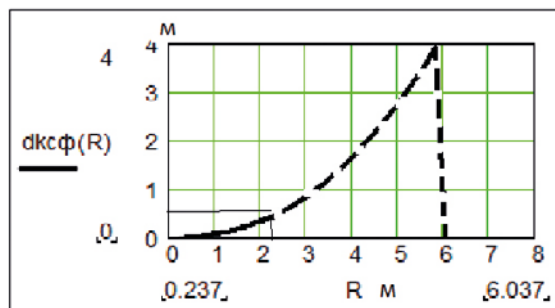


Рис. 12.7.6. Компьютерный график изменения крупности кусков раздробленной породы сферической квазистатической фазой взрыва по одному направлению

Пунктирной линией показан участок кривой, на котором дробление породы не обеспечено энергетически. Объем породы на участке от 2,2 метра до обнаженной поверхности в нашем примере дробиться не будет. Этот объем породы будет развален взрывом на куски по естественным отдельностям, если совместное действие сферической камуфлетной фазы, сферической волновой фазы и сферической квазистатической фазы не справятся с дроблением породы в этой зоне.

На рис. 12.7.7, 12.7.8 и 12.7.9 приводятся три компьютерных таблицы пошагового распределения энергии разрушения, распределения энергии разрушения по расчетным объемам, пошагового изменения величины расчетных объемов и распределения плотности энергии разрушения по расчетным объемам. Компьютерные таблицы приведены для трех характерных выбранных направлений с разными величинами граничных радиусов: 6 м, 8,5 м и 10,4 м.

Все три таблицы получены при шаге счета 0,2 метра.

В первых столбцах таблиц представлено пошаговое изменение энергии разрушения сферической квазистатической фазы взрыва с удалением от верхней кромки скважинного заряда в карьере. Во вторых столбцах представлено пошаговое изменение энергии разрушения сферической квазистатической фазы взрыва в расчетных объемах выбранного направления. В третьих столбцах представлено пошаговое изменение величины расчетных объемов в $м^3$. В четвертых столбцах представлена плотность энергии разрушения в расчетных объемах. В пятых столбцах представлено расстояние расчетных объемов от верхнего края скважинного заряда в метрах.

$\Delta R = 0.2$				
$\Xi 1(R) =$	$\Delta \Xi 1(R) =$	$\Delta V 1(R) =$	$\Pi \Xi 1 \text{сф}(R) : R =$	
106643	0	0.0001	0	0.2
95297	11346	0.0003	40115319	0.4
88632	6665	0.0005	12577457	0.6
83042	5590	0.0009	6541730	0.8
78052	4990	0.0013	3970314	1
73467	4586	0.0017	2640878	1.2
69179	4288	0.0023	1869295	1.4
65124	4055	0.0029	1384520	1.6
61258	3866	0.0036	1061622	1.8
57551	3707	0.0044	836639	2
53978	3572	0.0053	674152	2.2
50524	3455	0.0062	553311	2.4
47172	3352	0.0073	461223	2.6
43912	3260	0.0084	389581	2.8
40735	3177	0.0095	332850	3
37633	3102	0.0108	287232	3.2
34599	3034	0.0121	250051	3.4
31627	2971	0.0135	219387	3.6
28714	2914	0.015	193827	3.8
25853	2860	0.0166	172320	4
23043	2810	0.0182	154068	4.2
20279	2764	0.02	138458	4.4
17559	2720	0.0218	125014	4.6
14879	2679	0.0236	113360	4.8
12238	2641	0.0256	103199	5
9634	2604	0.0276	94291	5.2
7064	2570	0.0297	86443	5.4
4527	2537	0.0319	79495	5.6
2020	2506	0.0342	73319	5.8
0	0	0	0	6

Рис.12.7.7. Компьютерная таблица распределения параметров при $R_1=6$ м

Величина расчетных объемов во всех этих таблицах нарастает одинаково. Однако плотность энергии разрушения в разных столбцах изменяется по-разному.

$\Delta R = 0.2$				
$\Sigma 2(R) =$	$\Delta \Sigma 2(R) =$	$\Delta V 2(R) =$	$\Pi \Sigma 2 \phi(R) =$	$R =$
106643	0	0.0001	0	0.2
97709	8934	0.0003	31586416	0.4
92462	5248	0.0005	9903369	0.6
80060	4402	0.0009	5150095	0.8
84131	3929	0.0013	3126187	1
80520	3611	0.0017	2079402	1.2
77144	3376	0.0023	1471865	1.4
73951	3193	0.0029	1090158	1.6
70007	3044	0.0036	836911	1.8
67988	2919	0.0044	658761	2
65176	2813	0.0053	530821	2.2
62455	2720	0.0062	435672	2.4
59816	2639	0.0073	363163	2.6
57240	2567	0.0084	306753	2.8
54748	2502	0.0095	262083	3
52305	2443	0.0108	226163	3.2
49916	2389	0.0121	196888	3.4
47576	2340	0.0135	172743	3.6
45282	2294	0.015	152618	3.8
43030	2252	0.0166	135683	4
40817	2213	0.0182	121312	4.2
38641	2178	0.02	109021	4.4
36499	2142	0.0218	98435	4.6
34389	2110	0.0236	89259	4.8
32310	2079	0.0256	81258	5
30259	2051	0.0276	74244	5.2
28235	2024	0.0297	68064	5.4
26238	1998	0.0319	62594	5.6
24264	1973	0.0342	57731	5.8
22314	1950	0.0365	53390	6
20387	1928	0.0389	49501	6.2
18480	1906	0.0414	46004	6.4
16595	1886	0.044	42850	6.6
14728	1866	0.0467	39997	6.8
12881	1848	0.0494	37407	7
11051	1830	0.0522	35050	7.2
9239	1812	0.0551	32900	7.4
7413	1796	0.058	30933	7.6
5664	1779	0.0611	29130	7.8
3900	1764	0.0642	27474	8
2151	1749	0.0674	25949	8.2
417	1734	0.0707	24542	8.4
0	0	0	0	8.6

Рис. 12.7.8. Компьютерная таблица распределения параметров при $R_0 = 8,5$ м

В коротких направлениях плотность энергии разрушения более высокая по сравнению с более длинными направлениями.

$\Xi\Xi(R) =$	$\Lambda\Xi\Xi(R) =$	$\Lambda V\Xi(R) =$	$\Pi\Xi\Xi\phi(R) =$	$R =$
108643	0	0.0001	0	0.2
98866	7777	0.0003	27496707	0.4
94298	4568	0.0005	8621112	0.6
90466	3032	0.0009	4483974	0.8
87046	3420	0.0013	2721418	1
83903	3143	0.0017	1810168	1.2
80964	2939	0.0023	1201293	1.4
78184	2779	0.0029	949008	1.6
75534	2650	0.0036	727680	1.8
72993	2541	0.0044	573467	2
70545	2449	0.0053	462092	2.2
68177	2368	0.0062	379263	2.4
65879	2297	0.0073	316141	2.6
63645	2234	0.0084	267035	2.8
61467	2178	0.0095	228149	3
59341	2126	0.0108	196880	3.2
57261	2080	0.0121	171396	3.4
55224	2037	0.0135	150377	3.6
53227	1997	0.015	132857	3.8
51267	1961	0.0166	118115	4
49340	1926	0.0182	105605	4.2
47446	1895	0.02	94905	4.4
45581	1865	0.0218	85690	4.6
43744	1837	0.0236	77702	4.8
41934	1810	0.0256	70737	5
40149	1785	0.0276	64631	5.2
38387	1762	0.0297	59251	5.4
36648	1739	0.0319	54489	5.6
34930	1718	0.0342	50256	5.8
33233	1697	0.0365	46477	6
31555	1678	0.0389	43092	6.2
29896	1659	0.0414	40040	6.4
28254	1642	0.044	37302	6.6
26629	1625	0.0467	34818	6.8
25021	1608	0.0494	32563	7
23428	1593	0.0522	30512	7.2
21850	1578	0.0551	28640	7.4
20287	1563	0.058	26928	7.6
18738	1549	0.0611	25358	7.8
17203	1536	0.0642	23916	8
15680	1522	0.0674	22589	8.2
14170	1510	0.0707	21364	8.4
12673	1498	0.074	20232	8.6
11187	1486	0.0774	19184	8.8
9713	1474	0.081	18212	9
8250	1463	0.0845	17308	9.2
6797	1452	0.0882	16467	9.4
5356	1442	0.0919	15684	9.6
3924	1432	0.0957	14952	9.8
2502	1422	0.0996	14269	10
1090	1412	0.1036	13629	10.2

Рис. 12.7.9. Компьютерная таблица распределения параметров при $R_f = 10,4$ м

12.8. Определение крупности дробления породы сферической квазистатической фазой по выбранным направлениям

В разработанной нами многофазной и многозонной теории технологического дробления горных пород взрывом скважинных зарядов в карьерах принято два обязательных критерия дробления горных пород: напряжения должны быть выше прочности горных пород, и дробление горных пород до определенной крупности должно быть обеспечено энергетически. Если хоть один из этих критериев дробления не выполняется, технологически приемлемое дробление породы не осуществляется.

Полученное в предыдущем параграфе распределение энергии разрушения по дробимым объемам дает возможность рассчитать крупность дробления горных пород в расчетных объемах по выделенным направлениям.

$$\text{dkc}\Phi(R) := \begin{cases} 0 & \text{if } R \leq r_p \\ \frac{18 \cdot e}{\Pi \text{Эс}\Phi(R)} & \text{if } r_p < R < R_r \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Рис. 12.8.1. Фрагмент компьютерной программы определения крупности кусков в расчетных объемах

На рис. 12.8.1 представлен фрагмент компьютерной программы определения крупности кусков в расчетных объемах по плотности распределения энергии разрушения по расчетным объемам.

На рис. 12.8.2 представлена компьютерная таблица результатов пошагового расчета крупности дробления горной породы в трех условно выделенных направлениях. Рассматриваемые направления имеют разные граничные радиусы: 6 м, 8,5 м и 10,4 м. Расчеты в направлениях выполнены с шагом счета 0,2 метра.

В первом столбце представлены расстояния от центра распространения фазы до расчетных объемов в метрах. Во втором, третьем и четвертом столбцах представлены расчетные размеры кусков в расчетных объемах в метрах. Пятый и шестой столбцы – это продолжения третьего и четвертого. За пределы столбцов вынесены размеры кусков в метрах в объединенных расчетных объемах.

Нижние пересекающие столбцы красные линии – это граница технологически приемлемого дробления горных пород по выбранному направлению.

По первым двум направлениям технологически приемлемое дробление породы осуществляется до крупности 60 см до расстояния 2,4 м от центра распространения фазы. По третьему направлению дробление породы до 60 см осуществляется до расстояния 1,6 м. За красными линиями при объединении расчетных объемов и расчете кусков по объединенным расчетным объемам размер кусков растет быстрее толщины объединенных расчетных объемов. А это обстоятельство говорит о том, что дробление горных пород на этих участках энергетически не обеспечено. Несмотря на наличие расчетных размеров кусков в этой зоне, порода в этой зоне сферической квазистатической фазой взрыва дробиться на куски не будет. Необходимо

Глава 13. Совместное действие всех фаз процесса в верхней зоне уступа

13.1. Особенности распределения по направлениям плотности энергии разрушения сферической камуфлетной и сферической волновой фаз

При ведении буровзрывных работ в карьерах с целью технологического дробления горных пород независимо от воли проектировщиков и исполнителей работ в верхней зоне карьерного уступа развиваются сферическая камуфлетная, сферическая волновая и сферическая квазистатическая фазы взрыва. Только совместным действием этих фаз определяются качественные показатели дробления породы в верхней зоне уступа: крупность кусков раздробленной породы, гранулометрический состав раздробленной породы, выход негабарита.

Камуфлетная фаза взрыва и волновая фаза взрыва скважинного заряда в карьере дробят породу в верхней зоне уступа одинаково по любому направлению от центра взрыва. Камуфлетная фаза дробит породу интенсивно, но в малом объеме. Волновая фаза дробит породу с малой интенсивностью, но ее действие выходит далеко за пределы зоны технологического дробления породы взрывом. Какое направление ни выбери из 360° , по любому направлению дробление одинаковое.

На рис. 13.1.1 представлен фрагмент компьютерной программы расчета распределения энергии разрушения в сферической части камуфлетной зоны верхнего слоя уступа.

Распределение энергии в сферической части камуфлетной зоны

$$R := r_0, (r_0 + \Delta R) \dots R_{dc\phi}$$

Изменение энергии разрушения в сферической камуфлетной зоне, в верхнем слое

$$\Theta(R) := \begin{cases} \Theta_{рс\phi} & \text{if } R \leq r_0 \\ \left[\Theta_{рс\phi} \cdot \left[1 - \sqrt{\left(\frac{R - r_0}{R_{dc\phi} - r_0} \right)^2} \right]^3 + \Theta_{вс\phi} \right] & \text{if } r_0 < R \leq R_{dc\phi} \\ 0 & \text{if } R > R_{dc\phi} \end{cases}$$

Энергия разрушения в слое толщиной ΔR в сферической камуфлетной зоне, в верхнем слое

$$\Delta\Theta(R) := \begin{cases} 0 & \text{if } R \leq r_0 \\ (\Theta(R - \Delta R) - \Theta(R)) & \text{if } r_0 < R \leq R_{dc\phi} \\ 0 & \text{if } R > R_{dc\phi} \end{cases}$$

Рис. 13.1.1. Фрагмент компьютерной программы распределения энергии разрушения по расчетным объемам в камуфлетной зоне

На рис 13.1.2 представлена компьютерная таблица параметров распределения энергии разрушения сферической камуфлетной фазы взрыва.

Результаты представлены в виде столбиков-векторов. В первом столбике-векторе представлены расстояния от центра верхней сферической камуфлетной зоны. Размер сферической камуфлетной зоны 0,943 м. Ширина расчетных слоев принята равной 0,1 м. Расчетные слои доходят до отметки 0,925 м.

R =	$\Delta V(R)$	$\Pi \mathcal{E} \phi(R)$
0.125	0	0
0.225	0.096	82218881
0.325	0.178	18407368
0.425	0.285	8822931
0.525	0.417	5081827
0.625	0.574	3251115
0.725	0.758	2230640
0.825	0.963	1609693
0.925	1.196	1206946

Рис. 13.1.2. Распределение плотности энергии разрушения по расчетным слоям в камуфлетной зоне

$$\Delta V_{\text{ксф}}(R) := \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \left[(R + \Delta R)^3 - R^3 \right]$$

$$\Pi \mathcal{E} 2 \text{сф}(R) := \frac{\mathcal{E} \text{с}(R)}{\Delta V_{\text{ксф}}(R)}$$

$$\Pi \mathcal{E} \text{в}(R) := \begin{cases} 0 & \text{if } R \leq R_{\text{дсф}} \\ \Pi \mathcal{E} 2 \text{сф}(R) & \text{otherwise} \end{cases}$$

Размер кусков в слое толщиной ΔR , за счет энергии волновой фазы

$$\text{дв}(R) := \begin{cases} 0 & \text{if } R \leq R_{\text{зсф}} \\ \left(\left(\frac{18 \cdot e}{\Pi \mathcal{E} 2 \text{сф}(R)} \right) \right) & \text{if } R > R_{\text{зсф}} \end{cases}$$

$$\text{дв}(R) := \begin{cases} 0 & \text{if } R \leq R_{\text{зсф}} \\ \left(\left(\frac{18 \cdot e}{\Pi \mathcal{E} 2 \text{сф}(R)} \right) \right) & \text{if } R > R_{\text{зсф}} \end{cases}$$

Рис. 13.1.3. Фрагмент программы определения распределенной плотности энергии в зоне действия сферической волны

Во втором столбике-векторе представлены объемы породы в м^3 в расчетных слоях. Объем породы в слоях интенсивно нарастает от 9,6 см^3 до 1,2 м^3 .

В третьем столбце представлена плотность энергии разрушения в каждом расчетном слое. Плотность энергии разрушения изменяется от 82 МПа до 1,2 МПа.

На рис. 13.1.3 представлен фрагмент компьютерной программы определения распределенной энергии в зоне действия сферической волны.

R =	ПЭв(R)
0.954	0
1.054	539897
1.154	305065
1.254	182462
1.354	81761
1.454	53755
1.554	37919
1.654	27414
1.754	20270
1.854	15275
1.954	11712
2.054	9116
2.154	7196
2.254	5752
2.354	4651
2.454	3799

Рис. 13.1.4. Распределение плотности энергии разрушения по расчетным слоям

На рис. 13.1.4 представлена компьютерная таблица распределения плотности энергии разрушения по расчетным слоям в сферической волновой зоне. Плотность энергии разрушения изменяется от 0,5 МПа до 0,004 МПа.

13.2. Дробление породы верхнего слоя сферической камуфлетной, сферической волновой и сферической квазистатической фазами взрыва

Линейный размер куска в расчетном слое является размером среднего куска в слое. Когда толщина расчетного слоя больше расчетного линейного размера куска, порода в слое дробится. Процесс дробления породы обеспечен энергетически. Чем ближе расчетный линейный размер куска приближается к ширине расчетного слоя, тем точнее он совпадает с фактическим размером кусков в реальном процессе.

Когда расчетный линейный размер куска больше ширины расчетного слоя, порода в слое не дробится. Процесс дробления породы не обеспечен энергетически.

В таком случае необходимо суммировать ширину соседних расчетных зон, определять средневзвешенную по суммарному объему слоев плотность энергии и рассчитывать размер куска в суммарном объеме.

Ширина суммарного расчетного слоя определяется по формуле

$$\Delta R_c = n \Delta R,$$

где n – число суммируемых слоев, разное на каждой операции суммирования.

Величина средневзвешенной плотности энергии по суммарному расчетному объему определяется по формуле

$$ПЭ_c = \frac{\sum ПЭ_i \Delta V_i}{\sum \Delta V_i},$$

где $ПЭ_i$ – плотность энергии в слое; ΔV_i – расчетный объем слоя.

Линейный расчетный размер куска породы в суммарном расчетном слое в выбранном направлении определяется по формуле

$$d = \frac{18e}{ПЭ_c}.$$

где d – искомый линейный размер куска породы.

Поиск средневзвешенной плотности энергии и текущее суммирование слоев заканчивается, когда достигается выполнение условия.

$$d \leq \Delta R_c.$$

После выполнения этого условия переходят к формированию следующего расчетного слоя.

Если при суммировании слоев линейный размер куска в суммарном слое возрастает быстрее, чем толщина суммарного расчетного слоя, дробление породы энергетически не обеспечено. В слое развиваются только трещины до внешней границы зоны трещинообразования.

На рис. 13.2.1 представлены расчетные результаты распределения плотности энергии разрушения и крупности дробления породы по условно выделенным расчетным слоям в иллюстрационном варианте взрыва скважинного заряда. Результаты представлены в виде столбиков-векторов.

В левой группе, состоящей из трех столбиков-векторов, представлены результаты дробления породы камуфлетной фазой взрыва в зоне ее действия. В столбцах-векторах представлены: расстояние от центра верхней части заряда до расчетного объема, плотность энергии разрушения в каждом расчетном слое и расчетный линейный размер куска в метрах. Порода этой фазой взрыва дробится до радиуса 0,725 м, (5 радиусов заряда). На более далеких расстояниях в зоне камуфлетного действия взрыва, которая распространяется до радиуса 0,925 м, развиваются только радиальные трещины. Крупность дробления породы от микрон до 14,6 см. Микронные размеры кусков в таблице не показаны, т. к. они не представляют технологического интереса.

В средней группе, состоящей из трех столбиков-векторов, представлены результаты дробления породы волновой фазой взрыва в зоне ее действия. В столбцах-векторах представлены: расстояние от центра верхней части заряда до расчетного объема, плотность энергии разрушения в каждом расчетном слое и расчетный линейный размер куска в метрах.

R =	$\Pi\Xi c\phi(R) =$	$dkc\phi(R)$	R =	$\Pi\Xi c\phi(R) =$	$dkc\phi(R)$
0.125	0	0	0.125	0	
0.225	70549747	0.004	0.225	175800768	0.012
0.325	15794870	0.018	0.325	39358757	0.023
0.425	7570713	0.038	0.425	18865229	0.037
0.525	4360575	0.066	0.525	10865985	0.054
0.625	2789692		0.625	6951548	0.074
0.725	1914051	0.146	0.725	4769565	0.097
0.825	1381233	Т	0.825	3441853	
0.925	1035647	р	0.925	2580696	0.139
1.025	0		1.025	1994179	
1.125			1.125	1578943	0.229
1.225			1.225	1275561	
1.325			1.325	1048027	
1.425			1.425	873569	Т
1.525			1.525	737252	р
1.625			1.625	628981	е
1.725			1.725	541745	щ
1.825			1.825	470563	и
1.925			1.925	411826	н
					ы

Рис. 13.2.1. Дробление породы камуфлетной, волновой и квазистатической фазами взрыва по отдельности

В зоне действия волновой фазы взрыва, которая начинает распространяться от внешней границы камуфлетной зоны, при наращивании ширины расчетных слоев расчетный линейный размер куска увеличивается быстрее роста ширины расчетного слоя. Следовательно, дробление породы на куски не обеспечено энергетически.

Под действием волновой фазы взрыва в зоне ее действия до расстояния 3,4 метра, развиваются с убывающей густотой радиальные трещины. На расстоянии 3,4 м тангенциальное растягивающее напряжение становится меньше предела прочности породы на растяжение и развитие радиальных трещин прекращается.

В правой группе, состоящей из трех столбиков-векторов, представлены результаты дробления породы квазистатической фазой взрыва в зоне ее действия. В столбцах-векторах представлены: расстояние от центра верхней части заряда до расчетного объема, плотность энергии разрушения в каждом расчетном слое и расчетный линейный размер куска в метрах.

Порода этой фазой взрыва дробится до радиуса 1,225 м. На более далеких расстояниях в зоне квазистатического действия взрыва, которая распространяется от радиуса 1,225 до радиуса 3,4 м, развиваются только радиальные трещины. Крупность дробления породы квазистатической фазой взрыва от микронных значений до 22,9 см. Микронные размеры кусков в таблице не показаны.

13.3. Суммирование плотности энергии разрушения всех фаз процесса в средней зоне карьерного уступа по направлениям

Сферическая симметрия процесса развития сферической камуфлетной зоны в сочетании с особенностями технологических параметров ведения буровзрывных работ обеспечивают одинаковое распределение плотности энергии разрушения по всем выбираемым направлениям. Более того, при изменении числа выбираемых направлений энергия разрушения в расчетных объемах изменяется, а плотность энергии разрушения в расчетных объемах остается неизменной.

Такие же условия создаются в сферической волновой зоне. При изменении числа выбираемых направлений энергия разрушения в расчетных объемах изменяется, а плотность энергии разрушения в расчетных объемах остается неизменной.

В сферической квазистатической фазе по каждому выбираемому направлению распределение плотности энергии разрушения отличается от ее распределения по другим направлениям. При изменении числа выбираемых направлений распределение плотности энергии разрушения по всем направлениям изменяется.

$\Pi\mathcal{E}1\text{Cсф}(R) :=$	$\begin{cases} 0 & \text{if } r_p \leq R \leq R_{\text{зсф}} \\ (\Pi\mathcal{E}1\text{сф}(R) + \Pi\mathcal{E}\text{сф}(R)) & \text{if } r_p < R \leq R_{\text{зсф}} \\ (\Pi\mathcal{E}1\text{сф}(R) + \Pi\mathcal{E}\text{в}(R)) & \text{if } R > R_{\text{зсф}} \end{cases}$
$\Pi\mathcal{E}2\text{Cсф}(R) :=$	$\begin{cases} 0 & \text{if } r_p \leq R \leq R_{\text{зсф}} \\ (\Pi\mathcal{E}2\text{сф}(R) + \Pi\mathcal{E}\text{сф}(R)) & \text{if } r_p < R \leq R_{\text{зсф}} \\ (\Pi\mathcal{E}2\text{сф}(R) + \Pi\mathcal{E}\text{в}(R)) & \text{if } R > R_{\text{зсф}} \end{cases}$
$\Pi\mathcal{E}3\text{Cсф}(R) :=$	$\begin{cases} 0 & \text{if } r_p \leq R \leq R_{\text{зсф}} \\ (\Pi\mathcal{E}3\text{сф}(R) + \Pi\mathcal{E}\text{сф}(R)) & \text{if } r_p < R \leq R_{\text{зсф}} \\ (\Pi\mathcal{E}3\text{сф}(R) + \Pi\mathcal{E}\text{в}(R)) & \text{if } R > R_{\text{зсф}} \end{cases}$

Рис. 13.3.1. Фрагмент компьютерной программы определения распределения суммарной плотности энергии разрушения

Эти особенности необходимо учитывать при определении распределения суммарной плотности энергии разрушения по расчетным объемам.

Суммарное распределение плотности энергии разрушения определяется по следующей схеме. Выбирается направление сферической квазистатической фазы, определяется распределение энергии разрушения по расчетным объемам в этом направлении, и к нему прибавляются неизменные распределения по расчетным объемам камуфлетной и волновой фаз. Эта операция многократно повторяется.

На рис. 13.3.1 представлен фрагмент компьютерной программы определения распределения суммарной плотности энергии разрушения всех фаз процесса в верхнем слое карьерного уступа по трем выбранным направлениям. На рис. 13.3.2 представлена верхняя часть компьютерной таблицы

рассчитанных значений распределения суммарной энергии разрушения по трем направлениям.

В первом столбце представлено распределение плотности энергии разрушения сферической камуфлетной фазы.

$\Pi \Sigma \phi(R) =$	$\Pi \Sigma \psi(R) =$	$R =$	$\Delta V_3(R) =$	$\Pi \Sigma 1 \text{C}\phi(R) =$	$\Pi \Sigma 2 \text{C}\phi(R) =$	$\Pi \Sigma 3 \text{C}\phi(R) =$
53786588	0	0.237	0.0001	0	0	0
8196703	0	0.437	0.0003	48312022	39783119	35693410
3097451	0	0.637	0.0005	15674908	13000820	11718563
1552175	0	0.837	0.0009	8093905	6703070	6036149
0	598142	1.037	0.0013	4568456	3724329	3319560
0	198558	1.237	0.0017	2839436	2277960	2008726
0	57195	1.437	0.0023	1926490	1529060	1338488
0	28928	1.637	0.0029	1413449	1119086	977936
0	16007	1.837	0.0036	1077629	851918	743687
0	9503	2.037	0.0044	846142	668264	582970
0	5971	2.237	0.0053	680123	536791	468062
0	3929	2.437	0.0062	557240	439601	383192
0	2686	2.637	0.0073	463909	365849	318828
0	1897	2.837	0.0084	391478	308649	268932
0	1376	3.037	0.0095	334227	263459	229526
0	1022	3.237	0.0108	288254	227186	197903
0	775	3.437	0.0121	250827	197683	172171
0	598	3.637	0.0135	219985	173341	150975
0	4037	3.837	0.015	194296	153087	133326

Рис. 13.3.2. Верхняя часть компьютерной таблицы рассчитанных значений распределения суммарной энергии разрушения по трем направлениям

Во втором столбце представлено распределение плотности энергии разрушения сферической волновой фазы. В третьем столбце представлены расстояния расчетных объемов от центра распространения сферических фаз в метрах. В четвертом столбце представлены расчетные объемы в кубометрах.

В последних трех столбцах представлены в Дж/м³ распределение по расчетным объемам суммарной плотности энергии разрушения по трем направлениям: по направлению, параллельному забойке, по направлению к верхней кромке ЛНС и по направлению в верхней крайней точке воронки выброса. Длина первого направления 6 метров. Длина второго направления 8,5 метра. Длина третьего направления 10,4 метра. С изменением длины направления изменяется и распределение плотности энергии разрушения в расчетных объемах.

13.4. Определение крупности дробления породы, по выбранному направлению всеми фазами процесса в средней зоне карьерного уступа

Крупность дробления породы взрывом необходимо определять индивидуально по каждому выбранному направлению сферической квазистатической фазы взрыва.

На рис. 13.4.1 представлен фрагмент компьютерной программы определения крупности технологического дробления горных пород взрывом по трем выбранным направлениям.

$$\begin{aligned}
 dk1C\phi(R) &:= \begin{cases} 0 & \text{if } R \leq r_p \\ \frac{18 \cdot e}{\Pi\Xi 1C\phi(R)} & \text{if } r_p < R < R_r \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\
 dk2C\phi(R) &:= \begin{cases} 0 & \text{if } R \leq r_p \\ \frac{18 \cdot e}{\Pi\Xi 2C\phi(R)} & \text{if } r_p < R < R_r \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\
 dk3C\phi(R) &:= \begin{cases} 0 & \text{if } R \leq r_p \\ \frac{18 \cdot e}{\Pi\Xi 3C\phi(R)} & \text{if } r_p < R < R_r \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}
 \end{aligned}$$

Рис. 13.4.1. Фрагмент компьютерной программы определения крупности технологического дробления горных пород взрывом по трем выбранным направлениям

Длина первого направления вдоль забойки 6 метров. Длина второго направления до верхней кромки вдоль ЛНС 5,5 метров, Длина третьего направления к крайней верхней точке воронки выброса 10,4 метра.

На рис. 13.4.2 представлен верхний фрагмент компьютерной таблицы рассчитанных результатов технологического дробления горных пород тремя фазами процесса взрыва в верхнем слое уступа по трем выбранным направлениям.

В первом столбце-векторе представлено расстояние в метрах от центра распространения сферических фаз до расчетных объемов.

Во втором столбце-векторе представлен расчетный линейный размер кусков в метрах в расчетных объемах первого выбранного направления длиной 6 м.

В третьем столбце-векторе представлен расчетный линейный размер кусков в метрах в расчетных объемах второго выбранного направления длиной 8,5 м.

В четвертом столбце-векторе представлен расчетный линейный размер кусков в метрах в расчетных объемах третьего выбранного направления длиной 10,4 м.

Из рисунка 13.4.2 видно, что в нашем примере совместным действием фаз взрыва порода дробится до расстояния 2,8 м. На более далеких расстояниях, за пределами 2,8 м, целик горных пород разваливается взрывом по естественным отдельностям.

Один заряд, в нашем примере, отбивает в верхнем слое 216 м³ породы. Из них 27 м³ дробится на куски, что составляет 12,5% от отбиваемой горной

массы. Порода объемом 189 м^3 , т. е. 87,5%, разваливается взрывом в верхнем слое по естественным отдельностям.

$\Delta R := 0.2$

R =	dk1Cсф(R) =	dk2Cсф(R) =	dk3Cсф(R)
0.237	0	0	0
0.437	0.006	0.007	0.008
0.637	0.018	0.022	0.025
0.837	0.036	0.043	0.048
1.037	0.063	0.077	0.087
1.237	0.101	0.126	0.143
1.437	0.149	0.188	0.215
1.637	0.204	0.257	0.294
1.837	0.267	0.338	0.387
2.037	0.34	0.431	0.494
2.237	0.423	0.537	0.615
2.437	0.517	0.655	0.752
2.637	0.621	0.787	0.903
2.837	0.736	0.933	1.071
3.037	0.862	1.093	1.255
3.237	0.999	1.268	1.455

0.4
0.6

Рис. 13.4.2. Компьютерная таблица технологического дробления горных пород тремя фазами по трем направлениям

Верхний слой карьерного уступа целесообразно отнести к зоне нерегулируемого дробления горных пород взрывом.

13.5. Дробление породы между двумя зарядами и за крайним зарядом в верхнем слое карьерного уступа

В параграфе изложен расчетный метод определения крупности дробления породы в верхнем слое карьерного уступа взрывом скважинных зарядов. Верхний слой карьерного уступа является основным поставщиком негабарита при открытой разработке месторождений полезных ископаемых. Поэтому изучение закономерностей дробления горных пород в этом слое представляет большой научный и практический интерес. Расчетный метод описывает разрушающее суммарное воздействие камуфлетной, волновой и квазистатической фаз процесса воздействия взрыва на горный массив с учетом технологических параметров буровзрывных работ.

При дроблении породы скважинными зарядами взрывчатого вещества в карьерах верхний слой карьерного уступа, примыкающий к забойке скважин, является самой большой по объему зоной нерегулируемого дробления. Принято считать, что в зонах нерегулируемого дробления порода взрывом не дробится, а разваливается по естественным отдельностям.

В реальных условиях карьера некоторая часть породы все-таки частично подвергается взрывному дроблению в процессе развала ее по естественным отдельностям.

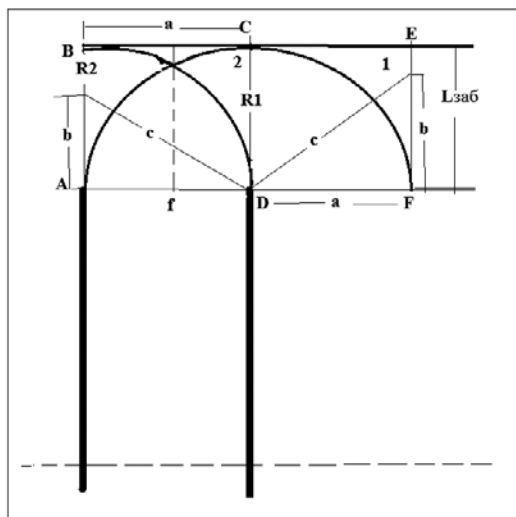


Рис. 13.5.1. Схема условно выделенных зон

Весь объем верхнего слоя на взрываемом блоке условно можно разделить на расчетные зоны с разной интенсивностью взрывной нагрузки, на зоны между двумя зарядами и на зоны за крайними зарядами.

Зона за крайним зарядом (зона 1, прямоугольник CDFT) подвергается воздействию одного скважинного заряда. Зона между двумя зарядами (зона 2, прямоугольник ABCD) подвергается воздействию двух скважинных зарядов. В зависимости от количества и соотношения этих зон можно определить конечные результаты взрывного воздействия на весь верхний слой карьера.

На основе сформулированной нами многофазной и многозонной теории развития процесса передачи, распределения в массиве энергии взрыва и технологического дробления породы взрывом разработан комплекс компьютерных программ.

В параграфе приводятся и анализируются расчетные результаты для условий взрывания скважинных зарядов тротила диаметром 250 мм в граните при шаге счета $R = 0,2$ м.

В таблице 13.5.1, составленной из компьютерных столбцов-векторов, получаемых при выполнении расчетов, представлены расчетные значения распределения плотности энергии разрушения в верхнем слое карьерного уступа. В первом столбце представлено распределение плотности энергии разрушения в камуфлетной зоне во втором столбце представлено распределение плотности энергии разрушения в зоне действия волновой фазы взрыва, в третьем столбце представлено распределение плотности энергии разрушения в квазистатической зоне действия взрыва.

В четвертом столбце представлено распределение плотности энергии разрушения от совместного действия взрыва камуфлетной, волновой и квазистатической фаз взрыва в зоне за крайним зарядом в верхнем слое карьерного уступа.

В пятом столбце представлено распределение плотности энергии разрушения от совместного действия взрыва камуфлетной, волновой и квазистатической фаз взрыва в зоне между двумя зарядами, в верхнем слое карьерного уступа.

В шестом столбце представлена величина расчетных объемов на разных расстояниях от конца заряда при шаге счета $\Delta R = 0,2$ м. В седьмом столбце расстояние расчетных зон от конца заряда.

Распределение плотности энергии разрушения за крайним зарядом определяется простым суммированием плотности энергии разрушения всех фаз процесса. Распределение плотности энергии разрушения между двумя зарядами определяется с учетом наложения полей распределения плотности энергии двух соседних зарядов.

Таблица 13.5.1.

Распределение плотности энергии разрушения в верхнем слое карьерного уступа

$\Pi_{ЭКМ}(R) =$	$\Pi_{ЭВ}(R) =$	$\Pi_{ЭКВ}(R) =$	$\Pi_{ЭК}(R) =$	$\Pi_{ЭМ}(R) =$	$\Delta V(R) =$	$R =$
0	0	0	0	0	0	0.125
20734130	0	51666748	72400879	72409320	0.0003	0.325
4010323	0	9993201	14003524	14011914	0.0006	0.525
1772476	0	4416780	6189256	6197572	0.001	0.725
969693	0	2416349	3386042	3394260	0.0016	0.925
0	238452	1491873	1730325	1738424	0.0023	1.125
0	53260	997303	1050563	1058523	0.003	1.325
0	33048	705523	738571	746373	0.004	1.525
0	17823	520777	538600	546229	0.005	1.725
0	10372	397353	407725	415166	0.0061	1.925
0	6412	311341	317754	324997	0.0074	2.125
0	4165	249321	253486	260521	0.0088	2.325
0	2817	203323	206140	212959	0.0103	2.525
0	1971	168389	170361	176959	0.012	2.725
0	1420	141319	142738	149112	0.0137	2.925
0	1048	119973	121021	127169	0.0156	3.125
0	790	102884	103674	109596	0.0176	3.325
0	607	89019	89626	95323	0.0197	3.525
0	473	77636	78110	83585	0.0219	3.725
0	375	68192	68567	73824	0.0243	3.925
0	301	60282	60582	65626	0.0267	4.125
0	244	53599	53843	58678	0.0293	4.325
0	200	47909	48109	52741	0.0321	4.525
0	165	43031	43196	47632	0.0349	4.725
0	138	38821	38959	43204	0.0378	4.925
0	116	35165	35281	39343	0.0409	5.125
0	98	31974	32073	35958	0.0441	5.325
0	84	29175	29258	32975	0.0474	5.525
0	72	26707	26778	30332	0.0508	5.725
0	62	24521	24583	27981	0.0544	5.925

Распределение крупности дробления породы определяется по формуле [10]

$$d = \frac{18e}{ПЭ(R)},$$

где $ПЭ(R)$ – плотность энергии разрушения в расчетном объеме на расстоянии R от конца заряда; e – энергия образования единицы новой поверхности.

Переменное расстояние R определяется по формуле

$$R = R_i + \Delta R.$$

С использованием распределения плотности энергии разрушения в четвертом и пятом столбцах рассчитана крупность дробления породы за крайним зарядом и в зоне между двумя зарядами (таблица 13.5.2).

Таблица 13.5.2.

Крупность дробления породы в верхнем слое карьерного уступа

$ПЭК(R) =$	$дск(R) =$	$ПЭМ(R) =$	$дсм(R)$	$\Delta V(R) =$	$R =$
0	0	0	0	0	0.125
72400879	0.004	72409320	0.004	0.0003	0.325
14003524	0.021	14011914	0.021	0.0006	0.525
6189256	0.047	6197572	0.046	0.001	0.725
3386042	0.085	3394260	0.085	0.0016	0.925
1730325	0.166	1738424	0.166	0.0023	1.125
1050563	0.274	1058523	0.272	0.003	1.325
738571	0.39	746373	0.386	0.004	1.525
538600	0.535	546229	0.527	0.005	1.725
407725	0.706	415166	0.694	0.0061	1.925
317754	0.906	324997	0.886	0.0074	2.125
253486	1.136	260521	1.105	0.0088	2.325
206140	1.397	212959	1.352	0.0103	2.525
170361	1.691	176959	1.627	0.012	2.725
142738	2.018	149112	1.931	0.0137	2.925
121021	2.38	127169	2.265	0.0156	3.125
103674	2.778	109596	2.628	0.0176	3.325
89626	3.213	95323	3.021	0.0197	3.525
78110	3.687	83585	3.446	0.0219	3.725
68567	4.2	73824	3.901	0.0243	3.925
60582	4.754	65626	4.389	0.0267	4.125
53843	5.349	58678	4.908	0.0293	4.325
48109	5.986	52741	5.461	0.0321	4.525
43196	6.667	47632	6.046	0.0349	4.725
38959	7.392	43204	6.666	0.0378	4.925
35281	8.163	39343	7.32	0.0409	5.125
32073	8.98	35958	8.009	0.0441	5.325
29258	9.843	32975	8.734	0.0474	5.525
26778	10.755	30332	9.495	0.0508	5.725
24583	11.715	27981	10.293	0.0544	5.925

Во втором столбце таблицы крупность дробления породы за крайним зарядом, в четвертом столбце крупность дробления породы между двумя зарядами. В зоне между двумя зарядами крупность кусков меньше, но различия незначительны.

Для определения грансостава и выхода негабарита необходимо определить объем раздробленной породы по каждому выделенному классу крупности. Нами произвольно выделены шесть классов крупности. По таблице 13.5.2 определяются внешние радиусы зон выделенных классов крупности, которые занесены в таблицу 13.5.3.

Горная порода дробится взрывом на куски при обязательном выполнении условия, процесс дробления породы на куски рассматриваемых размеров обеспечивается энергетически. Это условие не выполняется, если рассчитанный размер куска больше толщины расчетного слоя или толщины объединенной группы расчетных слоев. В нашем примере на расстояниях больше 2,5 м от конца заряда процесс дробления породы на куски не обеспечивается энергетически. Сколько бы расчетных слоев мы ни объединяли в суммарный расчетный слой, размер расчетного куска будет обгонять увеличение толщины суммарного расчетного слоя.

До радиуса 3,4 метра от конца заряда тангенциальная составляющая тензора напряжений (растягивающее напряжение) остается выше предела прочности нашей породы на растяжение. В этой зоне будут развиваться радиальные трещины, но дробиться на куски она не будет.

По набору размеров кусков по направлению трудно высказать объективное суждение о технологическом качестве дробления породы взрывом. Необходимо определиться с классами крупности, определить выход фракций по каждому классу крупности и грансостав раздробленной породы.

Таблица 13.5.3.

Внешние радиусы зон выделенных классов крупности

Классы Крупности, мм	Внешние радиусы зон по классам крупности R_k , м	
	Между зарядами	За крайним зарядом
0-300	1,3	1,3
300-500	1,5	1,5
500-700	1,8	1,8
700-1000	2,1	2,1
1000-1500	2,5	2,5
Больше 1500	Больше 2,5	Больше 2,5
	Трещины до 3,4	Трещины до 3,4

На рис. 13.5.1 представлена схема определения выхода горной породы по выбранным классам крупности. На схеме прямоугольник 12СА является поперечным сечением зоны между двумя зарядами. Треугольник 1АВ является поперечным сечением зоны за крайним зарядом. Буквами R обозначены радиусы внешних границ каждой фракции. В нашем примере таких границ пять.

Объем фракций по схеме в зоне между двумя зарядами определяется по формуле

$$VF_i = \frac{\pi}{3} (R_i^3 - R_{i-1}^3).$$

Объем фракций по схеме в зоне за крайним зарядом определяется по формуле

$$VF_i = \frac{\pi}{12} (R_i^3 - R_{i-1}^3).$$

При численных значениях радиусов крупных фракций больше половины расстояния между скважинами в ряду удобнее рассчитывать выход горной породы по фракциям между двумя зарядами по схеме, представленной на рис. 13.5.3.

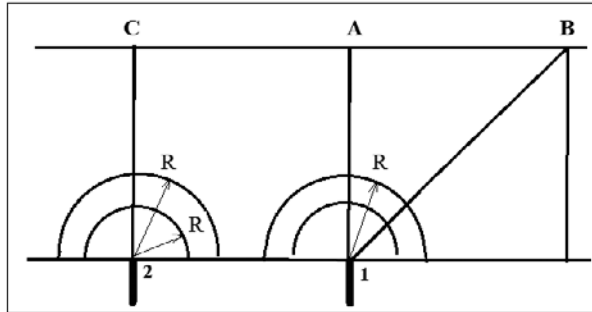


Рис. 13.5.2. Первая схема определения раздробленных объемов по выделенным классам крупности

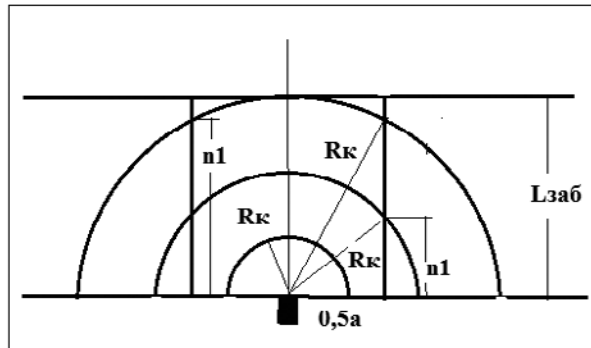


Рис. 13.5.3. Вторая схема определения раздробленных объемов по выделенным классам крупности

По этой схеме объем ниже внешней границы любого класса крупности определяется по формулам:

$$n_i = \sqrt{R_{ki}^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2}$$

$$V_{si} = \frac{\pi R_{ki}^3}{3} \text{ при } R_{ki} \leq 0,5a; V_{si} = \frac{\frac{\pi a^3}{6} + \pi a n_i^2}{4} \text{ при } R_{ki} > 0,5a,$$

где n_i – вспомогательная величина, индивидуальная для каждого класса крупности.

Объем любого класса крупности определяется по формуле

$$\Delta V_i = V_{(si+1)} - V_{si}.$$

Таблица 13.5.4.

Выход горной массы и грансостав по классам крупности в двух зонах

Классы Крупности, мм	Внешние радиусы зон по классам крупности R_k , м			
	Между зарядами		За крайним зарядом	
	м³	%	м³	%
0-300	2,3	1,1	0,6	0,5
300-500	1,2	0,6	0,3	0,3
500-700	2,6	1,2	0,6	0,6
700-1000	3,6	1,7	1,1	0,8
1000-1500	6,7	3,1	1,7	1,5
Больше 1500	199,6	92,4	103,9	96,2
Выход негабарита по слою		92,4		96,2
Итого	216	100	108	100

В таблице 13.5.4 представлен выход горной массы в м³ и в процентах, в зонах между двумя зарядами 92,4% и в зонах за крайним зарядом 96,2%. Эти цифры отражают незначительное влияние взрыва скважинных зарядов на дробление верхнего слоя карьерного уступа.

Таблица 13.5.5.

Выход горной массы и грансостав по блоку с 40 скважинами

Классы круп.	Между	Крайние	Сумма	Грансостав по блоку
мм	м³	м³	м³	%
0-300	73,6	4,8	78,4	1
300-500	38,4	2,4	50,8	0,7
500-700	83,2	4,8	88	1,1
700-1000	115,2	8,8	124	1,6
1000-1500	214,4	13,6	224	2,9
Больше 1500	6377,2	829,6	7206,8	92,7
Выход негабарита по группе в 40 скважин				92,7
Итого	6912	864	7776	100

При групповом взрывании скважинных зарядов нужно определить, сколько в группе зон между двумя зарядами и сколько зон за крайними зарядами. Выход горной массы по каждому выделенному классу крупности суммируется, и определяется грансостав породы раздробленной взрывом группы зарядов.

В карьерах на блоках обуривают и одновременно взрывают разное количество скважин. В нашем примере выбран блок, на котором пробурено четыре ряда скважин. В каждом ряду пробурено 10 скважин. При таких условиях взрывания на блоке формируются 32 зоны между двумя зарядами и 8 зон за крайними зарядами. В таблице 5 приведен грансостав по верхнему слою карьерного уступа, отбитому всеми скважинами. Выход негабарита по верхнему слою составил 92,7%. Увеличение группы взрываемых зарядов в 40 раз не привело к уменьшению выхода негабарита.

В горных породах первой, второй, а иногда и третьей категории трещиноватости этот громадный выход негабарита компенсируется естественной мелкой блочностью массива. В породах четвертой и пятой категории трещиноватости высокий выход негабарита формируется за счет верхнего слоя и остается недопустимо высоким с технологической точки зрения.

На основе сформулированной многофазной и многозонной теории развития процесса передачи, распределения в массиве энергии взрыва и технологического дробления породы взрывом с использованием разработанного комплекса компьютерных программ выполнены и проанализированы конкретные результаты расчета дробления породы взрывом в верхнем слое карьерного уступа, который является самой большой зоной нерегулируемого дробления.

Разработаны модели и аналитические зависимости для определения грансостава раздробленной породы в зоне между двумя зарядами и за крайним зарядом.

Взрыв скважинных зарядов оказывает незначительное влияние на дробление верхнего слоя карьерного уступа. Выход негабарита по верхнему слою в монолитном массиве превышает 90%.

Глава 14. Зоны нерегулируемого дробления горных пород взрывом

14.1. Общие сведения о зонах нерегулируемого дробления горных пород

В технической литературе по буровзрывным работам часто встречается термин «зона нерегулируемого дробления горных пород взрывом». Термин этот предложен профессором Кутузовым Б.Н. Термином этим обозначают участки горного массива в зоне технологического дробления горных пород, в которых заряд взрывчатого вещества с принятыми детонационными свойствами и технологическими параметрами дробить породу не в состоянии, но она по разным причинам оказывается раздробленной. В этих зонах она разваливается взрывом по естественным отдельностям без существенного участия энергии разрушения заряда в процессе дробления горных пород.

Зоны нерегулируемого дробления встречаются в разных местах отбиваемого карьерного блока. Они возникают в нижней части уступа перед первым рядом скважин. Они возникают в виде верхнего слоя карьерного блока. Они могут возникать в зонах между зарядами при неоправданно большой сетке скважин.

Из-за наличия зон нерегулируемого дробления не всегда удастся обеспечить заданное дробление отбитой взрывом горной массы. Принято считать, что главным средством борьбы с зонами нерегулируемого дробления являются увеличение удельного расход ВВ и сгущение сетки скважин. Но это не всегда так.

Это утверждение нельзя распространить на всегда существующую зону, на самую большую по объему зону нерегулируемого дробления, на верхний слой карьерного уступа. Изменение диаметра скважин и удельного расхода ВВ за счет изменения сетки скважин никак не повлияет на объем этой зоны и на качество дробления породы в ней. Объем этой зоны, отнесенный к одной скважине, будет изменяться, а объем этой зоны по блоку изменяться не будет.

Ниже мы попытаемся найти ответ на вопрос, как развалится порода, каким будет грансостав разваленной породы, каким будет выход негабарита по товарной руде и по отвальной породе при технологическом дроблении горных пород взрывом скважинных зарядов в карьерах. Попытаемся ответить на вопрос, как качество дробления верхнего слоя повлияет на качество дробления породы по блоку в целом. Изложим предварительные технологические мероприятия по улучшению качества дробления породы в верхнем слое карьерного уступа.

Развал породы по естественным отдельностям в зонах нерегулируемого дробления может быть решен только при знании фракционного состава горных пород, определяемого для пород каждого блока геологической службой горного предприятия. Обычно геологическая служба горного предприятия дает информацию о блочности горного массива по разным частям обуриваемого блока в виде категории трещиноватости горных пород. В таблице классификации горных пород, принятой на горном предприятии, присутствует

информация о блочности массива всех категорий трещиноватости горных пород конкретного предприятия. Но эта информация малопригодна для выполнения расчетов качественных показателей технологического дробления горных пород взрывом.

Демонстрацию дальнейших исследований и расчетов по блочности горных пород мы будем выполнять для условий Михайловского карьера.

14.2. Коэффициенты фракционности горных пород в карьерах

В соответствии с «Типовым проектом по организации и ведению буровзрывных работ в карьере Михайловский ГОК» на предприятиях комбината используется «Классификация трещиноватости горных пород», рекомендованная Межведомственной комиссией по взрывному делу. Эта таблица 1 имеет пять выделенных категорий по крепости, по взрываемости и по трещиноватости.

В первом столбце таблицы представлены все встречающиеся в Михайловском карьере горные породы. Они разнесены по пяти категориям трещиноватости. Эта таблица дает возможность определять категорию трещиноватости по названию горных пород. Некоторые горные породы могут иметь на разных участках разные категории трещиноватости. Категория трещиноватости одной по названию горной породы может изменяться с увеличением глубины горных работ. Во всех таких случаях геологическая служба комбината определяет и уточняет фактическую категорию трещиноватости конкретных горных пород.

Во втором столбце таблицы 14.2.1 представлены пять категорий трещиноватости, обозначенные римскими цифрами. В последнем столбце таблицы представлена краткая качественная характеристика каждой категории трещиноватости (блочности) горных пород.

В более полном виде таблицы категорий трещиноватости, рекомендованные Межведомственной комиссией по взрывному делу (таблица 14.2.2), содержат более подробную цифровую информацию о блочности массивов горных пород.

Представление блочности горных пород в таком виде не дает возможность использовать блочность горных пород в расчетных методиках, основанных на использовании компьютерных технологий.

Таблица 14.2.1.

Фрагмент категории трещиноватости горных пород Михайловского карьера

Наименования руд и горных пород в Михайловском карьере	Категория трещиноватости (фракционности) горных пород	Степень трещиноватости горных пород
Руда гематито-мартитовая рыхлая слабо уплотненная, сильно выветрелые маршалитизированные железистые кварциты среди рыхлых пород и в почве блока. Мелкоблочные породы	I	Чрезвычайно трещиноватые

Наименования руд и горных пород в Михайловском карьере	Категория трещиноватости (фракционности) горных пород	Степень трещиноватости горных пород
Руда гематито-маритовая плотная, бурые железняки и конгломерато-брекчии (рудные на карбонатном цементе кальцитизированные), окисленные железистые кварциты с частичной маршалитизацией, полуокисленные железистые кварциты с прослоями гидроокислов и зеленой слюды мощностью от 0,5 см и выше. Среднеблочные породы.	II	Сильно трещиноватые
Руда гематито-маритовая плотная и рыхлая, бурые железняки с включениями окисленных кварцитов (плотных, средне-трещиноватых), имеющих резкие контакты, распространенные до 50% по площади кровли и по вертикали блока. окисленные, полуокисленные, неокисленные железистые кварциты с прослоями зеленой слюды и гидроокислов железа менее 0,2 см. Крупноблочные породы.	III	Средне трещиноватые
Включения свыше 1 м карбонатных (сидерито-маритовых) руд среднеплотных и рыхлых, а также в кровле блока. Окисленные и неокисленные среднезернистые железистые кварциты. Весьма крупноблочные породы.	IV	Весьма крупноблочные
Неокисленные железистые мелкозернистые тонкослоистые и сливные кварциты. Практически монолитные породы.	V	Практически монолитные

Для использования информации о блочности горного массива в компьютерных расчетных методах нами введено понятие «коэффициенты фракционности горных пород» разных категорий трещиноватости как отношение объема любой фракции к объему всей раздробленной породы.

Всей раздробленной породой может являться весь объем экспериментальной пробы горных пород, весь объем породы, рассматриваемый в рассчитываемом варианте. Весь объем породы может быть суммой объемов всех фракций, на которые условно или фактически разделен изучаемый породный массив.

Таблица 14.2.2.

**Классификация трещиноватости горных пород,
рекомендованная Межведомственной комиссией по взрывному делу**

Категория трещиноватости	Степень трещиноватости	Среднее расстояние между трещинами, м	Содержание (%) в массиве отдельностей размером, мм					
			+300	+500	+700	+1000	+1500	+2000
I	Чрезвычайно трещиноватые (мелкоблочные)	До 0,1	До 100	До 5	Близко к нулю	Нет	Нет	Нет
II	Сильно трещиноватые (среднеблочные)	0,1 – 0,5	10 – 70	5 – 40	До 30	До 5	Близко к нулю	Нет
III	Средне трещиноватые (крупноблочные)	0,5 – 1,0	70 – 100	40 – 100	30 – 80	5 – 40	До 10	Близко к нулю
IV	Малотрещиноватые (весьма крупноблочные)	1,0 – 1,5	100	100	100	40-100	10-50	До 10
V	Практически монолитные (крупноблочные)	Свыше 1,5	100	100	100	100	Более 50	Более 10

На основе обобщения таблиц типа 14.2.2 и сведений о блочности горных массивов Михайловского карьера нами разработана для Михайловского карьера таблица 14.2.3 предложенных коэффициентов фракционности горных пород разных категорий трещиноватости при развале породы взрывом по естественным отдельностям в зонах нерегулируемого дробления пород взрывом для условий Михайловского карьера.

Таблица 14.2.3, в основном по содержанию, соответствует таблице 14.2.2 классификации горных пород по трещиноватости. Но она представлена в более удобной форме для ее использования при компьютерных расчетах грансостава в различных зонах дробления с учетом категории трещиноватости и объема зон регулируемого и нерегулируемого дробления породы взрывом [13–15].

Таблица 14.2.3.

Коэффициенты фракционности k_f пород Михайловского карьера

Категория трещиноватости массива	Степень трещиноватости массива	Классы крупности, мм					
		0 – 300	300 – 700	700 – 1000	1000 – 1500	1500 – 2500	Σk_f
		k_f – коэффициент фракционности пород в долях единицы					
I	Чрезвычайно трещиноватые	0,90	0,05	0,05	0	0	1
II	Сильно трещиноватые	0,30	0,50	0,20	0	0	1
III	Средне трещиноватые	0,15	0,25	0,45	0,10	0,05	1
IV	Мало трещиноватые	0	0	0,25	0,50	0,25	1
V	Практически монолитные	0	0	0	0,30	0,70	1

В таблице 14.2.3 в первых двух столбцах представлены пять категорий трещиноватости и их краткая качественная характеристика трещиноватости. В шапке таблицы представлены пять выделенных фракций по крупности породных кусков в массиве в мм. Пять фракций выбраны с учетом традиции их практического использования в науке и в практике горных работ.

Фракция от 0 до 300 мм — мелко раздробленная порода, фракция от 300 до 700 мм — порода средней крупности, фракция от 700 мм до 1000 мм — крупно раздробленная порода, фракция от 1000 мм до 1500 мм — негабаритные куски при отправке породы на обогатительную фабрику, фракция от 1500 мм 2500 мм — негабаритные куски породы при отправке породы в отвалы.

Для каждой категории трещиноватости в таблице 14.2.3 представлена строка ряда коэффициентов фракционности в виде долей единицы.

В первой строке таблицы, в первой категории трещиноватости, первый коэффициент фракционности 0,90 выделен жирным шрифтом. Он является

максимальным в ряду. По максимальному значению в ряду эту породу относят к первой категории трещиноватости.

Во второй строке таблицы, во второй категории трещиноватости, второй коэффициент фракционности 0,50 выделен жирным шрифтом. Он является максимальным в ряду. По максимальному значению в ряду эту породу относят ко второй категории трещиноватости.

В третьей строке таблицы, в третьей категории трещиноватости, третий коэффициент фракционности 0,45 выделен жирным шрифтом. Он является максимальным в ряду. По максимальному значению в ряду эту породу относят к третьей категории трещиноватости.

В четвертой строке таблицы, в четвертой категории трещиноватости, четвертый коэффициент фракционности 0,50 выделен жирным шрифтом. Он является максимальным в ряду. По максимальному значению в ряду эту породу относят к четвертой категории трещиноватости.

В пятой строке таблицы, в пятой категории трещиноватости, пятый коэффициент фракционности 0,70 выделен жирным шрифтом. Он является максимальным в ряду. По максимальному значению в ряду эту породу относят к пятой категории трещиноватости.

В последнем столбце таблицы всюду единица. Это сумма коэффициентов фракционности по каждому ряду, по каждой категории трещиноватости. Обязательное требование равенства суммы коэффициентов единице является показателем ее пригодности использования в компьютерных расчетах.

Такую таблицу целесообразно разрабатывать для каждого предприятия индивидуально с учетом масштабов производства, применяемого оборудования и взаимной связи технологических процессов. Таблица должна разрабатываться техническим отделом, геологическим отделом и маркшейдерским отделом горного предприятия.

14.3. Грансостав пород в зонах нерегулируемого дробления разваленных взрывом по естественным отдельностям

При определении блочности (фракционности) горных пород в конкретном участке карьера необходимо выполнять два условия: сумма всех фракций по каждой категории трещиноватости должна равняться 100%; породу нужно относить к категории трещиноватости, в которую попадает максимальный объем выхода конкретной фракции по этой породе.

Таблица коэффициентов фракционности позволяет легко перейти к грансоставу породы, разваленной взрывом по естественным отдельностям.

Умножив каждый коэффициент фракционности породы конкретной категории трещиноватости на 100, получим процент выхода каждой фракции при развале породы конкретной категории взрывом по естественным отдельностям. А это и есть грансостав породы, разваленной взрывом по естественным отдельностям.

В таблице 14.3.1 представлен грансостав пород Михайловского карьера по пяти категориям трещиноватости в любой зоне нерегулируемого дробления для всех пяти категорий трещиноватости горных пород, принятых на этом горном предприятии.

Таблица 14.3.1.

Грансостав пород Михайловского карьера по пяти категориям трещиноватости в любой зоне нерегулируемого дробления

Категория трещиноватости горных пород	Степень трещиноватости горных пород	Классы крупности, мм					
		0 – 300	300 – 500	500 – 1000	1000 – 1500	1500 – 2500	Сумма, %
		Грансостав, %					
I	Чрезвычайно трещиноватые	90	5	5	0	0	100
II	Сильно трещиноватые	30	50	20	0	0	100
III	Средне трещиноватые	15	25	45	10	5	100
IV	Весьма крупноблочные	0	0	25	50	25	100
V	Практически монолитные	0	0	0	30	70	100

Обращает на себя внимание в таблице 14.3.1 сильная зависимость численных показателей грансостава от категории трещиноватости горных пород в зонах нерегулируемого дробления при развале пород взрывом по естественным отдельностям.

В первой категории трещиноватости 90% породы разваливается на мелкие фракции. Оставшиеся 10% породы разваливаются на куски технологически приемлемой крупности. В пятой категории трещиноватости вся порода разваливается на три выделенные фракции негабаритных размеров.

За геологической службой горного предприятия остается право обоснованной корректировки выделяемых фракций и численных значений коэффициентов фракционности горных пород при соблюдении двух требований: обязательное равенство суммы коэффициентов единице по каждой категории трещиноватости горной породы, и сумма выходов горной массы по фракциям должна быть равна всей исследуемой массе породы, в процентах сумма должна равняться 100%.

14.4. Расчет качественных показателей дробления породы взрывом в зоне нерегулируемого дробления

Расчет качественных параметров раздробленной породы при технологическом дроблении горных пород взрывом в зоне нерегулируемого дробления целесообразно производить по объему породы, отбиваемой одним скважинным зарядом в карьере.

Объем верхней зоны нерегулируемого дробления, отбиваемой одним скважинным зарядом, определяется по формуле

$$V = abL_{зоб},$$

где a – расстояние между скважинами в ряду; b – расстояние между рядами скважин; $L_{зab}$ – длина забойки.

Объемный выход породы по фракциям в конкретной зоне нерегулируемого дробления определяется по формуле

$$\Delta V_i = k_f V.$$

Одна скважина в карьере отбивает объем породы

$$V = abH_{уст},$$

где $H_{уст}$ – высота уступа.

При сетке скважин 6 на 6 м и при высоте уступа 15 м один скважинный заряд отбивает 540 м³ горных пород.

Негабарит последнего столбца является негабаритом по отвальной породе. Выход негабарита по крупным фракциям отвальной породы определяется по формуле

$$\Delta N_O \% = \frac{100\Delta V_5}{V}.$$

Негабарит по товарной руде определяется по формуле

$$\Delta N_T \% = \frac{100(\Delta V_4 + \Delta V_5)}{V}.$$

Выход горной массы в каждом классе крупности, для каждой категории трещиноватости горных пород может быть определен по формуле

$$\Delta V_i = V k_{ji},$$

где k_{ji} – коэффициент фракционности выбранного класса крупности, выбранной категории трещиноватости.

Объем негабарита в зоне нерегулируемого дробления по товарной руде определяется по формуле

$$\Delta V_{nt} = \Delta V_4 + \Delta V_5,$$

где ΔV_5 , ΔV_6 – объем выхода негабарита соответственно по 5 и 6 классам крупности.

Объем негабарита в зоне нерегулируемого дробления по отвальной породе определяется по формуле

$$\Delta V_{no} = \Delta V_5.$$

Эта простая расчетная схема сильно усложняется, когда рассчитывать нужно параметры разнородных зон и учитывать воздействие на результаты дробления горных пород различных фаз процесса дробления, развивающихся в зонах нерегулируемого дробления горных пород и по соседству с ними. Эти расчеты можно выполнить только с использованием специальных компьютерных программ.

14.5. Компьютерный метод расчета качественных показателей разваленной породы взрывом в зоне нерегулируемого дробления

С использованием изложенных положений в ИПКОН РАН разработаны методики и компьютерные программы в программной оболочке MathCad для расчета грансостава и выхода негабарита в верхнем слое карьерного уступа при его развале взрывом по естественным отдельностям.

Демонстрируются фрагменты программ и численные методы расчета варианта для условий взрывания скважинного заряда тротила диаметром 250 мм при высоте уступа 15 м и при сетке скважин 6 на 6 м при длине забойки 6 м. В верхнем слое одним скважинным зарядом в нашем примере отбивается 216 м³ породы.

На рис. 14.5.1 представлен фрагмент компьютерной программы с начальными параметрами расчетов. В начальных параметрах представлена следующая информация: параметры буровзрывных работ, число и границы выделенных фракций, интервалы выделенных фракций, средние размеры кусков в выделенных фракциях. Представлены численные значения коэффициентов фракционности по пяти выделенным фракциям по всем пяти категориям трещиноватости.

Развал верхнего слоя по естественным отдельностям				
Параметры БВР				
w := 6	a := 6	Lзаб := 6	w := 6	a := 6
Принятые границы фракций грансостава				
KK1 := 0	KK2 := 300	KK3 := 700	KK4 := 1000	KK5 := 1500
Принятые фракции грансостава				
0 – 300	300 – 700	700 – 1000	1000 – 1500	1500 – 2500
Средний размер фракционного куска по принятым фракциям грансостава в метрах				
df1 := 0.15	df2 := 0.5	df3 := 0.85	df4 := 1.25	df5 := 2.00
Коэффициенты фракционности по категориям трещиноватости горных пород				
Kf1I := 0.9	Kf2I := 0.05	Kf3I := 0.05	Kf4I := 0	Kf5I := 0
Kf1II := 0.3	Kf2II := 0.5	Kf3II := 0.2	Kf4II := 0	Kf5II := 0
Kf1III := 0.15	Kf2III := 0.25	Kf3III := 0.45	Kf4III := 0.10	Kf5III := 0.05
Kf1IV := 0	Kf2IV := 0	Kf3IV := 0.25	Kf4IV := 0.50	Kf5IV := 0.25
Kf1V := 0	Kf2V := 0	Kf3V := 0	Kf4V := 0.30	Kf5V := 0.70

Рис. 14.5.1. Фрагмент компьютерной программы. Начальные параметры расчетов

Фракции по крупности				
K1(R) :=	KK1(R) if R = 1	K2(R) :=	KK2(R) if R = 1	K1(R) = K2(R)
	KK2(R) if R = 2		KK22(R) if R = 2	
	KK3(R) if R = 3		KK33(R) if R = 3	
	KK4(R) if R = 4		KK44(R) if R = 4	
	KK5(R) if R = 5		KK55(R) if R = 5	
	0 otherwise		0 otherwise	

Рис. 14.5.2. Фрагмент компьютерной программы. Формирование фракций по крупности

На рис. 14.5.2 представлен фрагмент компьютерной программы компьютерного формирования выделяемых фракций по крупности. Справа на рис. 14.5.2 представлена компьютерная таблица с сформированными пятью фракциями с заданными границами фракций.

На рис. 14.5.3 представлен фрагмент компьютерной программы определения грансостава по первой категории трещиноватости. В нижнем правом углу рисунка представлена компьютерная таблица с рассчитанным грансоставом по первой категории трещиноватости горных пород. Такая таблица рассчитывается по запросу по породам любой категории трещиноватости пород. Можно рассчитать такую таблицу по всем пяти категориям трещиноватости горных пород одновременно.

На рис. 14.5.4 представлена компьютерная таблица рассчитанного грансостава и объемного выхода породы, разваленной взрывом по естественным отдельностям, по пяти категориям трещиноватости горных пород. Первые два столбца границы выделенных фракций крупности кусков породы в мм. Следующие столбцы попарно в категориях трещиноватости: в I, II, III, IV и V. В каждой паре первый столбец – объемный выход породы во фракции в m^3 , второй столбец — грансостав в процентах по категории трещиноватости.

Процент выхода естественных фракций по **первой** категории трещиноватости

$V1\%(R) := Kf1I \cdot RR(R) \cdot 100$
 $V2\%(R) := Kf2I \cdot RR(R) \cdot 100$

$V3\%(R) := Kf3I \cdot RR(R) \cdot 100$
 $V4\%(R) := Kf4I \cdot RR(R) \cdot 100$

$V5\%(R) := Kf5I \cdot RR(R) \cdot 100$

$V6\%(R) :=$

$V1\%(R)$ if $R = 1$	$K1(R) = K2(R) =$	$V6\%(R) =$
$V2\%(R)$ if $R = 2$		
$V3\%(R)$ if $R = 3$		
$V4\%(R)$ if $R = 4$		
$V5\%(R)$ if $R = 5$		
0 otherwise		

Рис. 14.5.3. Фрагмент программы и компьютерная таблица грансостава по первой категории трещиноватости

В таблице хорошо видно, как по-разному разваливаются горные породы взрывом по естественным отдельностям.

При дроблении горных пород взрывом в карьерах самой большой зоной нерегулируемого дробления является верхний слой обуренного уступа толщиной, равной длине забойки в скважинах. Этот слой лежит над скважинными зарядами. Объем этого слоя достигает 40% и более от всего объема горной массы, отбиваемой на взрываемом блоке. Часто качество дробления именно этого слоя определяет качество дробления всей горной массы, отбиваемой на блоке.

В условиях горного производства чаще, если не сказать всегда, качество дробления горной массы оценивают по выходу негабарита. Выход негабарита связан не только с крупностью дробления горных пород, он связан также с проектным размером кондиционного куска породы. Размер кондиционного куска связан также с видом горных работ и с мощностью применяемого погрузочно-транспортного и дробильного оборудования.

$K1(R) =$		$K2(R) =$		$\Delta VI(R) = VI\%(R) =$		$\Delta VII(R) = VII\%(R) =$		$\Delta VIII(R) = VIII\%(R) =$	
0	300	194	90	65	30	32	15		
300	700	11	5	108	50	54	25		
700	1000	11	5	43	20	97	45		
1000	1500	0	0	0	0	22	10		
1500	2500	0	0	0	0	11	5		

$\Delta VIV(R) = VIV\%(R) =$		$\Delta VV(R) = VV\%(R) =$	
0	0	0	0
0	0	0	0
54	25	0	0
108	50	65	30
54	25	151	70

Рис. 14.5.4. Составная компьютерная таблица рассчитанного грансостава и объемного выхода породы, разваленной взрывом по естественным отдельностям, по пяти категориям трещиноватости

На крупных карьерах различают два вида негабаритных фракций: негабарит по товарной руде и негабарит по отвальной породе. Товарная руда доставляется на обогатительные фабрики для дальнейшего передела. Отвальная порода отправляется в отвалы. К ней предъявляются менее жесткие требования по негабариту. В нашем примере в качестве негабарита по товарной руде приняты фракции размером больше 1,0 м. В качестве негабарита по отвальной породе приняты фракции размером больше 1,5 м.

	I	II	III	IV	V
В товарной руде	$NtI_T = 0$	$NtII_T = 0$	$NtIII_T = 15$	$NtIV_T = 75$	$NtV_T = 100$
В отвальных породах	$NtIo = 0$	$NtIIo = 0$	$NtIIIo = 5$	$NtIVo = 25$	$NtVo = 70$

Рис. 14.5.5. Составленная компьютерная таблица выхода негабарита по товарной руде и отвальным породам

На рис. 14.5.5 представлена составная компьютерная таблица рассчитанных показателей по выходу негабарита в породах Михайловского карьера в зонах нерегулируемого дробления горных пород. В верхней строке представлен в процентах выход негабарита в товарной руде. Над выходом негабарита проставлены категории трещиноватости горных пород. В нижней строке представлен в процентах выход негабарита в отвальной породе.

В породах первой и второй категорий трещиноватости порода в верхнем слое карьерного уступа раздроблена качественно при развале ее взрывом по

естественным отдельностям. В третьей категории трещиноватости товарная руда раздроблена плохо при развале ее по естественным отдельностям. Выход негабарита достигает 5%. При таком дроблении в условиях карьера нужно провести дополнительно большой объем низкопроизводительных и высокозатратных работ по вторичному дроблению негабарита взрывным или механическим способом.

В породах четвертой и пятой категорий трещиноватости порода в верхнем слое карьерного уступа раздроблена катастрофически некачественно при развале ее взрывом по естественным отдельностям. Выход негабарита по товарной руде 75–100% совершенно не приемлем. Хорошо, что это промежуточный результат, который будет частично исправлен при перемешивании пород верхнего слоя с породами среднего слоя.

В отвальных породах только в породах четвертой и пятой категории трещиноватости выход негабарита высок и достигает 25–70%. Он тоже будет частично исправлен при смешивании с породами среднего слоя.

14.6. Влияние разваленной по естественным отдельностям верхней зоны на выход негабарита по блоку

Независимо от проектных решений, желания и действия исполнителей буровзрывных работ в карьерах, взрыв не только отбивает и дробит породу верхнего слоя карьерного уступа, но и перемешивает ее с отбитой и раздробленной породой среднего слоя карьерного уступа.

Процесс перемешивания раздробленной породы улучшает качественные показатели дробления породы в верхнем слое карьерного уступа, но он ухудшает качественные показатели дробления горных пород по среднему слою и по блоку в целом. В этой схеме расчета предполагается, что средний слой блока раздроблен качественно и не имеет в своем объеме негабаритных фракций.

На рис. 14.6.1 представлен фрагмент компьютерной программы расчетного определения процентного выхода негабарита по пяти категориям трещиноватости Михайловского карьера. По каждой категории трещиноватости определяется выход негабарита по товарной руде и по отвальной породе. Выход негабарита определяется по объему породы, отбиваемой одним скважинным зарядом. Выход негабарита определяется в уже смешанной взрывом породе. В этом же фрагменте приведены рассчитанные численные значения выхода негабарита.

На рис. 14.5.2 представлена составная компьютерная таблица рассчитанного распределения выхода негабарита по смешанной товарной руде и смешанным отвальным породам для пяти категорий трещиноватости горных пород Михайловского карьера.

Из сравнения таблицы на рис. 14.6.1 с аналогичной таблицей на рис. 14.5.5 предыдущего параграфа видно, что при смешивании пород верхнего слоя с породами среднего слоя выход негабарита по товарной руде и по отвальным породам существенно снижается. Выход негабарита остается высоким в породах четвертой и пятой категории трещиноватости.

Объем горных пород, отбиваемый в верхнем слое 1 зарядом $V_{cp} = 216 \text{ м}^3$		
Объем горных пород, отбиваемый 1 зарядом		
$V_p := 15 \cdot w \cdot a$		$V_p = 540 \text{ м}^3$
В товарной руде	$N_{tclt} := \frac{V_{cp} \cdot N_{tlt}}{V_p}$	$N_{tclt} = 0 \text{ \%}$
В отвальных породах	$N_{tclo} := \frac{V_{cp} \cdot N_{tlo}}{V_p}$	$N_{tclo} = 0 \text{ \%}$
Выход негабаритов в отбитой породе второй категории трещиноватости		
В товарной руде	$N_{tcllt} := \frac{V_{cp} \cdot N_{tllt}}{V_p}$	$N_{tcllt} = 0 \text{ \%}$
В отвальных породах	$N_{tcllo} := \frac{V_{cp} \cdot N_{tlllo}}{V_p}$	$N_{tcllo} = 0 \text{ \%}$
Выход негабаритов в отбитой породе третьей категории трещиноватости		
В товарной руде	$N_{tclllt} := \frac{V_{cp} \cdot N_{tlllt}}{V_p}$	$N_{tclllt} = 6 \text{ \%}$
В отвальных породах	$N_{tclllo} := \frac{V_{cp} \cdot N_{tllllo}}{V_p}$	$N_{tclllo} = 2 \text{ \%}$
Выход негабаритов в отбитой породе четвертой категории трещиноватости		
В товарной руде	$N_{tclVt} := \frac{V_{cp} \cdot N_{tIVt}}{V_p}$	$N_{tclVt} = 30 \text{ \%}$
В отвальных породах	$N_{tclVo} := \frac{V_{cp} \cdot N_{tIVo}}{V_p}$	$N_{tclVo} = 10 \text{ \%}$
Выход негабаритов в отбитой породе пятой категории трещиноватости		
В товарной руде	$N_{tcVt} := \frac{V_{cp} \cdot N_{tVt}}{V_p}$	$N_{tcVt} = 40 \text{ \%}$
В отвальных породах	$N_{tcVo} := \frac{V_{cp} \cdot N_{tVo}}{V_p}$	$N_{tcVo} = 28 \text{ \%}$

Рис. 14.6.1. Фрагмент компьютерной программы определения процентного выхода негабарита по пяти категориям трещиноватости Михайловского карьера

Но и в породах этих категорий трещиноватости он снижается в два с половиной раза. Но для пород, отбитых в среднем слое, это большое увеличение выхода негабарита. Помните, по условиям задачи в среднем слое негабарита не было.

	I	II	III	IV	V
В товарной смешанной руде	$N_{tclt} = 0$	$N_{tcllt} = 0$	$N_{tclllt} = 6$	$N_{tclVt} = 30$	$N_{tcVt} = 40$
В смешанной отвальной породе	$N_{tclo} = 0$	$N_{tcllo} = 0$	$N_{tclllo} = 2$	$N_{tclVo} = 10$	$N_{tcVo} = 28$

Рис. 14.6.2. Составленная компьютерная таблица выхода негабарита по смешанной товарной руде и смешанным отвальным породам

Необходимо оценить, окажет ли заметное влияние на снижение выхода негабарита по блоку частичное дробление породы совместным действием камуфлетной сферической, волновой сферической и квазистатической сферической фазами взрыва в верхнем слое карьерного уступа.

Глава 15. Влияние сферической камуфлетной, сферической волновой и сферической квазистатической фаз на выход негабарита

15.1. Дробление породы в верхнем слое сферической камуфлетной, сферической волновой и сферической квазистатической фазами взрыва

Совместное действие сферической камуфлетной, сферической волновой и сферической квазистатической фаз производит дробление части объема в верхнем слое карьерного уступа. Полезно оценить, будет ли это дробление существенным и как оно проявится в породах разной категории трещиноватости.

Используя разработанный компьютерный метод определения разрушающего действия фаз процесса в верхнем слое блока, для нашего демонстрационного варианта получили компьютерную таблицу, представленную на рис. 15.1.1. В таблице представлены результаты пошагового расчета, с шагом счета 0,2 метра, изменения плотности энергии разрушения. Представлено расстояние расчетных объемов от центра сферы в метрах и изменение линейного размера кусков породы в метрах в расчетных объемах.

В таблице выбраны внешние радиусы зон дробления породы совместным действием трех фаз процесса до крупности выбранных фракций раздробленной породы. Эти предельные радиусы в таблице помечены горизонтальными линиями. Порода дробится на куски первой фракции до 300 мм до расстояния 1,8 метра от центра сферы. Порода дробится на куски второй фракции 300–700 мм до расстояния 2,6 метра. Порода дробится на куски третьей фракции до 1000 мм до расстояния 3,2 метра. Порода дробится на куски четвертой фракции до 1500 мм до расстояния 3,8 метра. На более далеких расстояниях порода в верхнем слое совместным действием трех фаз не дробится на куски, а разваливается взрывом по естественным отдельностям, если такая возможность обеспечивается технологическими параметрами развития процесса.

Уместно напомнить, что поверхность дробимого объема является частью сферы, а не горизонтальной поверхностью. Этот факт скажется на определении объема фракционных зон раздробленной породы.

На рис. 15.1.2 представлен фрагмент компьютерной программы определения объемов выбранных фракций, раздробленных совместным действием трех фаз процесса в верхней зоне карьерного уступа. Во фрагменте представлены: плотность энергии разрушения, расстояние до расчетного объема и в метрах.

На рис. 15.1.3 представлен фрагмент компьютерной программы определения объема выхода раздробленной горной породы и ее распределения по фракциям в массиве первой категории трещиноватости.

$\Delta R = 0.2$		
$\Pi \Xi 1 \varsigma \Phi(R) \cdot R = \Delta k 1 \varsigma \Phi(R)$		
0	0.2	0
40115319	0.4	0.01
12577457	0.6	0.02
6541730	0.8	0.04
3970314	1	0.07
2640878	1.2	0.11
1889295	1.4	0.15
1384520	1.6	0.21
1061822	1.8	0.27
836639	2	0.34
674152	2.2	0.43
553311	2.4	0.52
461223	2.6	0.62
389581	2.8	0.74
332850	3	0.87
287232	3.2	1
250051	3.4	1.15
219387	3.6	1.31
193827	3.8	1.49
172320	4	1.67

Рис. 15.1.1. Дробление породы в верхнем слое сферической камуфлетной, сферической волновой и сферической квазистатической фазами взрыва

Внешние радиусы зон дробления породы до разной крупности					
$r1 := 1.8 \quad r2 := 2.6 \quad r3 := 3.2 \quad r4 := 3.8 \quad r5 := 0$					
Решение					
$V_{\text{сн}} := w \cdot a \cdot L_{\text{заб}} \quad V_{\text{сн}} = 216$					
$v1 := \frac{7}{18} \cdot \pi \cdot (r1^3 - 0)$	$v1 = 7$	$v1\% := \frac{100 \cdot v1}{V_{\text{сн}}}$	$v1\% = 3.3 \quad \%$		
$v2 := \frac{7}{18} \cdot \pi \cdot (r2^3 - r1^3)$	$v2 = 14$	$v2\% := \frac{100 \cdot v2}{V_{\text{сн}}}$	$v2\% = 6.6 \quad \%$		
$v3 := \frac{7}{18} \cdot \pi \cdot (r3^3 - r2^3)$	$v3 = 19$	$v3\% := \frac{100 \cdot v3}{V_{\text{сн}}}$	$v3\% = 8.6 \quad \%$		
$v4 := \begin{cases} \frac{7}{18} \cdot \pi \cdot (r4^3 - r3^3) & \text{if } r4 > r3 \\ 0 & \text{if } r4 = 0 \end{cases}$	$v4 = 27$	$v4\% := \frac{100 \cdot v4}{V_{\text{сн}}}$	$v4\% = 12.5 \quad \%$		
$v5 := \begin{cases} \frac{7}{18} \cdot \pi \cdot (r5^3 - r4^3) & \text{if } r5 > r4 \\ 0 & \text{if } r5 = 0 \end{cases}$	$v5 = 0$	$v5\% := \frac{100 \cdot v5}{V_{\text{сн}}}$	$v5\% = 0 \quad \%$		

Рис. 15.1.2. Фрагмент компьютерной программы определения объемов выбранных фракций

Введены объемы трех фракционных зон, которые могут формироваться в породах первой категории трещиноватости. Две последние фракционные зоны не могут формироваться в породах первой категории трещиноватости, т. к. таких больших кусков и кусков больших размеров в породном массиве просто нет.

На рис. 15.1.3 представлен фрагмент компьютерной программы определения объема выхода раздробленной горной породы и ее распределения по

фракциям в массиве первой категории трещиноватости. Во фрагмент программы введены параметры фракционных зон нашего демонстрационного варианта и рабочие формулы расчета объема породы в каждой фракционной зоне и их процентные соотношения.

Выход раздробленной взрывом горной массы по породам
первой категории трещиноватости

$v1 = 7$ $v2 = 14$ $v3$ $V_{раз1} := v1$
 $V_{раз1} = 7 \text{ м}^3$ $V_{раз1\%} = \frac{V_{раз1} \cdot 100}{216}$ $V_{раз1\%} = 3 \%$
 $V1 := V_{сн} - V_{раз1}$
 Вспомогательные величины
 $\Delta R := 1$ $V_{сн} = 216$ $V1 = 209 \text{ м}^3$ $v_{раз} := V1$
 $R := 1, (1 + \Delta R) \dots 5$ $RR(R) = \frac{R}{R}$
 Не раздробленная взрывом часть породы

$$V_{раз1}(R) := \begin{cases} \left(\frac{V_{сн} \cdot V1\%(R)}{100} \right) & \text{if } R = 1 \\ \left(\frac{V_{сн} \cdot V1\%(R)}{100} \right) & \text{if } R = 2 \\ \frac{V_{сн} \cdot V1\%(R)}{100} + 1 & \text{if } R = 3 \\ 0 & \text{if } R = 4 \\ 0 & \text{if } R = 5 \end{cases}$$

$$V_{раз2}(R) := \begin{cases} \left(\frac{V1 \cdot V1\%(R)}{100} + v1 \right) & \text{if } R = 1 \\ \left(\frac{V1 \cdot V1\%(R)}{100} \right) & \text{if } R = 2 \\ \left(\frac{V1 \cdot V1\%(R)}{100} \right) & \text{if } R = 3 \\ 0 & \text{if } R = 4 \\ 0 & \text{if } R = 5 \end{cases}$$

$$\sum_R V_{раз1}(R) = 216$$

$$INN\%(R) := \frac{V_{раз2}(R) \cdot 100}{\sum_R V_{раз2}(R)}$$

Рис. 15.1.3. Фрагмент компьютерной программы определения объема выхода раздробленной горной породы и ее распределения по фракциям в массиве первой категории трещиноватости

Выполнен пошаговый расчет с шагом счета 1 м распределения раздробленных кусков по выбранным фракциям. Составлены компьютерные таблицы распределения объемов породы по фракциям и грансостава раздробленной породы по выбранным фракциям (рис. 15.1.4).

В верхней таблице рис. 15.1.4 три столбика-вектора. В первом столбике – грансостав породы в массиве первой категории трещиноватости, разваленной взрывом по естественным отдельностям, без учета разрушающего действия трех фаз процесса.

Во втором столбике — объемный выход породы по фракциям в массиве первой категории трещиноватости, разваленной взрывом по естественным отдельностям, без учета разрушающего действия трех фаз процесса.

R =	V1%(R) =	V _{раз1} (R) =	V _{раз2} (R)	INN%(R)
1	90	194	195	90
2	5	11	10	5
3	5	12	10	5
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Рис. 15.1.4. Компьютерные таблицы распределения объемов породы по фракциям в массивах первой категории трещиноватости

В третьем столбике — объемный выход породы по фракциям в массиве первой категории трещиноватости, разваленной взрывом по естественным отдельностям, с учетом разрушающего действия трех фаз процесса.

По всем трем фракциям объемный выход породы возрос за счет дробления породы на мелкие фракции действием трех фаз процесса.

В нижней таблице три столбика-вектора. В первом столбике — расстояния от центра сферы в метрах.

Во втором столбике — грансостав породы в массиве первой категории трещиноватости, разваленной взрывом по естественным отдельностям, без учета разрушающего действия трех фаз процесса.

В третьем столбике — грансостав породы по фракциям, в массиве первой категории трещиноватости, разваленной взрывом по естественным отдельностям, с учетом разрушающего действия трех фаз процесса.

Грансостав изменился за счет увеличения выхода породы по второй и третьей фракциям. Крупнее третьей фракции (700 мм) куски в породах первой категории трещиноватости не образуются. Все фракции раздробленной породы в первой категории трещиноватости, в нашем примере кондиционные. Выхода негабарита нет.

На рис. 15.1.5 представлен фрагмент компьютерной программы определения объема выхода раздробленной горной породы и ее распределения по фракциям в массиве пятой категории трещиноватости. Введены объемы пяти фракционных зон, которые могут формироваться в породах пятой категории трещиноватости.

Выход раздробленной взрывом горной массы по породам
пятой категории трещиноватости

$$v1 = 7 \quad v2 = 14 \quad v3 = 19 \quad v4 = 27 \quad v5 = 0$$

$$V_{раз} := v1 + v2 + v3 + v4 + v5$$

$$V_{раз} = 67 \text{ м}^3 \quad V_{раз}\% := \frac{V_{раз} \cdot 100}{216}$$

$$V1 := V_{сн} - V_{раз}$$

Вспомогательные величины

$$\Delta R := 1 \quad V_{сн} = 216 \quad V1 = 149 \text{ м}^3 \quad v_{раз} := V1$$

$$R := 1, (1 + \Delta R) \dots 5 \quad RR(R) := \frac{R}{R}$$

Не раздробленная взрывом часть породы

$$V_{разV}(R) := \begin{cases} \left(\frac{V_{сн} \cdot VV\%(R)}{100} \right) & \text{if } R = 1 \\ \left(\frac{V_{сн} \cdot VV\%(R)}{100} \right) & \text{if } R = 2 \\ \frac{V_{сн} \cdot VV\%(R)}{100} + 1 & \text{if } R = 3 \\ \frac{V_{сн} \cdot VV\%(R)}{100} & \text{if } R = 4 \\ \frac{V_{сн} \cdot VV\%(R)}{100} & \text{if } R = 5 \end{cases}$$

$$V_{разV}(R) := \begin{cases} \left(\frac{V1 \cdot VV\%(R)}{100} \right) + v1 & \text{if } R = 1 \\ \left(\frac{V1 \cdot VV\%(R)}{100} \right) + v2 & \text{if } R = 2 \\ \frac{V1 \cdot VV\%(R)}{100} + v3 & \text{if } R = 3 \\ \frac{V1 \cdot VV\%(R)}{100} + v4 & \text{if } R = 4 \\ \frac{V1 \cdot VV\%(R)}{100} & \text{if } R = 5 \end{cases}$$

$$VNN\%(R) := \frac{V_{разV}(R) \cdot 100}{\sum_R V_{разV}(R)} \quad \sum_R V_{разV}(R) = 216$$

Рис. 15.1.5. Фрагмент компьютерной программы определения объема выхода раздробленной горной породы и ее распределения по фракциям в массиве пятой категории трещиноватости

Выполнен пошаговый расчет с шагом счета 1 м распределения раздробленных кусков по выбранным фракциям. Составлены компьютерные таблицы распределения объемов породы по фракциям и грансостава раздробленной породы по выбранным фракциям (рис. 15.1.6).

В верхней таблице три столбика-вектора. В первом столбике – грансостав породы в массиве пятой категории трещиноватости, разваленной взрывом по естественным отдельностям, без учета разрушающего действия трех фаз процесса. Вся разваленная порода некондиционной крупности по товарной руде и имеет 70% выхода негабарита по отвальной породе.

Во втором столбике — объемный выход породы по фракциям в массиве пятой категории трещиноватости, разваленной взрывом по естественным отдельностям, без учета разрушающего действия трех фаз процесса.

В третьем столбике — объемный выход породы по фракциям в массиве пятой категории трещиноватости, разваленной взрывом по естественным отдельностям, с учетом разрушающего действия трех фаз процесса.

По первым трем фракциям появился объемный выход породы за счет дробления породы на мелкие фракции действием трех фаз процесса.

В нижней таблице три столбика-вектора. В первом столбике – расстояния от центра сферы в метрах.

Во втором столбике – грансостав породы в массиве пятой категории трещиноватости, разваленной взрывом по естественным отдельностям, без учета разрушающего действия трех фаз процесса.

R =	$VV\%(R) = V_{\text{праз}}V(R) : VV\%(R) : VNN\%(R)$			
1	0	0	0	3
2	0	0	0	7
3	0	1	0	9
4	30	65	30	33
5	70	151	70	48

Рис. 15.1.6. Компьютерные таблицы распределения объемов породы по фракциям в массивах пятой категории трещиноватости

В третьем столбике — грансостав породы по фракциям в массиве пятой категории трещиноватости, разваленной взрывом по естественным отдельностям, с учетом разрушающего действия трех фаз процесса.

Грансостав изменился за счет роста выхода породы по первой, второй, третьей и четвертой фракциям. В пятой фракции грансостав уменьшился на 22%. Выход негабарита остался катастрофически большим и составил 48%.

Выход негабарита по товарной руде с учетом разрушающего действия трех фаз процесса составляет в породах пятой категории 81%, а по отвальной породе 48%.

15.2. Расчетный выход негабарита без учета дробящего действия и с учетом дробящего действия трех фаз процесса

Важным численным показателем качества технологического дробления горных пород взрывом в карьерах является выход негабарита. Выполненные компьютерные расчеты позволяют проанализировать, как изменяется расчетный выход негабарита без учета и с учетом дробящего действия трех фаз процесса в верхнем слое карьерного блока.

На рис. 15.2.1 представлена компьютерная таблица расчетного выхода объема породы по фракциям в горных массивах пяти категорий трещиноватости без учета дробящего действия трех фаз процесса. На рис. 15.2.2 представлена компьютерная таблица расчетного выхода объема породы по фракциям в горных массивах пяти категорий трещиноватости с учетом дробящего действия трех фаз процесса.

Расчеты выполнены для условий технологического дробления горных пород взрывом в верхнем слое карьерного уступа, который в рассматриваемых вариантах является зоной нерегулируемого дробления горных пород.

Порядок формирования обеих таблиц одинаковый.

В первых двух столбцах таблиц представлены нижняя и верхняя границы выбранных фракций по размерам кусков породы, входящих во фракции. Следующие столбцы попарно, третий и четвертый, пятый и шестой, седьмой и восьмой, девятый и десятый, одиннадцатый и двенадцатый относятся к конкретной категории трещиноватости. Категории трещиноватости представлены выше названных пар столбцов.

I				II		III	
$K1(R) =$	$K2(R) =$	$V_{Ipa3I}(R) =$	$V_{I\%}(R) =$	$V_{Ipa3II}(R) =$	$V_{II\%}(R) =$	$V_{Ipa3III}(R) =$	$V_{III\%}(R) =$
0	300	194	90	65	30	32	15
300	700	11	5	108	50	54	25
700	1000	12	5	44	20	98	45
1000	1500	0	0	0	0	22	10
1500	2500	0	0	0	0	11	5

IV		V	
$V_{Ipa3IV}(R) =$	$V_{IV\%}(R) =$	$V_{Ipa3V}(R) =$	$V_{V\%}(R) =$
0	0	0	0
0	0	0	0
55	25	1	0
108	50	65	30
54	25	151	70

Рис. 15.2.1. Компьютерная таблица расчетного выхода объема породы по фракциям в горных массивах пяти категорий трещиноватости без учета дробящего действия трех фаз процесса

В парах столбцов первый – это выход объема породы в м^3 . Второй – это грансостав в процентах породы в конкретной категории трещиноватости.

Из таблиц видно, что учет дробящего действия сферической камуфлетной фазы, сферической волновой фазы и сферической квазистатической фазы при расчете крупности дробления породы в верхней зоне карьерного блока, который является зоной нерегулируемого дробления горных пород, изменяет объем фракций и грансостав раздробленной породы по верхней зоне.

На рис. 15.2.3 представлены компьютерные таблицы по смешанной по двум зонам товарной руде и отвальным породам. В верхней части таблицы представлен выход негабарита по товарной руде и по отвальной породе, полученный без учета разрушающего действия трех фаз процесса, по пяти категориям трещиноватости. В нижней части таблицы представлен выход негабарита по товарной руде и по отвальной породе, полученный с учетом разрушающего действия трех фаз процесса, по пяти категориям трещиноватости.

Разрушающее действие сферической камуфлетной фазы, сферической волновой фазы и сферической квазистатической фазы приводит к снижению выхода негабарита в отбитой горной породе по блоку. Но выход негабарита по породам четвертой и пятой категории трещиноватости, особенно по товарной руде, остается недопустимо высоким.

$K1(R) = K2(R) =$		I		II		III	
		$V_{Ipa3aI}(R)$	$\#NN\%(R)$	$V_{Ipa3aII}(R)$	$\#NN\%(R)$	$V_{Ipa3aIII}(R)$	$\#NN\%(R)$
0	300	195	90	65	30	34	16
300	700	10	5	112	52	58	27
700	1000	10	5	39	18	98	45
1000	1500	0	0	0	0	18	8
1500	2500	0	0	0	0	9	4

IV		V	
$V_{Ipa3aIV}(R)$	$\#VNN\%(R)$	$V_{Ipa3aV}(R)$	$\#VNN\%(R)$
7	3	7	3
14	7	14	7
56	26	19	9
101	47	72	33
37	17	104	48

Рис. 15.2.2. Компьютерная таблица расчетного выхода объема породы по фракциям в горных массивах пяти категорий трещиноватости с учетом дробящего действия трех фаз процесса

Без учета					
	I	II	III	IV	V
В товарной смешанной руде	$N_{Tclt} = 0$	$N_{Tclt} = 0$	$N_{Tclt} = 6$	$N_{Tclt} = 30$	$N_{Tclt} = 40$
В смешанной отвальной породе	$N_{Tclo} = 0$	$N_{Tclo} = 0$	$N_{Tclo} = 2$	$N_{Tclo} = 10$	$N_{Tclo} = 28$

С учетом					
	I	II	III	IV	V
В товарной смешанной руде	$N_{Tclt} = 0$	$NN_{Tclt} = 0$	$NN_{Tclt} = 5$	$NN_{Tclt} = 26$	$NN_{Tclt} = 33$
В смешанной отвальной породе	$N_{Tclo} = 0$	$NN_{Tclo} = 0$	$NN_{Tclo} = 2$	$NN_{Tclo} = 7$	$NN_{Tclo} = 19$

Рис. 15.2.3. Составленные компьютерные таблицы выхода негабарита по смешанной по двум зонам товарной руде и отвальным породам

15.3. Изменение толщины верхнего слоя уступа на выход негабарита

Одной из главных причин повышенного выхода негабарита в карьерах является большая по объему и всегда присутствующая в отбиваемом блоке зона нерегулируемого дробления, представляющая собой верхний слой блока, лежащий выше вертикальных скважинных зарядов и примыкающий к скважинной забойке. Порода в этом объеме нижележащими скважинными зарядами практически не дробится, а разваливается взрывом по естественным отдельностям.

Попытки улучшить качество дробления горных пород в этой зоне путем сгущения сетки скважин не состоятельны. При таких попытках объем разваливаемой взрывом породы над скважиной уменьшается, но суммарный их объем над всеми скважинами обуриваемого блока не уменьшается.

При решении этой проблемы в первую очередь нужно учитывать два важнейших фактора: природный фактор и технологический фактор.

Таблица 15.3.1.

Грансостав пород Михайловского карьера по пяти категориям трещиноватости, по пяти фракциям крупности при любом объеме зоны нерегулируемого дробления

Категория трещиноватости горных пород	Степень трещиноватости горных пород	Классы крупности, мм				
		0 – 300	300 – 700	700 – 1000	1000 – 1500	1500 – 2500
		Грансостав, %				
I	Чрезвычайно трещиноватые	90	5	5	0	0
II	Сильно трещиноватые	30	50	20	0	0
III	Среднетрещиноватые	15	25	45	10	5
IV	Весьма крупноблочные	0	0	25	50	25
V	Практически монолитные	0	0	0	30	70

Природный фактор геологический — категория трещиноватости горных пород. При оформлении геологической информации о горных породах блока перед оперативным проектированием буровзрывных работ не желательно указывать категории трещиноватости пород в виде диапазона (2–4 категория трещиноватости). Желательно указывать одну категорию трещиноватости. Если присутствуют на блоке несколько разновидностей горных пород, желательно задавать их контуры и их индивидуальные категории трещиноватости. От объективности и детальности этой информации зависит правильность принимаемых технологических решений при проектировании параметров буровзрывных работ.

Технологический фактор — толщина верхнего слоя блока, лежащего выше скважинных зарядов. Это главный поддающийся управлению технологический фактор, существенно влияющий на выход негабарита в всем объеме, отбиваемом скважинным зарядом.

С использованием «Типового проекта по организации и ведению буровзрывных работ в карьере ОАО «Михайловский ГОК» нами разработана таблица коэффициентов фракционности горных пород разных категорий трещиноватости в Михайловском карьере.

Коэффициенты фракционности обладают хорошим свойством. Умножая коэффициент фракционности на объем или часть объема зоны нерегулируемого дробления получаем объем в м³ данной фракции в анализируемом объеме. Умножая коэффициент фракционности на 100, получаем процент выхода этой фракции в любом объеме породы этой категории трещиноватости, разваленной взрывом по естественным отдельностям.

Для горных пород всех категорий трещиноватости Михайловского карьера нами разработана таблица грансостава (в %) по принятым пяти фракциям крупности. Цифры в последнем столбце представляют собой выход негабарита в отвальной породе, если бы весь объем не дробился, а разваливался бы по естественным отдельностям. Построчная сумма цифр двух последних столбцов представляет собой выход негабарита в товарной руде, если бы весь объем не дробился, а разваливался бы по естественным отдельностям.

Грансостав в смешанном объеме верхнего и среднего слоя существенно ниже. Он в большей степени зависит от высоты уступа и толщины верхнего слоя.

Для анализа влияния толщины верхнего слоя карьерного уступа на выход негабарита составлена компьютерная программа. Расчет выполняется при предположении, что в среднем слое уступа негабарит не формируется.

В расчетах в качестве начальных параметров используются расчетные цифровые значения грансостава пород, разваленных взрывом по естественным отдельностям в верхней зоне карьерного уступа, по пяти классам крупности и по пяти категориям трещиноватости при высоте уступа $H_y = 15$ м. Используются параметры сетки скважин в метрах (6 x 6). Из таблицы грансостава записаны в удобной для выбора и расчета форме проценты выхода породы по четвертой и пятой фракциям по пяти категориям трещиноватости. $I\%4 = 0$ и $I\%5 = 0$ обозначают, что в первой категории трещиноватости в четвертой и пятой фракциях выход негабарита в таблице равен 0%. Толщина слоя в программе переменная величина, изменяется с шагом 1 м. На рис. 15.3.2 представлен фрагмент программы с основными расчетными формулами.

Для каждой категории трещиноватости горных пород рассчитывается объем негабаритов в товарной руде и в отвальной породе в объеме породы, отбитой одним скважинным зарядом.

Рассчитывается процент выхода негабарита в товарной руде и в отвальной породе в перемешанной породе верхнего и нижнего слоя, отбитой взрывом любого количества скважинных зарядов,

В первом столбце таблицы представлена толщина слоя (м), во втором — объем верхнего слоя (m^3), в третьем — объем четвертой фракции (m^3), в четвертом — объем пятой фракции (m^3), в пятом — процент выхода негабарита по товарной руде, в шестом — процент выхода негабарита в отвальной породе.

Таблица 15.3.2.

Результаты расчета выхода негабарита для пород I категории трещиноватости

L =	v(L) =	$\Delta V4(L)$	$\Delta V5(L)$	$\Delta Ni\% (L)$	$\Delta Ni\% (L)$
0	0	0	0	0	0
1	36	0	0	0	0
2	72	0	0	0	0
3	108	0	0	0	0
4	144	0	0	0	0
5	180	0	0	0	0
6	216	0	0	0	0
7	252	0	0	0	0
8	288	0	0	0	0
9	324	0	0	0	0
10	360	0	0	0	0

Таблица 15.3.3.

Результаты расчета выхода для пород II категории трещиноватости

L =	v(L) =	$\Delta V_4(L) :$	$\Delta V_5(L)$	$\Delta N_{II\tau\%}(L)$	$\Delta N_{II\sigma\%}(L)$
0	0	0	0	0	0
1	36	1.1	0.7	0.3	0.1
2	72	2.2	1.4	0.7	0.3
3	108	3.2	2.2	1	0.4
4	144	4.3	2.9	1.3	0.5
5	180	5.4	3.6	1.7	0.7
6	216	6.5	4.3	2	0.8
7	252	7.6	5	2.3	0.9
8	288	8.6	5.8	2.7	1.1
9	324	9.7	6.5	3	1.2
10	360	10.8	7.2	3.3	1.3

В таблице 15.3.3 представлены результаты расчета для пород III категории в рассмотренном диапазоне изменения толщины верхнего слоя от 0 до 10 м в смешанном объеме отбитой горной массы негабарита нет.

В этом варианте нет необходимости размещать заряд ВВ в скважине до отметки 6 м от поверхности уступа. Можно оставлять недозаряженными 10 м скважины, а может быть, и больше. Важно, чтобы из-под толстого верхнего слоя взрывом была выбита опора. При обрушении верхнего слоя он развалится по естественным отдельностям, и качество дробления не ухудшится.

В таблице 15.3.3 представлены результаты расчета для пород II категории трещиноватости. При максимально допустимом выходе негабарита 3% в породах II категории трещиноватости можно делать забойку длиной 9 м по товарной руде и длиной 10 м и более по отвальной породе.

При допустимом 3% выходе негабарита в породах III категории трещиноватости забойку по товарной руде целесообразно делать длиной 1 м, а по отвальной породе — длиной 3 м.

При допустимом 3% выходе негабарита в породах IV категории трещиноватости забойку по товарной руде целесообразно делать длиной 0 м, а по отвальной породе длиной 1 м.

Таблица 15.3.4.

Результаты расчета выхода для пород III категории трещиноватости

L =	v(L) =	$\Delta V_4(L) :$	$\Delta V_5(L)$	$\Delta N_{III\tau\%}(L)$	$\Delta N_{III\sigma\%}(L)$
0	0	0	0	0	0
1	36	10.8	5.4	3	1
2	72	21.6	10.8	6	2
3	108	32.4	16.2	9	3
4	144	43.2	21.6	12	4
5	180	54	27	15	5
6	216	64.8	32.4	18	6
7	252	75.6	37.8	21	7
8	288	86.4	43.2	24	8
9	324	97.2	48.6	27	9
10	360	108	54	30	10

В таблице 15.3.5 представлены результаты расчета для пород IV категории трещиноватости.

В таблице 15.3.6 представлены результаты расчета для пород V категории трещиноватости.

При допустимом 3% выходе негабарита в породах V категории трещиноватости забойку по товарной руде целесообразно делать длиной 0 м и по отвальной породе длиной 0 м.

Ниже приводится таблица для пород V категории трещиноватости при более мелком шаге счета.

В этой таблице видно, что в породах V категории трещиноватости выход негабарита будет меньше 3% в товарной руде при длине забойки 0,25 м, а в отвальной породе при длине забойки 0,5 м.

При спаренных уступах выход негабарита снижается в два раза. Конечно, и при метровой длине забойки выход негабарита 6,7% и 5,3% много меньше, чем при шестиметровой длине забойки 40% и 32%.

Таблица 15.3.5.

Результаты расчета выхода для пород IV категории трещиноватости

L =	v(L) =	$\Delta V4(L)$	$\Delta V5(L)$	$\Delta NIVt\%(L)$	$\Delta NIVo\%(L)$
0	0	0	0	0	0
1	36	19.8	9	5.3	1.7
2	72	39.6	18	10.7	3.3
3	108	59.4	27	16	5
4	144	79.2	36	21.3	6.7
5	180	99	45	26.7	8.3
6	216	118.8	54	32	10
7	252	138.6	63	37.3	11.7
8	288	158.4	72	42.7	13.3
9	324	178.2	81	48	15
10	360	198	90	53.3	16.7

Таблица 15.3.6.

Результаты расчета выхода для пород V категории трещиноватости

L =	v(L) =	$\Delta V4(L)$	$\Delta V5(L)$	$\Delta NVt\%(L)$	$\Delta NVo\%(L)$
0	0	0	0	0	0
1	36	7.2	28.8	6.7	5.3
2	72	14.4	57.6	13.3	10.7
3	108	21.6	86.4	20	16
4	144	28.8	115.2	26.7	21.3
5	180	36	144	33.3	26.7
6	216	43.2	172.8	40	32
7	252	50.4	201.6	46.7	37.3
8	288	57.6	230.4	53.3	42.7
9	324	64.8	259.2	60	48
10	360	72	288	66.7	53.3

Увеличение высоты уступа оказывает некоторое влияние на снижение выхода негабарита. Ниже таблица при высоте уступа 30 м.

При спаренных уступах выход негабарита снижается в два раза. Конечно, и при метровой длине забойки выход негабарита 6,7% и 5,3% много меньше, чем при шестиметровой длине забойки 40% и 32%.

Увеличение высоты уступа оказывает некоторое влияние на снижение выхода негабарита. Ниже таблица при высоте уступа 30 метров.

Попробуем оценить влияние разрушающего действия сферической камуфлетной, сферической волновой и сферической квазистатической фаз процесса на грансостав смешанной породы верхней и средней зоны, отбитой одним скважинным зарядом.

В качестве начальной информации взята расчетная компьютерная таблица, представленная на рис. 15.3.1.

Таблица 15.3.7.

Результаты расчета выхода для пород V категории трещиноватости

LL =	v(LL) =	$\Delta V4(LL)$	$\Delta V5(LL)$	$\Delta NVt\%(LL)$	$\Delta NVo\%(LL)$
0	0	0	0	0	0
0.25	9	1.8	7.2	1.7	1.3
0.5	18	3.6	14.4	3.3	2.7
0.75	27	5.4	21.6	5	4
1	36	7.2	28.8	6.7	5.3
1.25	45	9	36	8.3	6.7
1.5	54	10.8	43.2	10	8
1.75	63	12.6	50.4	11.7	9.3
2	72	14.4	57.6	13.3	10.7
2.25	81	16.2	64.8	15	12
2.5	90	18	72	16.7	13.3
2.75	99	19.8	79.2	18.3	14.7
3	108	21.6	86.4	20	16

Таблица 15.3.8.

Результаты расчета выхода для пород V категории трещиноватости при спаренном уступе

LL =	v(LL) =	$\Delta V4(LL)$	$\Delta V5(LL)$	$\Delta NVt\%(LL)$	$\Delta NVo\%(LL)$
0	0	0	0	0	0
0.25	9	1.8	7.2	0.8	0.7
0.5	18	3.6	14.4	1.7	1.3
0.75	27	5.4	21.6	2.5	2
1	36	7.2	28.8	3.3	2.7
1.25	45	9	36	4.2	3.3
1.5	54	10.8	43.2	5	4
1.75	63	12.6	50.4	5.8	4.7
2	72	14.4	57.6	6.7	5.3
2.25	81	16.2	64.8	7.5	6
2.5	90	18	72	8.3	6.7
2.75	99	19.8	79.2	9.2	7.3
3	108	21.6	86.4	10	8

В первом столбце таблицы рис. 15.3.3 представлена переменная толщина слоя от 1 до 10 м с шагом счета 1 м. Во втором столбце представлены объемы товарной руды в м³ по фракциям при разной толщине слоя, представленной в первом столбце. В третьем столбце представлен выход негабарита в %

по товарной руде при разной толщине слоя, представленной в первом столбце. Во четвертом столбце представлены объемы отвальной породы в m^3 по фракциям при разной толщине слоя, представленной в первом столбце. В пятом столбце представлен выход негабарита в % по отвальной породе при разной толщине слоя, представленной в первом столбце.

Если принять 5% допустимым выход негабарита по товарной руде, то в рудах третьей категории трещиноватости можно вести отбойку с длиной забойки 6 м. Эта длина забойки широко распространена при ведении буровзрывных работ в крупных карьерах.

Так развалена по естественным отдельностям нераздробленная взрывом часть породы в верхнем слое блока, с учетом дробящего действия трех фаз процесса

		I		II		III	
K1(R) = K2(R) =		V _{праззI} (R)	NN%(R)	V _{праззII} (R)	NN%(R)	V _{праззIII} (R)	NN%(R)
0	300	195	90	65	30	34	16
300	700	10	5	112	52	58	27
700	1000	10	5	39	18	98	45
1000	1500	0	0	0	0	18	8
1500	2500	0	0	0	0	9	4

IV		V	
V _{праззIV} (R)	NN%(R)	V _{праззV} (R)	NN%(R)
7	3	7	3
14	7	14	7
56	26	19	9
101	47	72	33
37	17	104	48

Рис. 15.3.1. Компьютерная таблица выхода объема породы по фракциям и грансостава по пяти категориям трещиноватости при толщине слоя 6 метров

Выход негабарита по породам третьей категории трещиноватости при разной толщине верхнего слоя

$$V_p := 540 \quad \Delta L := 1$$

$$L := 1, (1 + \Delta L) \dots 10 \quad LL(L) := \frac{L}{L}$$

$$V_{фтрIII}(L) := \left(\frac{V_{праззIII}(4) + V_{праззIII}(5)}{6} \right) \cdot L \quad NL_{трIII}(L) := \left[\frac{V_{фтрIII}(L)}{V_p} \right] \cdot 100$$

$$V_{фолIII}(L) := \left(\frac{V_{праззIII}(5)}{6} \right) \cdot L \quad NL_{оIII}(L) := \left(\frac{V_{фолIII}(L)}{V_p} \right) \cdot 100$$

Рис. 15.3.2. Фрагмент программы расчета объема породы по фракциям и грансостава раздробленной породы в породах третьей категории трещиноватости

Если отвальная порода отбивается взрывом не в контакте с рудным массивом, то в породах третьей категории трещиноватости можно вести отбойку с длиной забойки 10 м. Это приведет к большому снижению затрат на взрывчатые вещества. Это резерв. На рис. 5.3.4 представлен фрагмент компьютерной программы расчета объема породы по фракциям и грансостава раздробленной породы в породах четвертой категории трещиноватости.

L =	VфтIII(L)	NLT%III(L)	VфoIII(L) = NLo%III(L)	
1	4	1	1	0
2	9	2	3	1
3	13	2	4	1
4	18	3	6	1
5	22	4	7	1
6	26	5	9	2
7	31	6	10	2
8	35	7	12	2
9	40	7	13	2
10	44	8	15	3

Рис. 15.3.3. Компьютерная таблица изменения объема породы по фракциям и выхода негабарита по товарной руде и по отвальным породам в массиве третьей категории трещиноватости при разной толщине верхнего слоя

Выход негабарита по породам четвертой категории трещиноватости при разной толщине верхнего слоя

$V_p := 540 \quad \Delta L := 1$

$L := 1, (1 + \Delta L) .. 10 \quad LL(L) := \frac{L}{L}$

$$V_{фтIV}(L) := \left(\frac{V_{разIV}(4) + V_{разIV}(5)}{6} \right) \cdot L$$

$$NL_{т%IV}(L) := \left[\frac{(V_{фтIV}(L))}{V_p} \right] \cdot 100$$

$$V_{фoIV}(L) := \left(\frac{V_{разIV}(5)}{6} \right) \cdot L \quad NL_{o%IV}(L) := \left(\frac{V_{фoIV}(L)}{V_p} \right) \cdot 100$$

Рис. 15.3.4. Фрагмент компьютерной программы расчета объема породы по фракциям и гран-состава раздробленной породы в породах четвертой категории трещиноватости

В фрагмент программы включены объем смешиваемой породы, организация расчетного цикла по толщине слоя, расчетные формулы определения объема породы по фракциям и определение выхода негабарита по товарной руде и по отвальной породе.

Фрагмент программы для четвертой категории трещиноватости отличается от программы для третьей категории трещиноватости только тем, что во всех формулах перед цифрами 4 и 5 произведена замена III категории на IV категорию. После подстановки в формулы нужной категории трещиноватости пород, программа сама найдет исходную информацию для расчетов, выполнит расчеты и сформирует таблицы.

Первые четыре столбца средней группы в сводной таблице относятся к третьей категории трещиноватости горных пород. По данным этой части сводной таблицы можно сделать вывод, что в породах третьей категории трещиноватости при наших демонстрационных параметрах буровзрывных работ на блоке карьера для условий получения товарной руды можно не дозаряжать скважины на 6 м. Для условий получения отвальной породы забойка должна быть не больше 4 м по не известной нам пока причине.

Четыре правых столбца в средней группе и нижняя группа относятся к четвертой и пятой категории трещиноватости горных пород. По данным этой части сводной таблицы можно сделать следующий вывод. В породах четвертой категории трещиноватости длина забойки по товарной руде не должна быть больше 1 м, а по отвальной породе длина забойки не должна быть больше 4 м. В породах пятой категории трещиноватости длина забойки по товарной руде и по отвальной породе не должна быть больше 1 м.

L =	$V_{\Phi I}(L)$	$\Delta \Phi_{ol}(L) = NL\tau\%(L)$	$NLo\%(L)$	$V_{\Phi II}(L)$	$\Delta \Phi_{III}(L) = NL\tau\%(L)$	$NLo\%(L) =$
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0

L =	$V_{\Phi III}(L)$	$\Delta NL\tau\%(L)$	$\Delta \Phi_{ol}(L)$	$NLo\%(L)$	$V_{\Phi IV}(L)$	$\Delta NL\tau\%(L)$	$\Delta \Phi_{ol}(L)$	$NLo\%(L)$
1	4	1	1	0	23	4	6	1
2	9	2	3	1	48	9	12	2
3	13	2	4	1	69	13	19	3
4	18	3	6	1	92	17	25	5
5	22	4	7	1	116	21	31	6
6	26	5	9	2	139	26	37	7
7	31	6	10	2	162	30	43	8
8	35	7	12	2	185	34	50	9
9	40	7	13	2	208	39	56	10
10	44	8	15	3	231	43	62	11

L =	$V_{\Phi V}(L)$	$\Delta NL\tau\%(L)$	$\Delta \Phi_{ol}(L)$	$NLo\%(L)$
1	29	5	17	3
2	59	11	35	6
3	88	16	52	10
4	117	22	70	13
5	147	27	87	16
6	176	33	104	19
7	205	38	122	23
8	235	43	139	26
9	264	49	156	29
10	293	54	174	32

Рис. 15.3.5. Сводная компьютерная таблица выхода объема породы по фракциям и негабарита по товарной руде и отвальной породе по пяти категориям трещиноватости пород

Затраты на увеличение расхода взрывчатых веществ в этих категориях трещиноватости горных пород можно компенсировать незначительным расширением сетки скважин, приводящим к снижению затрат на бурение. В породах четвертой и пятой категории трещиноватости в стремлении улучшить дробление пород за счет сгущения сетки скважин запроектированная сетка скважин наверняка неоправданно сгущена.

Анализ изложенных в отчете материалов позволяет сделать следующие выводы: всегда присутствующий в карьере верхний слой карьерного уступа, которому в науке и практике всегда уделялось неоправданно маленькое внимание, обладает оригинальными свойствами. Этот слой, объем которого

составляет 40% и более от всей отбиваемой массы на блоке, является зоной нерегулируемого дробления и основным поставщиком негабаритных фракций. Его объем нельзя уменьшить или лучше раздробить сгущением сетки скважин, способом, который является основным способом улучшения качества дробления горных пород взрывом.

Для условий Михайловского карьера разработана таблица коэффициентов фракционности пяти категорий трещиноватости горных пород при пяти выделенных фракциях по крупности. Таблица коэффициентов фракционности горных пород позволяет легко определить объем фракций и грансостав породы, разваленной взрывом по естественным отдельностям в зоне нерегулируемого дробления. Умножив коэффициент фракционности на объем раздробленной породы, получим объем фракции. А умножив коэффициент фракционности на 100, получим процент выхода выбранной фракции. Умножив все коэффициенты фракционности выбранной категории трещиноватости на 100, получим грансостав любого объема породы, разваленной взрывом по естественным отдельностям.

Для условий Михайловского карьера по пяти категориям трещиноватости и для пяти фракций по крупности разработана таблица грансостава породы, разваленной взрывом по естественным отдельностям при любом объеме зоны нерегулируемого дробления.

Для успешного применения технологических способов повышения качества дробления горных пород в верхней зоне карьерного уступа желательно до начала проектирования БВР на блоке иметь объективную и детальную геологическую информацию о контурах разных пород и их категориях трещиноватости. Нежелательно иметь усредненную информацию или информацию, заданную в виде диапазона (2–4 категория трещиноватости). Категория трещиноватости определяет возможность выбора технологических способов повышения качества дробления горных пород в зоне нерегулируемого дробления.

Наиболее эффективным технологическим способом повышения качества дробления пород в верхней зоне нерегулируемого дробления является выбор, с учетом категории трещиноватости пород, рациональной толщины верхнего слоя, т. е. величины недозаряда скважины до верхней площадки блока. Рациональная толщина верхнего блока может колебаться от 0 до 10 м.

На рис. 15.3.5 представлена сводная компьютерная таблица выхода объема породы по фракциям и негабарита по товарной руде и отвальной породе по пяти категориям трещиноватости горных пород Михайловского карьера. Верхние столбцы таблицы относятся к горным породам первой и второй категории трещиноватости. По данным этой части сводной таблицы можно сделать вывод, что в породах первой и второй категории трещиноватости при наших демонстрационных параметрах буровзрывных работ на блоке карьера, и для условий получения товарной руды, и для условий получения отвальной породы скважины можно недозаряжать на 10 м, а не на 6 м, как это широко принято в карьерах. Другими словами, можно взрывать скважинные заряды с длиной забойки 10 м. Это позволит значительно уменьшить расход взрывчатых веществ без ухудшения качества технологического дробления пород взрывом.

Глава 16. Развитие фаз процесса взрыва в нижнем слое карьерного блока

16.1. О нижнем слое блока и о перебурах

Нижний слой карьерного уступа расположен под объемом блока, на котором планируется технологическое дробление горных пород взрывом. Разрушается объем нижнего слоя блока совместно с основным объемом пород блока. Эти объемы породы отбиваются и дробятся одними и теми же промышленными зарядами взрывчатого вещества. На нижний слой затрачивается достаточно большой процент длины пробуренных на блоке скважин. Большой процент взрывчатого вещества, заряженного в скважины этого блока, расположен в нижнем, подстилающем слое блока. Но, несмотря на неразрывность и непрерывность породного массива и непрерывность зарядов взрывчатых веществ в обуренном объеме, дробится порода в среднем и нижнем слоях до совершенно разной крупности.

На стыке среднего и нижнего слоев могут возникать острые соприкосновения корпоративных, организационных и экономических интересов бурильщиков, взрывников и экскаваторщиков, если они оформлены в обособленные организационные структуры. Эти острые соприкосновения часто перерастают во взаимные претензии и даже в желание получить деньги за предусмотренную проектом, но не выполняемую работу.

Толщина нижнего слоя карьерного блока определяется длиной перебура скважин, то есть длиной той части скважин, которая пробурена ниже подошвы обуриваемого уступа. На крупных карьерах толщина нижнего слоя колеблется в пределах от 1 до 3 метров. На бурение перебуров затрачивается от 6% до 17% буровых работ на блоке. На зарядание перебуров затрачивается от 10% до 25% взрывчатых веществ, используемых на обуриваемом блоке.

Пробуренные на блоке скважины могут до зарядания простаивать сутками. И после зарядания до взрыва скважины простаивают разное по длительности время. В это время в скважине могут происходить серьезные компонентные и структурные изменения промышленного заряда взрывчатого вещества. Легкие компоненты могут всплывать в верхнюю часть скважины. В скважину может проникать грунтовая вода, заполняя межгранульные пространства. Со временем вода превращается в тяжелый раствор, оседающий в перебуре. Детонационные характеристики заряда взрывчатого вещества в перебуре могут изменяться. Может изменяться режим детонации заряда в перебуре.

Заряды в перебуре формируются не с целью обеспечения технологического дробления горных пород взрывом, а с целью качественной проработки подошвы уступа, обеспечивающей беспрепятственную работу экскаватора, формирующего ровную подошву уступа. Возможное возникновение непроработанных участков «порогов» на почве уступа снижает производительность экскаваторов и создает трудности передвижения по подошве уступа автосамосвалов и другого технологического оборудования.

Причиной того, что такой же скважинный заряд, как и выше в скважине, дробит породу иначе в зоне перебура, является положение этой части заряда

по отношению к обнаженным поверхностям. Имеющиеся обнаженные поверхности обуславливают работу заряда в перебуре, почти как в условиях безграничного породного пространства.

16.2. Модели процесса взрыва заряда в перебуре

На рис. 16.2.1 представлена предложенная геометрическая модель развития процесса воздействия взрыва на горную породу в нижней зоне карьерного блока. Нижняя часть промышленного скважинного заряда взрывчатого вещества изображена на схеме вертикальной линией в центре рисунка, обозначенной цифрой 1. Горизонтальная жирная линия — это отметка подошвы обуриваемого блока. Ломаная линия DBC — это кусочки существующей подошвы уступа и вертикального откоса уступа. Серым прямоугольником обозначена часть отработанного пространства под стенкой реального откоса уступа. Нижний слой карьерного уступа лежит ниже линии ABC.

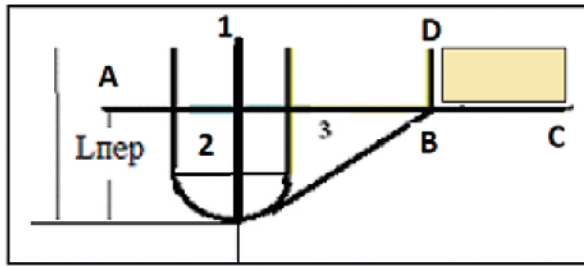


Рис. 16.2.1. Геометрическая модель развития процесса воздействия взрыва на горную породу в нижней зоне карьерного блока

Цифрой 2 с обеих сторон нижней части скважины обозначены совмещенные камуфлетная цилиндрическая и камуфлетная сферическая зоны в нижнем слое обуренного блока. Цифрами 2+3 обозначена коническая квазистатическая зона нижнего слоя карьерного блока. Квазистатическая полость и квазистатическая зона дробления породы в нижнем слое формируются в момент второй стадии расширения газовой полости.

Все элементы рисунка, представленные на схеме, кроме 1 и DBC, лежат до взрыва в глубине породного массива и являются воображаемыми линиями.

16.3. Цилиндрическая камуфлетная фаза в нижнем слое карьерного уступа

Развитие физического процесса цилиндрической камуфлетной фазы в нижнем слое карьерного блока ничем не отличается от развития процесса цилиндрической камуфлетной фазы в среднем слое карьерного блока.

Метод расчета различных параметров цилиндрической камуфлетной фазы в нижнем слое карьерного блока ничем не отличается от метода расчета различных параметров процесса цилиндрической камуфлетной фазы в среднем слое карьерного блока, который изложен в предшествующих главах.

Полностью совпадают и начальные условия компьютерных расчетов различных параметров этих процессов. И в нижней зоне расчеты параметров этой фазы ведутся в привязке к одному метру заряда в перебуре.

Камуфлетная фаза взрыва еще не чувствует наличия и положения обнаженных поверхностей.

$R =$	$\Delta E(R) =$	$\Delta V(R) = \Pi \cdot \Pi_{\text{пл}}(R) \cdot d_{\text{пл}}(R)$		
0.125	0	0	0	0
0.325	20936627	0.534	39201974	0.01
0.525	8672235	0.785	11041833	0.03
0.725	6654440	1.037	6418709	0.04
0.925	5609952	1.288	4355374	0.07
1.125	4942487	1.539	3210686	0.09
1.325	4468332	1.791	2495288	0.12
1.525	4109055	2.042	2012235	0.14
1.725	3824615	2.293	1667689	0.17
1.925	3592157	2.545	1411629	0.2

Рис. 16.3.1. Компьютерная таблица расчета размера кусков в расчетных цилиндрических слоях при толщине расчетных слоев 20 см

На рис. 16.3.1 представлена компьютерная таблица с рассчитанными значениями размеров кусков породы в метрах. В первом столбце таблицы представлены расстояния расчетных слоев от центра взрыва (от оси скважинного заряда). Во втором столбце представлена энергия разрушения в Дж, в цилиндрических расчетных слоях. В третьем столбце представлен объем расчетных слоев в м^3 . В четвертом столбце представлена плотность энергии разрушения в Дж/ м^3 в каждом расчетном слое. В последнем столбце представлены линейные размеры кусков в метрах в каждом расчетном слое.

В нашем примере горная порода в цилиндрической камуфлетной зоне нижнего слоя будет раздроблена на куски размером до 20 см действием камуфлетной фазы и без помощи других фаз процесса. Дальше цилиндрическая камуфлетная фаза вырождается в цилиндрическую волновую фазу и описывается уже другими математическими зависимостями.

16.4. Сферическая камуфлетная фаза в нижнем слое карьерного уступа

Развитие физического процесса сферической камуфлетной фазы в нижнем слое карьерного блока ничем не отличается от развития процесса сферической камуфлетной фазы в верхнем слое карьерного блока.

Метод расчета различных параметров сферической камуфлетной фазы в нижнем слое карьерного блока ничем не отличается от метода расчета различных параметров процесса сферической камуфлетной фазы в верхнем слое карьерного блока, который изложен в предшествующих главах.

Полностью совпадают и начальные условия компьютерных расчетов различных параметров этих процессов.

$R =$	$\Delta V(R) =$	$\Xi(R) =$	$\Delta\Xi(R) =$	$\Pi\Xi\phi(R) =$	$dk\phi(R) =$
0.125	0	27168652	0	0	0
0.225	0.096	19269031	7899621	82218881	0.004
0.325	0.178	15996901	3272130	18407388	0.016
0.425	0.285	13486107	2510794	8822931	0.033
0.525	0.417	11369410	2116697	5081827	0.057
0.625	0.574	9504563	1864848	3251115	0.089
0.725	0.758	7818612	1685951	2230640	0.129
0.825	0.963	6268220	1550392	1609693	0.179
0.925	1.196	4825150	1443070	1206946	0.239

Рис. 16.4.1. Распределение энергии разрушения и крупности дробления породы по расчетным слоям

На рис 16.4.1 представлена расчетная таблица параметров распределения энергии разрушения и дробления породы сферической камуфлетной фазой взрыва.

Результаты представлены в виде столбиков-векторов. В первом столбике-векторе представлены расстояния от центра нижней сферической камуфлетной зоны. Размер сферической камуфлетной зоны 0,943 м. Ширина расчетных слоев принята равной 0,1 м. Расчетные слои доходят до отметки 0,925 м.

Во втором столбике-векторе представлены объемы породы в m^3 в расчетных слоях. Объем породы в слоях интенсивно нарастает от 9,6 cm^3 до 1,2 m^3 . В третьем столбце-векторе представлено изменение энергии с расстоянием.

В четвертом столбце-векторе представлена энергия, поглощенная в каждом расчетном слое.

В пятом столбце представлена плотность энергии разрушения в каждом расчетном слое. Плотность энергии разрушения изменяется от 82 $MДж/м^3$ до 1,2 $MДж/м^3$.

В шестом столбце представлена расчетная крупность дробления породы в нижнем слое блока сферической камуфлетной фазой взрыва в м.

Линейный размер куска в расчетном слое является размером среднего куска в слое. Когда толщина расчетного слоя больше расчетного линейного размера куска, порода в слое дробится. Процесс дробления породы обеспечен энергетически. Чем ближе расчетный линейный размер куска приближается к ширине расчетного слоя, тем точнее он совпадает с фактическим размером кусков в реальном процессе.

Когда расчетный линейный размер куска больше ширины расчетного слоя, порода в слое не дробится. Процесс дробления породы не обеспечен энергетически.

В таком случае необходимо суммировать ширину соседних расчетных зон, определять средневзвешенную по суммарному объему слоев плотность энергии и рассчитывать размер куска в суммарном объеме.

Если при суммировании слоев линейный размер куска в суммарном слое возрастает быстрее, чем толщина суммарного расчетного слоя, дробление породы энергетически не обеспечено. В слое развиваются только трещины до внешней границы камуфлетной зоны.

Из последнего столбца рис. 16.4.1 видно, что в нашем примере сферической камуфлетной фазой взрыва порода в нижнем слое блока дробится до радиуса 0,725 м. Дальше до конца камуфлетной зоны под действием камуфлетной фазы развиваются радиальные трещины.

16.5. Цилиндрическая волновая фаза и нижнем слое карьерного блока

Развитие физического процесса цилиндрической волновой фазы в нижнем слое карьерного блока ничем не отличается от развития процесса цилиндрической волновой фазы в среднем слое карьерного блока.

Метод расчета различных параметров цилиндрической волновой фазы в нижнем слое карьерного блока ничем не отличается от метода расчета различных параметров процесса цилиндрической волновой фазы в среднем слое карьерного блока, который изложен в предшествующих главах.

Полностью совпадают и начальные условия компьютерных расчетов различных параметров этих процессов. И в нижней зоне расчеты параметров этой фазы ведутся в привязке к одному метру заряда в перебуре.

На рис. 16.5.1 представлена компьютерная таблица с рассчитанными значениями размеров кусков породы в метрах. Нижняя часть таблицы отрезана и поставлена в правую часть рисунка.

В первом и четвертом столбцах таблицы представлены номера расчетных слоев. Во втором и пятом столбцах представлены расстояния расчетных слоев по оси скважинного заряда. В третьем и шестом столбцах представлены расчетные размеры кусков в метрах.

Первые десять строк таблицы — это зона действия цилиндрической камуфлетной фазы. Строки 11–20 — это зона действия цилиндрической волновой фазы. Толщина расчетных слоев 20 см.

N =	R =	дву(R)	N =	R =	дву(R)
1	0.125	0	12	2.125	0.952
2	0.325	0	13	2.325	1.443
3	0.525	0	14	2.525	2.108
4	0.725	0	15	2.725	2.986
5	0.925	0	16	2.925	4.12
6	1.125	0	17	3.125	5.555
7	1.325	0	18	3.325	7.339
8	1.525	0	19	3.525	9.528
9	1.725	0	20		15.83
10	1.925	0.601			

Рис. 16.5.1. Компьютерная таблица дробления породы цилиндрической волновой фазой взрыва

Из таблицы рис. 16.5.1 видно, что размеры расчетных кусков в зоне действия цилиндрической волновой фазы во много раз превосходят размеры расчетных зон. А это значит, что цилиндрическая волновая фаза не дробит породу на куски, т. к. процесс дробления не обеспечивается энергетически.

16.6. Сферическая волновая фаза в нижнем слое карьерного блока

Развитие физического процесса сферической волновой фазы в нижнем слое карьерного блока ничем не отличается от развития процесса сферической волновой фазы в верхнем слое карьерного блока.

Метод расчета различных параметров сферической волновой фазы в нижнем слое карьерного блока ничем не отличается от метода расчета различных параметров процесса сферической волновой фазы в верхнем слое карьерного блока, который изложен в предшествующих главах.

Полностью совпадают и начальные условия компьютерных расчетов различных параметров этих процессов. И в нижней зоне расчеты параметров этой фазы ведутся в привязке к одному метру заряда в перебуре.

На рис. 16.6.1 представлена компьютерная таблица с рассчитанными значениями размеров кусков породы в метрах в зоне действия сферической волновой фазы взрыва в нижней части породного уступа.

$R =$	$U(R) :$	$\mathcal{E}_c(R) =$	$\Pi \mathcal{E}_n(R) =$	$dn(R) =$
0.954	11.8	0	0	0
1.054	9.571	827477	539897	0.533
1.154	7.912	557497	305885	0.942
1.254	6.645	390077	182462	1.578
1.354	5.656	202617	81761	3.522
1.454	5.032	162856	63756	6.368
1.554	4.524	122637	37919	7.595
1.654	4.095	100058	27414	10.506
1.754	3.728	82917	20270	14.208
1.854	3.411	69601	15275	18.855
1.954	3.136	59119	11712	24.69
2.054	2.895	50722	9116	31.592
2.154	2.683	43937	7196	40.02
2.254	2.495	38379	5752	50.066
2.354	2.328	33779	4651	61.929
2.454	2.178	29934	3799	75.817

Рис. 16.6.1. Компьютерная таблица дробления породы сферической волновой фазой взрыва

В первом столбце таблицы представлены расстояния до расчетных слоев от центра распространения сферической волновой фазы взрыва в нижнем слое карьерного блока. Во втором столбце представлена максимальная массовая скорость частиц. В третьем столбце представлена энергия разрушения в расчетных объемах. В четвертом столбце представлена плотность энергии разрушения в расчетных объемах.

В последнем столбце представлены расчетные размеры кусков в метрах. Из таблицы 1 видно, что размеры расчетных кусков в зоне действия сферической волновой фазы во много раз превосходят размеры расчетных зон. А это значит, что сферическая волновая фаза не дробит породу на куски, т. к. процесс дробления не обеспечивается энергетически.

Глава 17. Категории взрываемости горных пород

17.1. Общая классификация горных пород по взрываемости

Основными разработчиками положений, изложенных в этой главе, являются Казаков Н.Н., Шляпин А.Н. и Цукерман А.И. Работы выполнялись на хоздоговорной основе для условий Михайловского железорудного карьера под научным руководством Викторова С.Д.

В настоящее время и еще долго категория взрываемости горных пород будет оставаться основным технологическим параметром при проектировании буровзрывных работ с использованием методов, построенных на использовании простой схемы, в которой по названию горной породы определяют категорию взрываемости, а по категории взрываемости определяют параметры сетки скважин.

На Михайловском карьере используют классификацию горных пород по взрываемости, которая содержит пять категорий взрываемости. Каждой категории взрываемости соответствует фиксированное значение удельного расхода взрывчатых веществ, используемого для расчетов параметров сетки скважин.

При использовании компьютерных технологий проектирования буровзрывных работ целесообразно перейти на более дробную классификацию взрываемости горных пород, содержащую десять категорий взрываемости. Такая классификация рекомендована в книге Кутузова Б.Н. Каждой категории взрываемости целесообразно определить диапазон значений удельного расхода взрывчатых веществ.

Классификацию горных пород по взрываемости составляли, опираясь на массу ВВ в одном метре скважины (на вместимость одного метра скважины), отнесенную к объему породы в метровом слое массива, перпендикулярном оси скважины.

При увеличении сетки скважин объем породы в метровом слое возрастает по квадратичной зависимости

$$V = a^2 l_c,$$

где a – расстояние между скважинами при квадратной сетке обурирования; $l_c = 1$ м – толщина метрового слоя массива горных пород.

На рис. 17.1.1 представлен график роста объема породы в метровом слое при увеличении расстояния между скважинами. График построен для скважинного заряда граммонита 79/21 диаметром 250 м.

Масса заряда в одном метре скважины (вместимость 1 м скважины) определяется по формуле

$$p = \pi r^2 \rho_z,$$

где r – радиус заряда;

ρ_z – 900 кг/м³ – плотность заряжения.

В нашем примере масса ВВ в метровом слое 44,2 кг.

Расчетный удельный расход ВВ в метровом слое породы рассчитывается по формуле

$$q_c = p/V.$$

На рис. 17.1.2 представлен график изменения расчетного удельного расхода ВВ в метровом слое при изменении сетки скважин в нашем примере от 4 до 15 м.

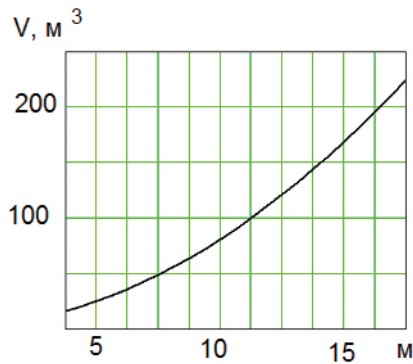


Рис. 17.1.1. Изменение объема породы в метровом слое с увеличением расстояния между скважинами при квадратной сетке обустройства

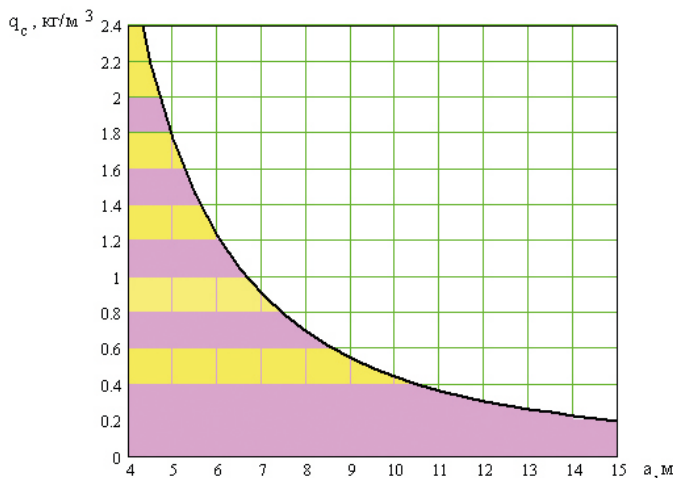


Рис. 17.1.2. Изменение удельного расхода ВВ в метровом слое при изменении расстояния между зарядами диаметром 250 мм

Расстояние между скважинами на графике изменяется от 16 до 60 диаметров заряда. Крайние значения расстояний приняты выходящими за пределы применяемых в карьерах. Разными цветами на графике выделены предлагаемые категории взрываемости горных пород. Всего выделено 10 категорий взрываемости.

На рис. 17.1.3 представлен график изменения расчетного удельного расхода взрывчатого вещества в метровом слое для скважинного заряда диаметром 130 мм. Расстояние между скважинами на рис. 17.1.3 изменяется от 15 до 62 диаметров заряда. Цветом выделены предлагаемые категории взрываемости.

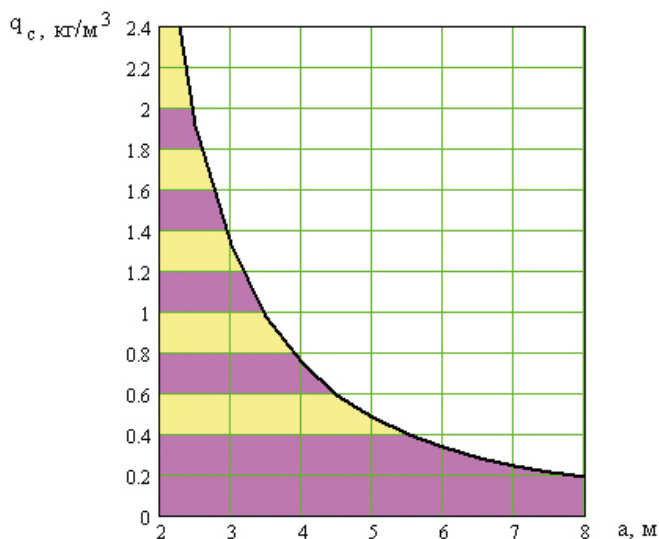


Рис. 17.1.3. Изменение удельного расхода ВВ в метровом слое при изменении расстояния между зарядами диаметром 130 мм

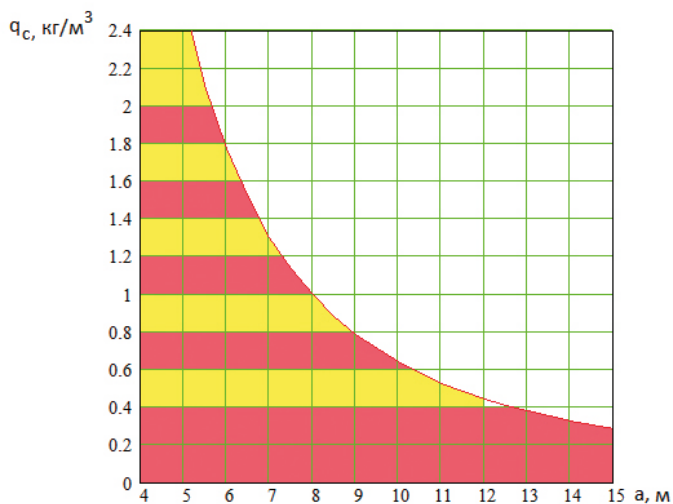


Рис. 17.1.4. Изменение удельного расхода ВВ в метровом слое при изменении расстояния между зарядами с плотностью заряжения 1,3 г/см³

На рис. 17.1.4 представлен график изменения расчетного удельного расхода взрывчатого вещества в метровом слое для скважинного заряда с плотностью заряжения 1,3 г/см³. Расстояние между скважинами на рис. 17.1.4 изменяется от 16 до 60 диаметров заряда. Цветом выделены предлагаемые категории взрываемости.

Категории взрываемости на рис. 17.1.2; 17.1.3 и 17.1.4 совпадают.

В таблице 17.3.1 представлена предлагаемая общая классификация горных пород по взрываемости в табличном виде.

Таблица 17.1.1.

Общая классификация горных пород по взрываемости

№ п/п	Категории взрываемости	Диапазон изменения расчетного удельного расхода ВВ; кг/м ³	Средний расчетный удельный расход ВВ, кг/м ³
1	I	меньше 0,4	-
2	II	0,4-0,6	0,5
3	III	0,6-0,8	0,7
4	IV	0,8-1,0	0,9
5	V	1,0-1,2	1,1
6	VI	1,2-1,4	1,3
7	VII	1,4-1,6	1,5
8	VIII	1,6-1,8	1,7
9	IX	1,8-2,0	1,9
10	X	Больше 2,0	Больше 2,0

Предлагаемая в таблице 17.1.1 классификация горных пород по взрываемости является общей, охватывающей все условия взрывания, встречающиеся при открытой разработке месторождений полезных ископаемых.

Местные классификации горных пород по взрываемости, составленные для конкретных предприятий, могут быть частью общей классификации. Зная категории взрываемости горных пород, легко определить параметры сетки скважин и допустимый диапазон их отклонения от средних значений.

17.2. Районирование месторождений полезных ископаемых по взрываемости горных пород

На горных предприятиях, как правило, ограничиваются созданием классификации горных пород месторождения по взрываемости без геометризации карьерного поля по категориям взрываемости. В этих случаях в каждом блоке, подготавливаемом к взрыву, необходимо на план каждой обустроенной площадки наносить участки руд и горных пород различной категории взрываемости.

Только на единичных предприятиях выделенные в соответствии с местной классификацией категории пород по взрываемости геометризованы на сводном плане карьера в виде карты взрываемости пород. В условиях карьера детально исследуются природные факторы, влияющие на взрываемость пород непосредственно в обнаженных уступах. Основным методом исследования и изучения природных факторов, геолого-структурное картирование в сочетании со съемкой трещиноватости пород по инструментально привязанным пикетам. По результатам такого картирования уточняется сводный геологоструктурный план карьера, составленный по материалам детальной разведки. Дается петрографическая типизация горных пород месторождения с акцентом на те их особенности, которые прямо влияют на взрываемость. Хорошо, когда выделенные типы пород контрастны по физико-ме-

ханическим свойствам, легко узнаваемы визуально и показаны на сводном геологоструктурном плане. Как правило, имеющиеся в материалах детальной разведки материалы о физико-механических свойствах пород достаточны для характеристики выделенных типов, но по отдельным из них иногда требуются дополнительные испытания. В процессе геолого-структурных исследований устанавливается генетическая принадлежность и закономерности пространственного размещения выделенных петрографических типов пород с тем, чтобы в дальнейшем можно было уверенно прогнозировать их положение в отрабатываемых объемах при продвижении горных работ.

При районировании карьерного поля по всем рабочим уступам по единой методике выделяют участки пород различной категории взрываемости, как правило, разным цветом. В результате этого карьерное поле разделяется на участки, в пределах которых породы являются одинаковыми по взрываемости.

На горных предприятиях карта взрываемости составляется для фиксированного положения поверхности действующего карьера. По мере понижения горных работ на новых площадках рабочих уступов положение и конфигурация рудных тел изменяется. Для поддержания карты взрываемости в актуальном состоянии необходимо периодически обновлять ее в соответствии со сводным геологоструктурным планом карьера и на его основе корректировать границы пород различной категории взрываемости. Такая корректировка является более эффективной, если при ее выполнении осуществляется анализ качества дробления пород и корректируются категории взрываемости конкретных литологических разновидностей руд и пород.

В традиционном ручном исполнении создание и поддержание в рабочем состоянии карты взрываемости является весьма трудоемким делом, учитывая многоэтапность подготовки разнообразной текстовой, табличной и графической документации, учитывая большие объемы вычислительных операций. Поэтому автоматизация процесса подготовки и периодического обновления карты взрываемости весьма актуальны.

Наличие карты взрываемости существенно упрощает процесс проектирования БВР. Преимущества такой карты очевидны. Достаточно нанести на нее контур проектируемого блока, чтобы разграничить его на категории взрываемости, а затем, используя местную классификацию, в которой указаны оптимальные для каждой категории параметры взрывания (сетка скважин и удельный расход ВВ при заданном диаметре скважины, величина перебура и забойки), произвести расчеты, предусмотренные технологической инструкцией на производство БВР.

Для проектного периода разработки с использованием графических планов районирования карьерного поля по взрываемости (карты взрываемости) рассчитывают по средневзвешенным показателям взрываемости плановый объем буровых работ, плановый расход взрывчатых веществ и средств взрывания.

По каждому планируемому к обустройству блоку выкопировки из графических планов районирования карьерного поля по взрываемости передаются маркшейдерской службой в группу проектирования массовых взрывов в карьере.

17.3. Исходная информация для оценки взрываемости руд и горных пород Михайловского карьера

На любом месторождении отрабатываемый горный массив сложен разными рудами, горными породами и разными сортами руд. Их физико-механические и технологические свойства изменяются в широком диапазоне от слабых до весьма крепких. Разные участки горного массива разбиты разными системами трещин. На дробление разных участков в карьере требуется разное количество энергии взрыва. В научные исследования и в практику горных работ прочно вошло понятие взрываемости горных пород.

Классификация руд и горных пород месторождения по взрываемости лежит в основе рационального проектирования параметров буровзрывных работ. От правильного выбора рациональных параметров буровзрывных работ зависят:

- суммарная длина скважин, обуриваемых на блоке;
- фактический удельный расход взрывчатых веществ;
- расход средств взрывания;
- качество дробления горной массы взрывом;
- производительность экскаваторов.

В конечном итоге правильный выбор рациональных параметров влияет на себестоимость буровзрывных и экскаваторных работ и на прибыль предприятия.

Классификация руд и горных пород по взрываемости разрабатывается для каждого месторождения индивидуально, т. к. в ее основе лежат физико-механические и технологические свойства руд и горных пород, а также строение отрабатываемого карьером массива. Взрываемость горных пород зависит и от применяемого погрузочного и транспортного оборудования, с параметрами которого связан размер кондиционного куска раздробленной породы.

В Михайловском карьере в качестве классификации горных пород по взрываемости используется единая межведомственная классификация горных пород по трещиноватости. Для разработки местной классификации руд и горных пород Михайловского карьера по взрываемости необходимо иметь информацию о свойствах всех сортов руд и горных пород, встречающихся в зоне ведения горных работ.

В таблице 17.3.1 представлены свойства руд и горных пород Михайловского карьера, которые будут положены в основу разработки классификации руд и горных пород Михайловского карьера по взрываемости.

При составлении таблицы использованы: «Типовой проект по организации и ведению буровзрывных работ в карьере ОАО «Михайловский ГОК»; «Справочник (кадастр) физических свойств горных пород», составленный коллективом ИПКОН РАН под редакцией академика Н.В. Мельникова, академика В.В. Ржевского, профессора М.М. Протодяконова; архивные материалы института ИПКОН РАН по отчетам о многолетней работе сотрудников института под руководством профессора М.М. Протодяконова по определению физических свойств руд и горных пород Михайловского месторождения.

Таблица 17.3.1.

Руды и породы Михайловского месторождения

№	Типы руд и пород	Объемный вес, г/см ³	Коэф. крепости	Категория трещиноват
1	Руда гематито-мартитовая рыхлая	3,7	2-8	I
2	Сильно выветрелые железистые кварциты среди рыхлых пород	3,68	2-8	I
3	Руда гематито-мартитовая плотная II категории трещиноватости	4,11	8-12	II
4	Бурые железняки	2,8	8-12	II
5	Рудные конгломераты брекчин на карбонатном цементе	3,68	8-12	II
6	Окисленные железистые кварциты с частичной маршалитизацией	3,2	8-12	II
7	Полуокисленные железистые кварциты с прослоями гидроокислов и зеленой слюды	3,2	12-16	III
8	Руда гематито-мартитовая плотная III категории трещиноватости	3,5	12-16	III
9	Бурые железняки с включениями окисленных кварцитов	3,0	12-16	III
10	Окисленные железистые кварциты с прослоями зеленой слюды и гидроокислов железа	2,3	12-16	III
11	Полуокисленные железистые кварциты с прослоями зеленой слюды и гидроокислов железа	2,3	12-16	III
12	Окисленные среднезернистые железистые кварциты	3,2	16-18	IV
13	Неокисленные среднезернистые железистые кварциты	3,2	16-18	IV
14	Неокисленные железистые мелкозернистые тонкослонистые и сливные кварциты	3,2	20 и выше	V
15	Конгломераты	2,3	10-12	III
16	Сланцы	2,7	8-10	III
17	Метапесчаники	2,6	8-14	III
18	Кварцевые порфиры	2,8	16	IV

Материалы, представленные в таблице, согласованы с геологической службой и работниками буровзрывного комплекса ОАО «Михайловский ГОК». Согласованы:

1. Названия руд и горных пород Михайловского месторождения с учетом их названий, включенных геологической службой комбината в базу данных программы SURPAC;
2. Поисковые коды каждой разновидности руд в программе SURPAC;
3. Полнота охвата таблицей всех руд и пород с возможным их пополнением;
4. Исключение из таблицы ошибочно включенных в нее названий руд и горных пород.
5. Цветовые маркеры каждой разновидности руд и пород, используемые для их отображения на схемах районирования геологического строения карьерного поля программой SURPAC.

Планируется районирование карьерного поля по взрываемости осуществлять на базе используемой геологической службой Михайловского комбината программы SURPAC.

17.4. Линейные размеры кондиционных кусков породы

Взрываемость горных пород — это технологический параметр, численное значение которого определяется с учетом принятого на предприятии линейного размера кондиционного куска. Линейный размер кондиционного куска зависит от параметров погрузочного, транспортного оборудования и параметров дробилок первой стадии дробления. На горном предприятии могут одновременно принимать несколько линейных размеров кондиционных кусков, для каждого из которых взрываемость горных пород будет разной.

Для руд, поступающих на обогатительную фабрику, линейный размер кондиционного куска принимается минимальный из трех:

- по параметрам ковша экскаватора;
- по параметрам кузова самосвала;
- по параметрам дробилки первой стадии дробления.

Для вскрышных пород, поступающих в отвал, линейный размер кондиционного куска принимается минимальный из двух:

- по параметрам ковша экскаватора;
- по параметрам кузова самосвала.

Таблица 17.4.1.

Линейные размеры кондиционных кусков

№	Транспортные потоки	$\ell_{\text{конд}}$, мм
1	Для руд и горных пород, поступающих на обогатительную фабрику	1000
2	Для горных пород, поступающих в отвалы	1250
3	Для руд, подаваемых в дробилки подъемных конвейеров	500

Для руд и горных пород, поступающих на наклонный конвейер, линейный размер кондиционного куска принимают по параметрам дробилки, установленной перед загрузкой конвейерных лент.

На Михайловском ГОКе принятые линейные размеры кондиционных кусков представлены в таблице 17.4.1.

Цифры, проставленные в таблице 17.4.1, необходимо согласовать с техническим отделом Михайловского ГОКа.

Наклонные конвейеры пока не применяются в Михайловском карьере, но активно прорабатывается вопрос о целесообразности внедрения в карьере циклично-поточной технологии с использованием наклонного конвейерного подъема горной массы из карьера.

17.5. Схема выполнения работ по компьютерному районированию карьерного поля по взрываемости руд и горных пород

В основу оперативного районирования карьерного поля по взрываемости или его части вплоть до картирования поля одного блока положено четыре таблицы:

1. Список руд и пород Михайловского карьера с кодами Surpas, извлеченный из компьютерной базы геологического отдела;

2. Список руд и пород Михайловского карьера с кодами Surpas, составленный по «Типовому проекту по организации и ведению буровзрывных работ в карьере ОАО «Михайловский ГОК»;

3. Категории взрываемости руд и горных пород Михайловского карьера (Табл. 17.5.1.);

4. Общая классификация горных пород по взрываемости.

Все руды и породы Михайловского карьера имеют присвоенные им коды Surpas. Но названия руд и пород не совпадают с названиями руд и пород в таблице 17.5.1, которой пользуются при проектировании буровзрывных работ. Все эти данные требуют согласования.

В «Атрибут» каждого блока необходимо ввести следующую информацию (шесть позиций) для каждого наименования руды и породы:

- граммонит 79/21 — кондиционный кусок (500) — категория взрываемости (V); граммонит 79/21 — кондиционный кусок (1000) — категория взрываемости (IV);

- граммонит 79/21 — кондиционный кусок (1250) — категория взрываемости (IV);

- Гранэмит — кондиционный кусок (500) — категория взрываемости (VII);

- Гранэмит — кондиционный кусок (1000) — категория взрываемости (V);

- Гранэмит — кондиционный кусок (1250) — категория взрываемости (VII).

Таблица 17.5.1.

Категории взрываемости горных пород Михайловского карьера

№	Руды и породы	Категории взрываемости					
		Граммонит 79/21			Гранэмит		
		Размеры кондиционного куска породы, мм					
		500	1000	1250	500	1000	1250
1	Руда гематито-мартитовая рыхлая с включениями кварцитов III категории трещиноватости	V	IV	IV	VII	V	V
2	Сильно выветрелые железистые кварциты III категории взрываемости среди рыхлых пород	V	III	III	VI	IV	IV
3	Руда гематито-мартитовая плотная III категории трещиноватости	VI	IV	IV	VIII	V	V
4	Бурые железняки на карбонатном цементе	V	IV	IV	VII	V	V
5	Рудные конгломераты брекчии на карбонатном цементе	V	IV	IV	VII	V	V
6	Окисленные железистые кварциты с частичной маршалитизацией	VI	V	IV	IX	VI	VI
7	Полуокисленные железистые кварциты с прослоями гидроокислов и зеленой слюды	VII	V	IV	IX	VI	VI
8	Руда гематито-мартитовая плотная IV категории трещиноватости	VIII	VI	V	X	VII	VII

№	Руды и породы	Категории взрываемости					
		Граммонит 79/21			Гранэмит		
		Размеры кондиционного куска породы, мм					
		500	1000	1250	500	1000	1250
9	Бурые железняки с включениями окисленных кварцитов	VI	IV	IV	VII	VI	V
10	Окисленные железистые кварциты с прослоями зеленой слюды и гидроокислов железа	VII	V	V	IX	VII	VI
11	Полуокисленные железистые кварциты с прослоями зеленой слюды и гидроокислов железа	VII	V	V	IX	VII	VI
12	Окисленные среднезернистые железистые кварциты	VII	V	V	IX	VII	VI
13	Неокисленные среднезернистые железистые кварциты	VIII	VI	V	X	VII	VII
14	Неокисленные железистые мелкозернистые кварциты	IX	VII	VII	X	VIII	VIII
15	Конгломераты	V	III	III	VI	IV	IV
16	Сланцы	V	III	III	VII	V	IV
17	Метапесчаники	IV	III	II	V	IV	III
18	Кварцевые порфиры	IV	IV	IV	VIII	VI	V






По геологической базе карьера осуществляется перебор всех блоков, определяется код Surpas и наименование руды или породы. Для каждого блока по наименованию породы, по типу ВВ и по размеру кондиционного куска выбирается категория взрываемости породы этого блока.






По таблице 17.5.2 выбирается цветовой признак найденной категории взрываемости. Площадь блока закрашивается в выбранный цвет. Если во время перебора блоков в каком-то из блоков не окажется информации о категориях взрываемости пород блока, площадь блока не закрашивается. В список руд и пород, попавших в зону перебора, породы этого блока заносятся без указания категории взрываемости.

После перебора всех блоков или блоков части карьера формируется карта районирования карьера по взрываемости горных пород.

Таблица 17.5.2.

Классификация пород с признаками цветового картирования

№ п/п	Категории взрываемости	Диапазон изменения расчетного удельного расхода ВВ; кг/м³	Признаки цветового картирования карьерного поля
1	I	меньше 0,4	
2	II	0,4-0,6	
3	III	0,6-0,8	
4	IV	0,8-1,0	
5	V	1,0-1,2	

№ п/п	Категории взрываемости	Диапазон изменения расчетного удельного расхода ВВ; кг/м ³	Признаки цветового картирования карьерного поля
6	VI	1,2-1,4	
7	VII	1,4-1,6	
8	VIII	1,6-1,8	
9	IX	1,8-2,0	
10	X	больше 2,0	

Для каждого условия формируется своя, отличающаяся от других условий, карта районирования горных пород по взрываемости.

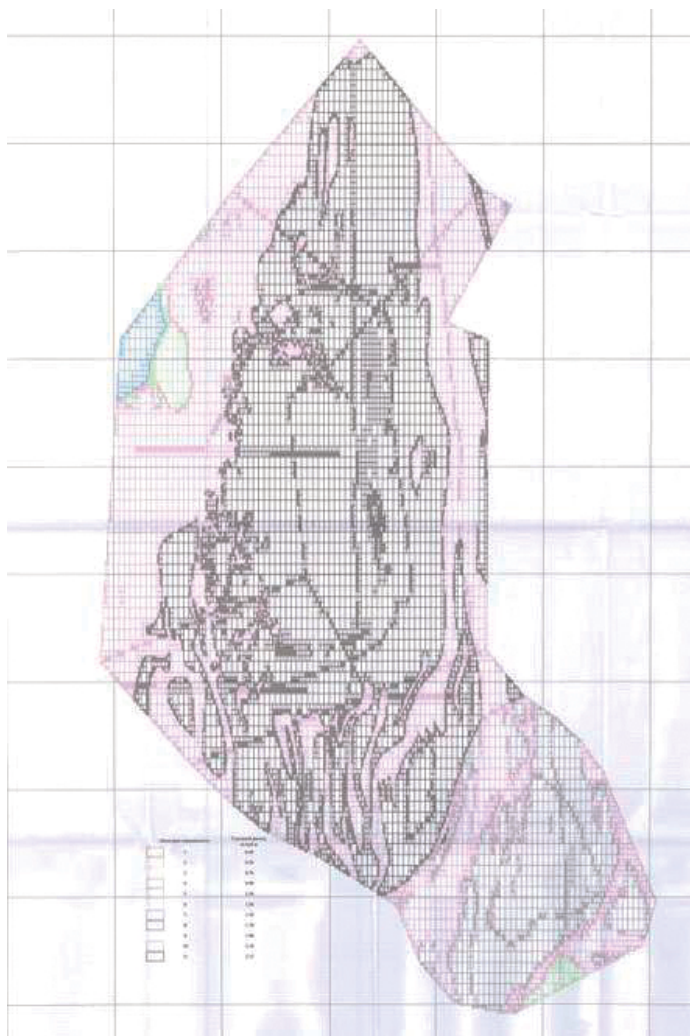


Рис. 17.5.1. Компьютерная карта карьерного поля

На рис. 17.5.1 показано районирование слоя руд и пород, залегающего между отметками 0 и +15, отраженного в виде блочной модели. Районирование карьерного поля выполнено для условий применения гранэмита ИЗО и для заданного максимального линейного размера кондиционного куска 1000 мм.

К карте формируется дополнительная информация:

- список руд и пород, попавших в зону перебора, с указанием категории их взрываемости и цветового признака каждой категории взрываемости пород, попавших в зону перебора;

- условие формирования карты — тип ВВ и размер кондиционного куска.

С увеличением ассортимента взрывчатых веществ число карт районирования карьерного поля по взрываемости горных пород возрастает.

Составлять и отлаживать программу можно, имея в геологической базе горные породы с необходимой информацией о категориях взрываемости.

Глава 18. Формирование взрывом развала породы на уступах

18.1. Методы определения параметров формы развала

Изначально известно, что развал раздробленной взрывом породы в карьерах формируется падением кусков породы, пролетевших в воздушном пространстве по баллистическим траекториям. Проблемы внешней баллистики хорошо разработаны военными организациями. Существует богатый справочный материал по определению дальности полета и места падения твердых тел, летящих по баллистическим траекториям. В расчеты вводятся множество поправок, учитывающих направление и силу ветра, температуру и давление воздуха, влажность атмосферы и другие помехи.

У военных летит один предмет, известной массы и формы. Известно, под каким углом к горизонту и с какой начальной скоростью тело вылетело. Военных интересует в первую очередь точность попадания летящего тела в цель.

Горняков интересует не точность попадания в цель, а форма развала. Форма развала оказывает влияние на производительность экскаваторов и безопасность работ по погрузке породы в самосвалы.

Дело усложняется тем, что летит не одно твердое тело, а тысячи твердых тел разной формы и массы. Каждое тело (кусок породы) вылетает из разных мест под разными углами к горизонту и с разными начальными скоростями, не известными исполнителям работ и ученым. Летят они в разные стороны, иногда в противоположные, и даже на разные уступы карьера. Падают куски на поверхность развала, высота которого непрерывно увеличивается. После падения некоторые куски породы скользят по поверхности развала.

Решение баллистической задачи одновременного полета множества твердых тел, решение задачи со многими неизвестными, представляется весьма трудной для решения проблемой.

Формирование развала отбитой взрывом горной массы неразрывно связано с процессом отбойки и дробления горной массы взрывом. Закономерности формирования основных параметров развала являлись предметом исследования многих ученых.

Академик Н.В. Мельников в своих работах сделал акцент на влияние высоты уступа на изменение ширины развала породы. Предложенная зависимость получена из предположения, что геометрическая модель поперечного сечения развала имеет вид треугольника. Ширину развала он определяет по формуле

$$R_p = 1,41H_y \sqrt{\frac{K_p \gamma_1 (1 + \gamma_2) \sin(\alpha_y - \beta_p)}{\sin \alpha_y - \beta_p}},$$

где K_p – коэффициент разрыхления горной породы;

α_y и β_p – соответственно углы откоса взрываеваемого уступа и развала взорванной горной массы, град.;

γ_1 – отношение линии сопротивления по подошве (ЛСПП) к высоте развала;

γ_2 – отношение расстояния между скважинами к ЛСПП.

В своей работе Г.Г. Ломоносов высказал идею о возможности расчета параметров развала с использованием вычислительных машин. Суть модели заключается в следующем. Объем породы, отбиваемый скважинным зарядом, должен быть условно разбит на несколько более мелких объемов. По законам внешней баллистики определяется траектория полета куска и место его падения на почву нижнего уступа. Задача, по мнению автора, может быть решена при следующих допущениях:

- ось вектора начальной скорости перпендикулярна поверхности заряда;
- под действием взрыва массив дробится примерно на одинаковые по размерам куски;
- форма каждого куска близка к сосредоточенной;
- все куски породы в массиве, находящиеся на одной линии удара, приобретают одинаковую скорость;

Для расчета траектории движения твердого тела с массой m в воздушной среде им предложена формула

$$y = (x - x_0)tg\alpha_0 - \frac{g}{4b^2V_0^2} \left[e^{\frac{2b(x-x_0)}{\cos\alpha_0}} - \frac{2b(x-x_0)}{\cos\alpha_0} - 1 \right] + y_0,$$

где x_0, y_0 – начальные координаты тела, M ; x, y – координаты движения тела, M ;

α_0 – начальный угол вылета тела, градус; g – ускорение силы тяжести, m/c^2 ; V_0 – начальная скорость вылета тела, m/c ; b – сопротивление воздушной среды, m^{-1} .

Приближенно сопротивление воздушной среды равно

$$b \approx \frac{\rho_B i}{2a\rho_N},$$

где ρ_B и ρ_N – соответственно массовые плотности воздуха и горной породы, $кг \cdot c^2/m^4$ ($\rho_B = 0,125, \rho_N = 160 \div 270$); i – коэффициент формы тела (для тела сосредоточенной формы $i = 6,5$); a – средний линейный размер тела.

Основными показателями, от которых зависит форма траектории движения, являются α_0 и V_0 .

Согласно автору, начальный угол α_0 всегда нормален к поверхности заряда взрывчатого вещества (ВВ), а величина начальной скорости V_0 зависит от следующих факторов: физико-механические свойства пород; расстояния от заряда до точки, для которой определяется скорость полета; величины и конструкции заряда ВВ; работоспособности ВВ.

Для расчета начальной скорости для всех условно выделенных объемов Ломоносов Г.Г. предлагает использовать эмпирическую зависимость Г.И. Покровского и Л.А. Черниговского, полученную на основе анализа экс-

периментальных взрывов сосредоточенных зарядов, проведенных в различных условиях

$$V_0 = A \left(\frac{Q^{\frac{1}{3}}}{W} \right)^N,$$

где Q – масса заряда ВВ, кг; W – линия наименьшего сопротивления, м; A и N – коэффициенты пропорциональности, зависящие от типа пород и сорта ВВ ($N \approx 1,5$).

Г.Г. Ломоносов пишет, что высота развала и форма его поперечного сечения могут быть определены при решении задачи на компьютере. К сожалению, расчеты параметров развала на основе высказанной им идеи не выполнялись. Он ограничился расчетом ширины развала. При этом он принимал начальную скорость вылета всех условно выделенных объемов одинаковой, хотя в процессе формирования развала отбитой горной массы эти скорости различны.

Высоту развала автор рассчитывал, опираясь на принятую геометрическую форму поперечного сечения развала.

В работе Б.Р. Ракишев предложил расчетную методику, по которой на поверхности откоса уступа выбирается элементарный объем. По начальной скорости его вылета с учетом угла вылета определяется дальность бросания. По максимальной дальности бросания одного из элементов определяется ширина развала. Высота развала определяется на основе использования треугольной геометрической формы поперечного сечения развала.

Элементу M массы m действием энергии взрыва ВВ сообщается скорость V_{2M} (рис. 18.1.1). Вектор этой скорости перпендикулярен откосу уступа.

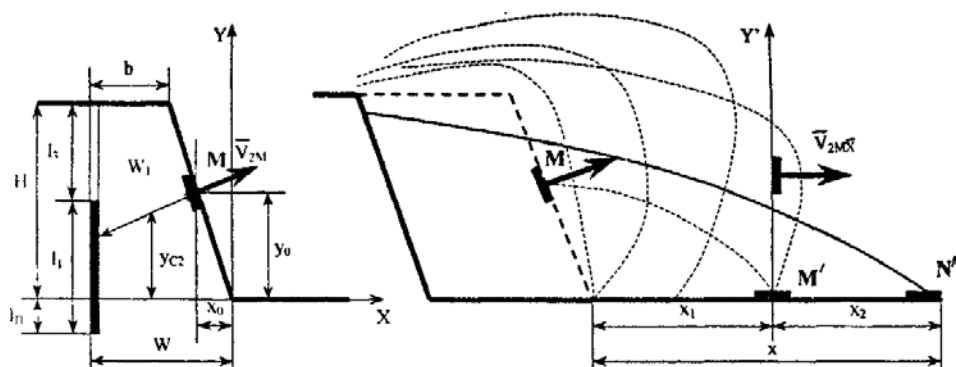


Рис. 18.1.1. Схема к определению ширины отброшенной части развала пород

Решение дифференциальных уравнений, составленных для элемента M откоса уступа, приводит к следующим зависимостям:

$$V_x = V_{2M} \sin \alpha, V_y = V_{2M} \cos \alpha - gt;$$

$$x_1 = V_{2M} t \sin \alpha - x_0, y_1 = V_{2M} t \cos \alpha - \frac{gt^2}{2} + y_0,$$

где V_x, V_y – текущие проекции скорости элемента M , м/с; x_0, y_0 – начальные координаты элемента M .

Начальные координаты определяются по формулам:

$$x_0 = -y_0 \operatorname{ctg} \alpha;$$

$$y_0 = W_1 \cos \alpha + (h/2 - l_{II}).$$

В свою очередь

$$W_1 = (H + l_{II} - h/2) \cos \alpha + b \sin \alpha,$$

где W_1 – линия наименьшего сопротивления; H – высота уступа; l_{II} – длина перебура; α – угол откоса уступа, град; b – расстояние от оси скважины до верхней бровки.

Время t отсчитывают от начала движения рассматриваемого элемента. Полагая $y_2 = 0, t = \tau$, получаем выражение для определения продолжительности полета элемент M

$$\tau = \frac{1}{g} (V_{2M} \cos \alpha + \sqrt{V_{2M}^2 \cos^2 \alpha + 2gy_0}),$$

тогда

$$x_1 = \frac{V_{2M} \sin \alpha}{g} (V_{2M} \cos \alpha + \sqrt{V_{2M}^2 \cos^2 \alpha + 2gy_0}) - x_0,$$

где x_1 – предельное положение элемента M .

В предельном положении элемента M центр тяжести системы кусков N находится над точкой M на высоте $1,5y_{c2}$ (y_{c2} – ордината центра эпицентральной части уступа и имеет скорость, равную по модулю и направлению горизонтальной составляющей начальной скорости движения элемента M).

Для определения текущих координат x_2 и y_2 центра тяжести системы кусков N начало новой системы осей X и Y совмещается с точкой M . Тогда

$$x_2 = V_{2M} t \sin \alpha, y_2 = -\frac{gt^2}{2} + 1,5y_{c2}.$$

Здесь время t отсчитывается от момента падения элемента M на горизонт. Горизонтальная дальность полета центра тяжести системы кусков N устанавливают по формуле

$$x_2 = \frac{V_{2M}}{g} \sqrt{3gy_{c2}} \sin \alpha.$$

Дальность перемещения N от нижней бровки уступа — ширина отброшенной части развала взорванной породы — вычисляется как сумма x_1 и y_2 .

$$B_0 = \frac{V_{2M} \sin \alpha}{g} \left(V_{2M} \cos \alpha + \sqrt{V_{2M}^2 \cos^2 \alpha + 2gy_0} + \sqrt{3gy_0} \right) - x_0.$$

По известной ширине отброшенной части нетрудно вычислить полную ширину развала.

При однорядном взрывании

$$B_p = B_0 + W,$$

при многорядном взрывании

$$B_p = B_0 + W + (n-1) a_p,$$

где n – число рядов скважин; a_p – расстояние между рядами.

Для определения высоты развала Б.Р. Ракишевым предложена формула

$$h = \frac{HW(2k_p - k_y)}{W + B_0},$$

где k_p – коэффициент разрыхления;

Таблица 18.1.1.

Зависимости для прогнозирования ширины развала R и скорости выброса породы V_0 при взрывании скважинных зарядов

№	Первый автор публикации	Предлагаемая зависимость
1	Союзвзрывпром	$R = 5q\sqrt{H_y W}$, м
2	Зурков П.Э.	$R = 2WK_p K_T$, м
3	Ракишев Б.Р. (лабораторные опыты)	$R = \frac{3,4}{W^{2,5}}$, м
4	Ракишев Б.Р. (промышленные опыты)	$R = K_B \sqrt{\frac{\omega_{IP}}{\omega_{CT}}} \sqrt{\frac{a_{OPT}}{a_p}} \frac{HQ}{W \sqrt{a_M l_{заб}}}$, м
5	Ржевский В.В.	$R = K_T K_B \sqrt{qH_y} + (n-1)b$, м
6	Машуков В.И.	$R = \frac{D_{BB}}{8} \sqrt{\frac{14Qh_{II}}{q \rho f WH_y}}$, м
7	Кутузов Б.Н.	$R = 3,5K_H K_{CK} H_y \sqrt[4]{F^3} \sqrt[3]{q/H_y}$, м
8	Пучков Я.М.	$R = \frac{8345C_{II}^{-2,2} m_1 Q l_1 H_y}{a(W + l_{II})} + 0,55C_{II} \rho_{II} - 11,2$, м
9	Бевз Н.Д.	$R = 37,6 - 0,36f + 0,65H_y - 0,34p_3 + 0,07W_1 - 1,31a_1 + 6,02q_1$, м

№	Первый автор публикации	Предлагаемая зависимость
10	Друкованный М.Ф.	$R = \left[1 - \frac{\sqrt{l_{\Pi}^3} (K_p W_{\Pi} + A)}{\sqrt{A^3} (K_p W_{\Pi} + l_{\Pi})} \right] R_0, \text{ м}$
11	Бугров В.И.	$V_0 = 0,125 D_B \sqrt{q / \rho_{\Pi}}, \text{ м/с}$
12	Репин Н.Я.	$V_0 = 2V \sqrt{q / \pi K \rho}, \text{ м/с}$
13	Черниговский А.А.	$V_0 = \sqrt{\frac{2 E_{BB} q l}{\rho_{\Pi}}}, \text{ м/с}$

$$k_0 = \begin{cases} 1 & \text{где } B_0 \leq H; \\ 0,8 - 0,9 & \text{где } \hat{A}_0 = (1,3 - 1,8) l \end{cases}$$

При $B_0 > 1,8H$ развал имеет треугольную форму, и тогда

$$h = \frac{2 \cdot H \cdot k_p \cdot W}{W + B_0}$$

В таблице 18.1.1 собраны формулы различных авторов для расчета ширины развала и начальной скорости полета горной массы.

Вопрос о скорости выброса раздробленной породы при взрывах тесно связан с исследованиями, проведенными с целью установления влияния сопротивления воздуха при полете раздробленной породы в воздухе.

О влиянии сопротивления воздуха на дальность развала породы также нет единого мнения. Большинство исследователей считают, что при удельных расходах ВВ менее $0,5 \text{ кг/м}^3$ сопротивление воздуха можно не учитывать [32, 64, 65, 72, 25].

Однако Л.А. Черниговский полагает, что сопротивление воздуха зависит не только от принятой величины удельного расхода ВВ, но и от размеров разлетающихся осколков породы. В соответствии с этим он предложил критерий, с помощью которого определяется необходимость учета этого фактора для прогноза дальности полета раздробленной породы. При вычислении траектории движения и дальности выброса породы сопротивление воздуха следует учитывать только в том случае, если предложенный им критерий j удовлетворяет неравенству

$$j = \frac{C_x V_0^2}{q} \geq 0,3,$$

где $C_x = 1,3/d_K \rho_{\Pi}$ – коэффициент лобового сопротивления осколка породы при полете в воздухе;

d_K – диаметр среднего куска, м.

В своих работах исследователи определяли две теоретические концепции кинематики процесса разрушения массива при взрывании скважинных

зарядов: движение тела, брошенного под углом к горизонту с некоторой начальной скоростью; перемещение масс под действием сил, разрушающих целостность массива.

Использование основ физики позволяет решить задачу полета всего объема отбиваемой горной породы; применение тензорного исчисления является перспективным в решении задачи трансформации внутренней структуры массива при взрывных работах. Но здесь следует заметить, что существующего эмпирического материала пока недостаточно для формирования этой теоретической концепции.

На основе изучения опубликованных материалов нами было отмечено, что при расчетах параметров развала используются разные расчетные схемы, в основе которых лежит геометрическая модель поперечного сечения развала. У разных исследователей она разная, от треугольной до составной, состоящей из набора нескольких простых геометрических фигур.

Определив один из параметров развала по нормативным документам или расчетом баллистической траектории полета центра тяжести всего или выбранной части отбиваемого объема, определяют остальные параметры развала, опираясь на принятую геометрическую модель поперечного сечения развала.

Такие эмпирические расчетные методы дают приемлемые результаты лишь в узких неизменных условиях взрывания. При изменении условий взрывания результаты расчетов существенно отличаются от фактических.

18.2. Экспериментальные методы определения параметров развала и процесса его формирования

Качество взрыва на карьерах оценивается гранулометрическим составом разрушенной массы, средним размером куска, выходом негабарита, проработкой подошвы уступа, шириной и высотой развала горных пород.

Ширина развала — самый наглядный и очевидный результат взрыва. Требования к ширине развала определяются параметрами системы разработки, применяемым погрузочным оборудованием.

Взрывные работы оказывают определенное влияние на производительность горнотранспортного оборудования в карьере. Так, повреждение развалом транспортных, энергетических и других коммуникаций в карьере приводит к значительным простоям горного оборудования, которые связаны с демонтажем и восстановлением поврежденных объектов. Наиболее часто встречающимися отрицательными результатами взрывов скважинных зарядов на карьерах являются: усиленный выброс породы на верхнюю бровку уступа; большой развал раздробленной породы; большая высота развала.

Указанные факторы существенно снижают эффективность всех последующих процессов добычи. Усиленный выброс породы на верхнюю бровку уступа приводит к большим дополнительным затратам на очистку верхней площадки от породы с помощью бульдозера или экскаватора для обеспечения возможности работы буровых станков. Выброс породы на верхнюю бровку, как правило, объясняется усиленным действием взрыва в сторону массива и сопровождается заколами за линию скважин, которые существен-

но затрудняют обустройство следующих рядов скважин и ухудшают устойчивость откосов уступов.

Повышенный развал породы приводит к снижению производительности экскаватора на погрузке, повреждению на железнодорожных путях и линиях электропередач, расположенных на нижележащем уступе.

Большая высота развала повышает опасность работы экскаватора в забое. Перечисленные недостатки выполнения взрывных работ могут встречаться как отдельно, так и в совокупности.

Одним из методов наблюдения за процессом образования развала при массовых взрывах на карьерах является изучение с помощью аппаратуры, включающей в себя скоростную киносъемочную камеру, пульт синхронизации и дистанционного управления кинокамерой и взрывом.

При съемках камера помещалась в бронированный колпак для защиты ее от кусков породы и устанавливалась под наиболее выгодным углом по отношению к взрываемому блоку. В качестве отметчика времени использовалась неоновая лампа МН-7, которая питается от источника переменного тока частотой 50 Гц и дает 100 вспышек в секунду. Свет этой лампы попадает на пленку и засвечивает ее вдоль края вне кадров съемки. Съемки производятся при солнечном освещении на 16-миллиметровую кинопленку.

Синхронность действий камеры и взрыва, регистрация отметки начала детонации заряда и плавная регулировка скорости камеры достигались при помощи пульта дистанционного управления. В результате скоростной съемки процесса развития взрыва во взрываемом массиве получены кинокадры уступа в фиксированные моменты времени. При обработке кинолент по перемещению характерных точек контура уступа в заданные интервалы времени строились их траектории. Затем путем графического интегрирования определялись мгновенные скорости точек в соответствующие моменты времени. Истинные перемещения точек контура находились с помощью масштабного предмета, установленного на уступе и заснятого на пленке. Скорость съемки — 620 кадров в секунду.

Приведенный метод наблюдения за формированием развала на карьерах при массовых взрывах довольно сложен в осуществлении, а также требует наличие дорогой специальной аппаратуры.

В практике взрывных работ ожидаемые параметры развала (ширина и максимальная высота) определяются либо по эмпирическим формулам, либо на основе геометрических моделей развала горной массы. Одним из методов определения формы поперечного сечения развала горной массы является проведение экспериментальных замеров. Методика измерений основывается на данных, полученных от маркшейдерской съемки.

По нескольким сечениям поверхности развала намечаются маркшейдерские точки и определяются координаты каждой точки. По координатам точек строятся разрезы и определяется положение характерных точек развала. При применении этих методов используют лазерные маркшейдерские приборы.

18.3. Геометрическая модель поперечного сечения ожидаемого развала отбитой взрывом горной массы на уступе карьера (ИПКОН РАН)

Форма развала отбитой взрывом горной массы на уступе карьера оказывает влияние на производительность экскаватора, на объем работ по зачистке проездов по уступам после взрыва, на безопасность экскаваторных работ, на сохранность и стационарность технологических коммуникаций и оборудования. Форма развала характеризуется несколькими численными показателями: длиной развала, максимальной высотой развала, кучностью развала.

Важно знать ожидаемую форму развала в сечении, перпендикулярном откосу уступа, на стадии проектирования буровзрывных работ, и предусмотреть проектом формирование развала с рациональными параметрами.

В ИПКОН РАН на основе договора о творческом сотрудничестве предложена для условий Мурунтау геометрическая модель поперечного сечения развала, состоящая из пяти геометрических фигур. Разработана методика расчета параметров поперечного сечения развала по условиям взрывания.

В основу методики расчета положен закон динамики поступательного движения твердого тела по инерции под действием постоянной силы тяжести. Уравнение траектории движения твердого тела под действием этих сил имеет вид

$$y = x \operatorname{tg} \alpha - \frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2 \alpha},$$

где y – вертикальная координата; x – горизонтальная координата; α – угол бросания с горизонтом; g – ускорение силы тяжести.

Наибольшая дальность полета твердого тела вдоль горизонтальной оси определяется по формуле

$$x_{\max} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}.$$

Начальную скорость движения горной массы, отбитой скважинным зарядом, можно определить по формуле

$$V = 12 \sqrt[3]{\left(\frac{Q}{W^3}\right)^2},$$

где Q – масса заряда в скважине, кг; W – линия наименьшего сопротивления.

На уступе карьера центр тяжести отбитой горной массы лежит на высоте, равной половине высоты уступа. Угол бросания $\alpha = 0^\circ$. При малых скоростях полета сопротивлением воздуха можно пренебречь. Траектория полета любой массы на уступе карьера описывается формулой.

$$y = \frac{H}{2} - \frac{gx^2}{2V^2}.$$

Здесь вертикальная ось проходит через центр тяжести отбиваемого объема, а горизонтальная ось проходит по почве уступа.

Максимальная дальность полета отбитой горной массы на уступе, назовем ее максимальной дальностью бросания, определяется по формуле

$$L_1 = V \sqrt{\frac{H}{g}} + 0,5W.$$

Чтобы по дальности бросания определить длину развала, его максимальную высоту и другие его параметры, необходимо принять модель формы поперечного сечения развала. Принятая модель формы поперечного сечения развала представлена на рис. 18.3.1.

Взрывом скважинного заряда (и всего ряда скважин) отбивается объем, поперечное сечение которого на рис. 18.3.1 представлено параллелограммом ABCD. Через его центр тяжести проходит ось y , а по почве уступа проходит ось x . Форма поперечного сечения развала по нашей модели складывается из пяти геометрических фигур: прямоугольника 2 и четырех треугольников 1, 3, 4 и 5.

Длина передней части развала

$$L_2 = \frac{L_1}{3} + 0,5(n-1)W,$$

где n – число взрывааемых рядов скважин.

Длина развала

$$L = L_1 + 0,25W + (n-1)W.$$

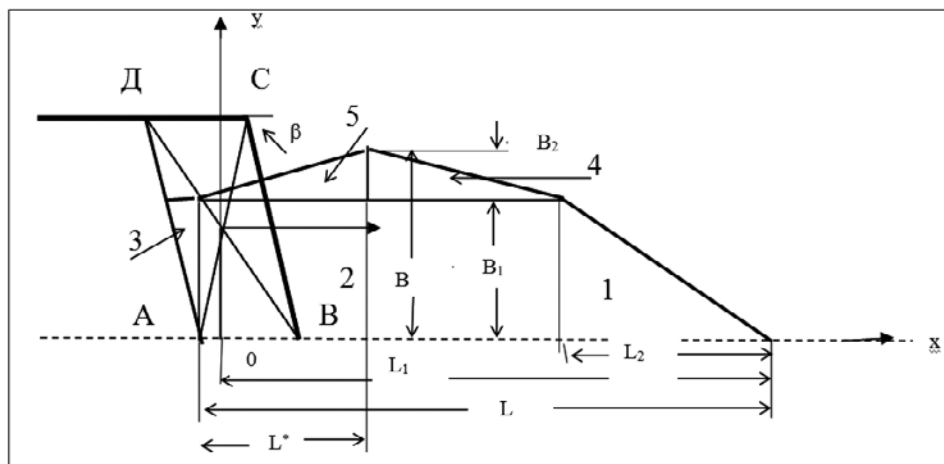


Рис. 18.3.1. Модель геометрического построения поперечного сечения развала отбитой горной массы

Для определения высоты развала необходимо определить суммарную площадь фигуры развала по модели сечения развала и приравнять ее площади ABCD с учетом коэффициента разрыхления породы при взрыве. Выполнив соответствующие построения, получим

$$B_1 = \frac{1,13L - 0,63L_2}{\operatorname{ctg} \beta} - \sqrt{\left(\frac{1,13L - 0,63L_2}{\operatorname{ctg} \beta} \right)^2 - \frac{1,4H W n}{0,5 \operatorname{ctg} \beta}}.$$

Здесь B_1 – высота прямоугольника 2 в модели сечения развала.
Высота треугольников 4 и 5 в модели сечения развала

$$B_2 = 0,25B_1.$$

Максимальная высота развала

$$B = 1,25B_1.$$

Для удобства построения контура развала определим расстояние по оси x от начала координат до максимальной высоты развала

$$L^* = 0,5(L - L_2).$$

При оценке развала отбитой горной массы иногда используют коэффициент кучности, который определяется по формуле

$$K_k = \frac{B}{L}.$$

По рассчитанным параметрам развала осуществляется графическое построение контура развала. Процедура графических построений ясна из рис. 18.3.1.

Контур развала необходимо строить один для всех рядов взорванных скважинных зарядов, а не накладывать контур второго ряда на контур первого ряда. Центр тяжести отбиваемой горной массы необходимо определять единый для всех рядов взрывааемых скважинных зарядов.

Рассчитаем параметры развала отбитой горной массы для условий карьера Мурунтау. Исходные данные для расчета: $H = 15$ м, $d_{\text{ск}} = 215,9$ мм, $P = 32,6$ кг/п. м., длина заряда в скважине — 11,5 м, $Q = 375$ кг, $W = 5,6$ м, $\beta = 80^\circ$.

Начальная скорость движения отбитой горной массы

$$V = 123 \sqrt{\left(\frac{375}{5,6^3} \right)^2} = 19,9 \text{ м/с}.$$

Дальность бросания

$$L_1 = 19,9 \sqrt{\frac{15}{9,81}} + 0,5 \cdot 5,6 = 27,4 \text{ м}.$$

Величины V и L_1 остаются неизменными при взрывании любого числа рядов скважин. Остальные параметры развала зависят от числа взорванных рядов скважин. С использованием компьютера получены и представлены в таблице 18.3.1 расчетные параметры развала при взрывании разного числа рядов скважин.

Таблица 18.3.1.

Расчетные параметры развала при разном числа рядов скважин

n	L_2 , м	L, м	L^*	B_1 , м	B_2 , м	B, м	K_k
1	9,1	28,8	9,8	4,4	1,1	5,5	0,189
2	11,9	34,4	11,2	7,5	1,9	9,4	0,273
3	14,7	40	12,6	9,8	2,5	12,3	0,308
4	17,5	45,6	14	11,7	2,9	14,6	0,320
5	20,3	51,2	15,4	13,1	3,3	16,4	0,340

Как видно из таблицы, длина развала с увеличением числа взрывааемых рядов скважин возрастает за счет прироста пространства задних рядов, а максимальная высота развала интенсивно возрастает с увеличением числа взрывааемых рядов скважин. На рис. 18.3.2 представлены построенные по данным таблицы 18.3.1 развалы горной массы при взрывании двух рядов скважин и при взрывании пяти рядов скважин.

При взрывании тридцатиметровых уступов изменяется масса заряда в скважине. Если длина забойки и перебура не изменяются и инертные промежутки не формируются, то длина заряда в скважине при уступе высотой 30 м будет равна 26,5 м. Масса заряда в скважине 864 кг.

Начальная скорость движения отбитой горной массы

$$V = 12 \sqrt[3]{\left(\frac{864}{5,6^3}\right)^2} = 34,7 \text{ м/с.}$$

Дальность бросания

$$L_1 = 34,7 \sqrt{\frac{30}{9,81}} + 2,8 = 63,5 \text{ м.}$$

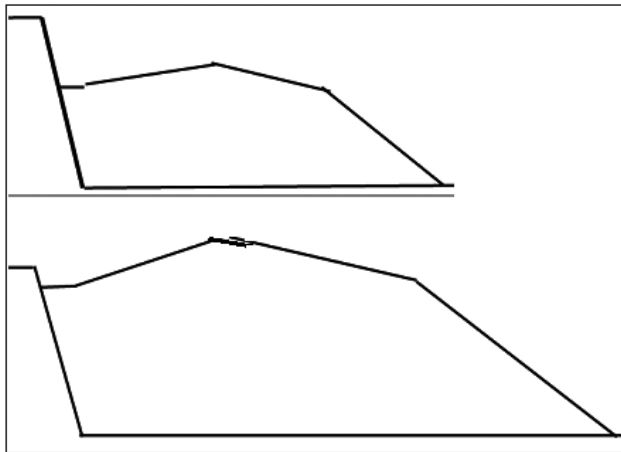


Рис. 18.3.2. Геометрия поперечного сечения развала отбитой горной массы при взрыве 2 рядов скважин (верхний рисунок) и 5 метров при высоте уступа 18 м

Таблица 18.3.2.

Расчетные значения параметров развала при высоте уступа 30 м

N	L_2 , м	L, м	L^*	B_1 , м	B_2 , м	B, м	K_k
1	21,2	64,9	21,9	3,8	1	4,8	0,074
2	24	70,5	23,3	7,2	1,8	9,0	0,128
3	26,8	76,1	24,7	10,1	2,5	12,6	0,166
4	29,6	81,7	26,1	12,7	3,2	15,9	0,194
5	32,4	87,3	27,5	15	3,7	18,7	0,214
6	35,2	92,9	28,9	17	4,2	21,2	0,229

Из таблицы 18.3.2 видно, что с ростом высоты уступа сильно возрастает длина развала. На рис. 18.3.3 представлен расчетный развал породы, построенный по данным таблицы 18.3.2.

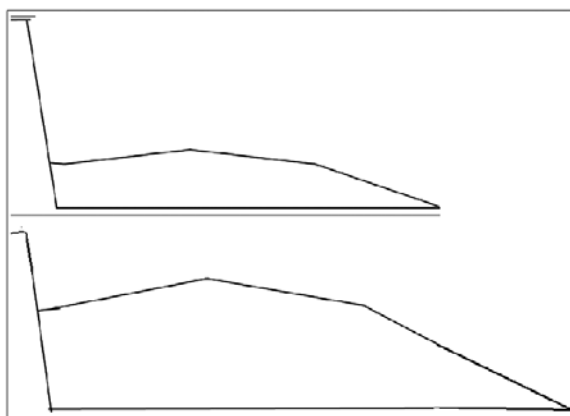


Рис. 18.3.3. Геометрия поперечного сечения развала отбитой горной массы при взрыве 2 рядов скважин и высоте уступа 30 м

Можно положить в основу методики расчета параметров развала не закон динамики поступательного движения твердого тела по инерции под действием постоянной силы тяжести, а закон сохранения размерности независимых друг от друга величин, входящих в уравнение связи. Такими величинами являются: энергия заряда E в Дж, плотность породы ρ в кг/м^3 , ускорение силы тяжести g в м/с^2 и линия наименьшего сопротивления W в м. Соблюдая закон сохранения размерности, можно составить уравнение

$$L_0 = Wf \left(\frac{E}{\rho g W^4} \right),$$

где L_0 – длина развала породы при взрыве первого ряда скважин.

С точностью до коэффициента K это уравнение можно переписать в виде формулы

$$L_0 = \frac{E}{K \rho g W^3}.$$

Коэффициент $K = 12$ для скальных горных пород.

При использовании этой зависимости принимается та же вышеописанная модель поперечного сечения развала горной породы.

Дальность бросания

$$L_1 = L_0 - 0,25W$$

Все остальные параметры развала L_2 , L , L^* , B_1 , B_2 , B , и K_k определяются по тем же формулам, что и в методике с использованием закона поступательного движения твердого тела.

Рассчитаем по этой методике параметры развала для условий карьера Мурунтау при высоте уступа 15 м.

$$L_0 = \frac{4,2 \cdot 10^6 \cdot 375}{12 \cdot 2700 \cdot 9,81 \cdot 5,6^3} = 28,2 \text{ м.}$$

Дальность бросания

$$L_1 = 28,2 - 0,25 \cdot 5,6 = 25,4 \text{ м.}$$

Дальность бросания остается неизменной при взрывании любого числа рядов скважин. С использованием компьютера рассчитаны и представлены в таблице 3 параметры развала при взрывании разного числа рядов скважин и при высоте уступа 15 м.

Таблица 18.3.3.

Параметры развала при взрывании разного числа рядов скважин при высоте уступа 15 м

n	L_2 , м	L , м	L^*	B_1 , м	B_2 , м	B , м	K_k
1	8,5	26,8	9,2	4,7	1,2	5,9	0,219
2	11,3	32,4	10,7	8	2	10	0,308
3	14,1	38	12	10,4	2,6	13	0,343
4	16,9	43,6	13,4	12,3	3,1	15,3	0,352
5	19,7	49,2	14,8	13,7	3,4	17,1	0,348

При взрывании уступов высотой 30 м на карьере Мурунтау

$$L_0 = \frac{4,2 \cdot 10^6 \cdot 864}{12 \cdot 2700 \cdot 9,81 \cdot 5,6^3} = 65 \text{ м.}$$

Дальность бросания

$$L_1 = 65 - 0,25 \cdot 5,6 = 63,6 \text{ м.}$$

В таблице 18.3.4 приведены параметры развала тридцатиметрового уступа, рассчитанные по методике с использованием закона сохранения размерности.

Если сравнить между собой результаты таблиц 18.3.1 и 18.3.2 и между собой результаты таблиц 18.3.3 и 18.3.4, то можно увидеть, что результаты различаются незначительно, а в ряде случаев совпадают. Это говорит о равноценной пригодности к использованию любой из вышеизложенных методик.

Таким образом, по разработанным методикам легко прогнозировать параметры развала при разных условиях взрывания на уступах карьеров и отстраивать прогнозные графические контуры развала.

Таблица 18.3.4.

**Параметры развала тридцатиметрового уступа,
рассчитанные по методике с использованием закона сохранения размерности**

N	L_2 , м	L, м	L^*	B_1 , м	B_2 , м	B, м	K_k
1	21,2	65	21,9	3,8	1	4,8	0,074
2	24	70,6	23,3	7,2	1,8	9,0	0,127
3	26,8	76,2	24,7	10,1	2,5	12,6	0,166
4	29,6	81,8	26,1	12,7	3,2	15,9	0,194
5	32,4	87,4	27,5	15	3,7	18,7	0,214
6	35,2	93	28,9	17	4,2	21,2	0,229

Форма и параметры развала отбитой горной массы на карьерах при взрывной отбойке руд и пород оказывают существенное влияние на продолжительность подготовительно-заключительных операций, на производительность и безопасность работ при экскаваторной погрузке. Из-за сложности физического процесса вылета в разных направлениях, полета и падения кусков породы при взрыве все еще не удалось разработать строго теоретически обоснованные методы расчета, описывающие весь этот физический процесс. Изучением процесса на протяжении длительного времени занимались многие отечественные и зарубежные ученые.

На практике параметры развала рассчитывают по эмпирическим зависимостям. В основе эмпирических зависимостей лежит геометрическая модель поперечного сечения развала. Модель поперечного сечения принимается разная, от простой треугольной до составной модели, состоящей из нескольких простых геометрических фигур. Каким-нибудь образом определяется один из параметров развала, например, принимается высота развала по техническим нормативам, а затем, зная массу отбитой породы, коэффициент разрыхления и модель поперечного сечения развала, рассчитывают остальные параметры развала. Такие методы расчета дают удовлетворительный результат в узких условиях конкретного карьера при неизменных схемах обустройства и взрывания. При изменении условий обустройства и взрывания эмпирические расчетные методы требуют уточнений.

18.4. Компьютерный расчетный метод определения формы развала

Копыловым С.В. под научным руководством Казакова Н.Н. разработан основанный на теоретических положениях развития процесса расчетный метод определения формы и параметров развала отбитой взрывом горной массы на карьерах. Отличительными признаками разработанного расчетного метода являются следующие положения.

В основу расчетного метода положена сформулированная оригинальная многозонная модель физического процесса перемещения горной массы при взрыве скважинных зарядов на уступах карьера.

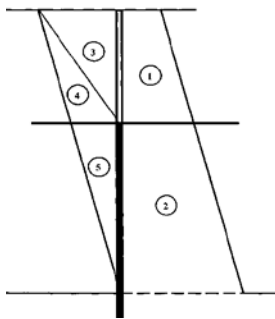


Рис. 18.4.1. Схема многозонной модели вылета породы и формирования развала

Вокруг каждого скважинного заряда выделено пять зон (рис. 18.4.1), в каждой из которых создаются разные начальные условия вылета, разлета и падения кусков отбитой горной массы.

Направления полета кусков породы, углы их бросания и высоты бросания определяются из геометрического положения куска в отбиваемом объеме, геометрического положения заряда взрывчатого вещества и геометрии карьерного уступа.

Начальная скорость бросания каждого куска определяется по положению скважинного заряда и куска в отбиваемом объеме и по остаточной энергии в продуктах детонации к моменту завершения расширения газовой полости. Условием определения начальной скорости вылета (бросания) куска породы является равенство доли остаточной энергии в продуктах детонации и кинетической энергии полета куска. Принято, что куски, расположенные на одной линии удара, приобретают одинаковую начальную скорость, но летят по разным баллистическим траекториям.

Мы отказались от традиционного использования в расчетах геометрической модели поперечного сечения развала, т. к. форма поперечного сечения существенно изменится при изменении условий взрывания.

В соответствии с принятой физической моделью процесса куски породы летят по баллистическим траекториям в разных направлениях, падают на нижний уступ, на верхний уступ и на непрерывно растущий развал породы. После падения на поверхность развала часть кусков сползает по развалу в места с более низкими высотными отметками.

Важным элементом расчетного метода является предложенная схема одно-временного выполнения расчетов в двух системах координат: в неподвижной системе координат и в скользящей системе координат. В скользящей системе координат рассчитывается траектория полета куска. В неподвижной системе координат формируется поперечное сечение развала отбитой горной массы.

На основе разработанного расчетного метода с использованием полученных аналитических зависимостей и программной оболочки Delphi 7 разработан программный комплекс «Развал», состоящий из шести компьютерных программ, работающих совместно. Программный комплекс позволяет по условиям взрывания скважинных зарядов на уступах карьеров рассчитывать параметры развала и построить в автоматическом режиме графическое изображение формы поперечного сечения развала.

Компьютерная программа «Развал-10» объединяет все программы в единый комплекс и управляет работой комплекса. Экранный вид формы программы «Развал-10» представлен на рис. 18.4.2.

После вызова из памяти компьютера и компиляции программы «Развал-10», с использованием незначительно изменившегося экранного вида формы, из памяти компьютера вызывается и запускается в работу каждая из входящих в комплекс компьютерных программ. При работе в комплексе любой компьютерной программы легко обеспечивается (часто в автоматическом режиме) доступ к любой информации, уже полученной расчетами к этому времени по другим программам комплекса.

Экранный вид итоговой таблицы программы «Развал-1» представлен на рис. 18.4.3. После вызова программы «Развал-1» из «Развал-10» таблица на рис. 18.4.3 пустая. После выполнения компиляции программы и нажатия кнопки 1 таблица заполняется.

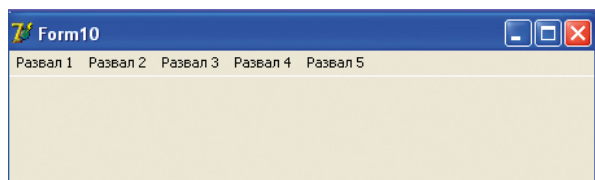


Рис. 18.4.2. Экранный вид формы программы «Развал-10»

Form1						
XB	Z1	Z0	Z	ZK		
0	15.0	15.0	15.0		Button1	
1	15.0	15.0	15.0		Button2	
2	15.0	15.0	15.0		Button4	
3	15.0	15.0	15.1		Печ. табл.	
4	15.0	15.0	15.3			
5	15.0	15.0	15.4			
6	16.30	15.0	15.7			
7	16.30	15.0	16.6			
8	15.0	15.0	15.8			
9	16.30	15.0	16.0			
10	16.30	15.0	15.7			
11	15.0	15.0	15.0			
12	16.30	15.0	15.4			
13	13.90	11.3	12.3			
14	13.50	5.7	9.1			
15	9.10	0.0	8.9			
16	9.10	0.0	0.5			

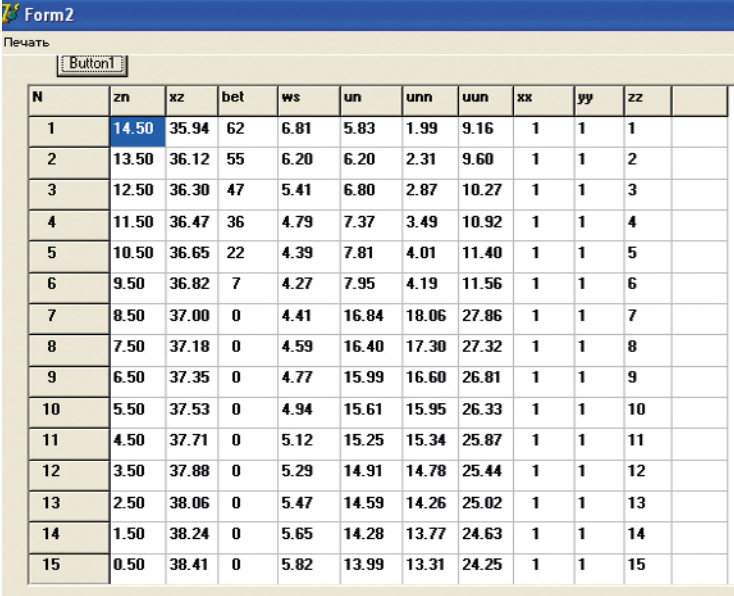
Рис. 18.4.3. Экранный вид итоговой таблицы программы «Развал-1»

Программа «Развал-1» выполняет формирование подстилающей поверхности будущего развала в неподвижной системе координат. Подстилающая поверхность проходит по верхнему уступу, по еще не существующему до взрыва откосу уступа и по нижнему уступу частично еще внутри не отбитой породы.

После выполнения расчетов по всем программам комплекса во второй столбец таблицы заносятся в автоматическом режиме координаты Z1 верхнего контура развала. При нажатии кнопок 2 и 4 рассчитывается процесс сползания части кусков по откосу в места с более низкими высотными отметками. В четвертый столбец таблицы заносятся окончательные значения координат Z верхнего контура развала.

На экране видны лишь 15 строк таблицы. В действительности строк в таблице значительно больше (до 120). Просмотреть содержимое нижележащих строк таблицы можно, пользуясь линейкой прокрутки. Нажатием кнопки «печ. табл.» можно отпечатать таблицу на принтере.

После вызова программы «Развал-2» из программы «Развал-10», ее компиляции и нажатия кнопки 1 выполняются все расчеты и заполняется таблица. Итоговая таблица программы «Развал-2» представлена на рис. 18.4.4.



N	zn	xz	bet	ws	un	unn	uun	xx	yy	zz	
1	14.50	35.94	62	6.81	5.83	1.99	9.16	1	1	1	
2	13.50	36.12	55	6.20	6.20	2.31	9.60	1	1	2	
3	12.50	36.30	47	5.41	6.80	2.87	10.27	1	1	3	
4	11.50	36.47	36	4.79	7.37	3.49	10.92	1	1	4	
5	10.50	36.65	22	4.39	7.81	4.01	11.40	1	1	5	
6	9.50	36.82	7	4.27	7.95	4.19	11.56	1	1	6	
7	8.50	37.00	0	4.41	16.84	18.06	27.86	1	1	7	
8	7.50	37.18	0	4.59	16.40	17.30	27.32	1	1	8	
9	6.50	37.35	0	4.77	15.99	16.60	26.81	1	1	9	
10	5.50	37.53	0	4.94	15.61	15.95	26.33	1	1	10	
11	4.50	37.71	0	5.12	15.25	15.34	25.87	1	1	11	
12	3.50	37.88	0	5.29	14.91	14.78	25.44	1	1	12	
13	2.50	38.06	0	5.47	14.59	14.26	25.02	1	1	13	
14	1.50	38.24	0	5.65	14.28	13.77	24.63	1	1	14	
15	0.50	38.41	0	5.82	13.99	13.31	24.25	1	1	15	

Рис. 18.4.4. Экранный вид итоговой таблицы программы «Развал-2»

По программе «Развал-2» рассчитываются начальные условия вылета каждого расчетного объема, скорость вылета и вспомогательные параметры, необходимые для управления последующими расчетами.

Начальными условиями вылета каждого расчетного объема являются индивидуальные для него: высота бросания zn, угол бросания bet, и расстояние ws по линии бросания (удара) до внешних границ зон действия каждого скважинного заряда. Все эти начальные условия определяются из геометрических соотношений между скважинным зарядом и контурами уступа.

Величина xz является координатой x каждого расчетного объема в неподвижной системе координат.

Величины un, unn, uun являются конкурирующими начальными скоростями бросания индивидуально каждого расчетного объема. Они рассчиты-

ваются на основе разных методических подходов. Предпочтение отдается одной из рассчитанных скоростей, при использовании которой обеспечивается лучшее совпадение расчетных и экспериментальных контуров поперечного сечения развала.

Начальная скорость бросания u_{np} рассчитывается по эмпирическим формулам, полученным с использованием формулы Г.И. Покровского для полета центра тяжести всего объема породы, отбитого взрывом.

Начальная скорость бросания u_{npn} рассчитывается как удвоенная максимальная массовая скорость в волне напряжений при ее выходе на свободную поверхность. При расчетах учитывается наличие в отбиваемом объеме двух зон с различной симметрией: цилиндрической и сферической.

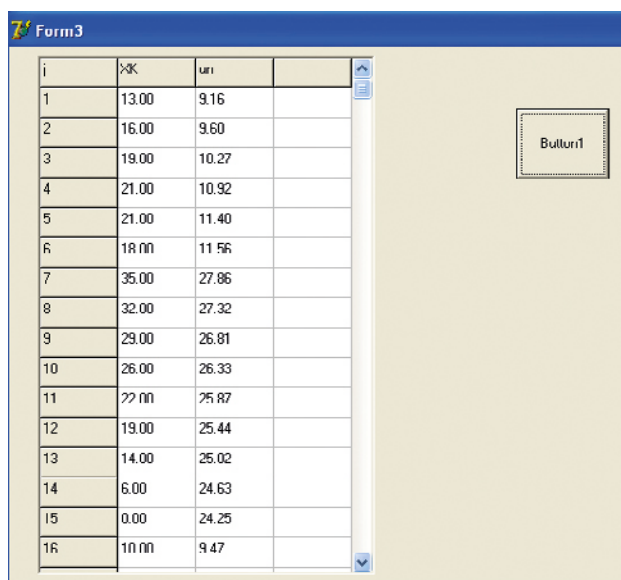
Начальная скорость бросания u_{np} рассчитывается по условию равенства кинетической энергии полета расчетного объема и приходящейся на его долю остаточной энергии продуктов детонации.

В наших исследованиях скорость бросания u_{np} обеспечивала лучшее совпадение расчетных и экспериментальных контуров поперечного сечения развалов. Поэтому мы отдали предпочтение начальной скорости бросания u_{np} .

В расчетах использованы следующие вспомогательные параметры: xx — номер ряда скважин, yy — номер столбца около каждой скважины, zz — номер расчетного объема в каждом столбце.

В наших расчетах таблица на рис. 18.4.4 содержит от 90 до 720 строк. При однорядном взрывании — 90 строк, при восьмирядном взрывании — 720 строк. Просмотреть полученные при расчетах значения в любой из невидимых на экране строк можно, пользуясь линейкой прокрутки.

Экранный вид итоговой таблицы программы «Развал-3» после последовательного выполнения расчетов по программам «Развал-1», «Развал-2» и «Развал-3» представлен на рис. 18.4.5.



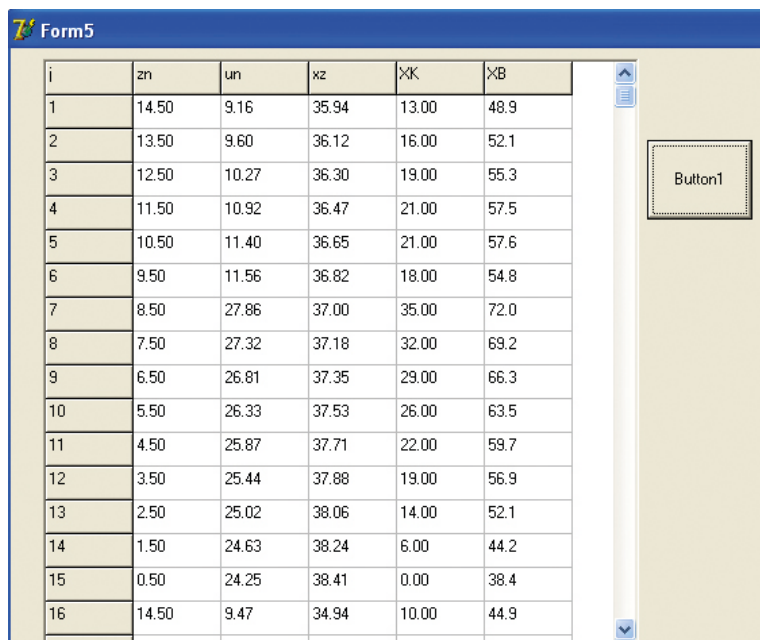
i	xк	uн
1	13.00	9.16
2	16.00	9.60
3	19.00	10.27
4	21.00	10.92
5	21.00	11.40
6	18.00	11.56
7	35.00	27.86
8	32.00	27.32
9	29.00	26.81
10	26.00	26.33
11	22.00	25.87
12	19.00	25.44
13	14.00	25.02
14	6.00	24.63
15	0.00	24.25
16	10.00	9.47

Рис. 18.4.5. Экранный вид итоговой таблицы программы «Развал-3»

В программе «Развал-3» с использованием результатов расчетов по программам «Развал-1» и «Развал-2» рассчитывается координата ХК в скользящей системе координат в точке падения каждого расчетного объема. В таблицу занесены начальные скорости каждого расчетного объема, чтобы всегда держать под визуальным контролем выбранную предпочтительную начальную скорость.

Таблица на рис. 18.4.5 имеет такую же длину, как и таблица на рис. 18.4.3, и обладает теми же ранее описанными свойствами.

Экранный вид итоговой таблицы программы «Развал-5» после последовательного выполнения расчетов по предшествующим программам представлен на рис 18.4.6.



i	zn	un	xz	xK	xB
1	14.50	9.16	35.94	13.00	48.9
2	13.50	9.60	36.12	16.00	52.1
3	12.50	10.27	36.30	19.00	55.3
4	11.50	10.92	36.47	21.00	57.5
5	10.50	11.40	36.65	21.00	57.6
6	9.50	11.56	36.82	18.00	54.8
7	8.50	27.86	37.00	35.00	72.0
8	7.50	27.32	37.18	32.00	69.2
9	6.50	26.81	37.35	29.00	66.3
10	5.50	26.33	37.53	26.00	63.5
11	4.50	25.87	37.71	22.00	59.7
12	3.50	25.44	37.88	19.00	56.9
13	2.50	25.02	38.06	14.00	52.1
14	1.50	24.63	38.24	6.00	44.2
15	0.50	24.25	38.41	0.00	38.4
16	14.50	9.47	34.94	10.00	44.9

Рис.18.4.6. Экранный вид итоговой таблицы программы «Развал-5»

В программе «Развал-5» рассчитываются координаты ХВ в неподвижной системе координат точек падения каждого расчетного объема. В таблице на рис. 6 представлены: высота бросания, начальная скорость бросания, координаты точек бросания в скользящей системе координат, координаты точек падения в скользящей системе координат и координаты точек падения в неподвижной системе координат.

После формирования таблицы в Form 5 программа производит группировку и суммирование всех расчетных объемов по совпадающим местам падения. Рассчитываются предварительные координаты верхнего контура развала. Результаты расчета заносятся в таблицы в формах Form 1 и Form 4. После этого в программе «Развал-1» рассчитывается процесс сползания части кусков по поверхности развала в места с более низкими высотными отметками. Результаты расчета заносятся в таблицы форм Form 1 и Form 4.

В программе «Развал-4» по результатам ранее выполненных расчетов после нажатия кнопки «Развал-4» в автоматическом режиме строится графическое изображение поперечного сечения развала (рис. 18.4.7).

Комплекс программ разработан для условий обустройства уступа по квадратной сетке и для порядного взрывания скважинных зарядов. Для других условий обустройства уступа и схем взрывания должны быть разработаны параллельные узлы программы. Принципиальных трудностей на пути разработки параллельных узлов нет, хотя их разработка достаточно громоздка. Программа может использоваться для расчетов развала при разных высотах уступа.

Проверочные эксперименты проводили в карьере Михайловского ГОКа. Фактическую форму и параметров развала осуществляли с использованием основных приемов маркшейдерской съемки, применяемой на МГОКе.

Маркшейдерская съемка проводилась маркшейдерской службой карьера Михайловского ГОКа по нашей просьбе с учетом пожеланий Копылова С.В. и его научного руководителя Казакова Н.Н.

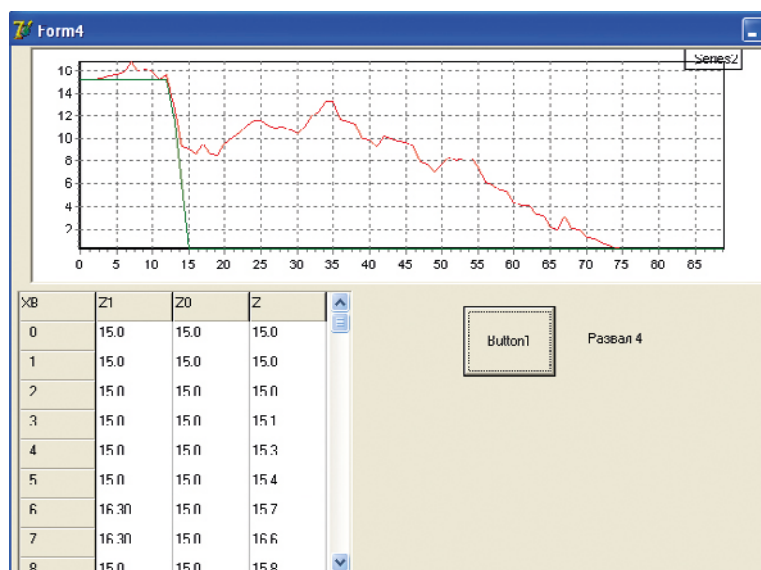


Рис. 18.4.7. Компьютерный контур развала

На развале взорванной горной массы были установлены пикеты в характерных точках. При съемке пикета на точку ставится отражатель. При наведении объектива на отражатель нажимали специальную кнопку, расположенную на клавиатуре тахеометра. В это время луч света, отраженный зеркальной призмой, попадает в объектив тахеометра, тем самым засекая пикет. Вычислительная начинка тахеометра засекает скорость прохождения луча света, длину волны, время прихода луча от зеркала до объектива. После обработки данных на дисплее высвечиваются линейные величины (перечень необходимых величин, которые необходимо получить при съемке выбирается до съемки). Отснятые величины автоматически записываются на карту памяти в виде шифр-кодировки.

Наглядное изображение фрагмента маркшейдерской съемки участка карьера Михайловского ГОКа представлена на рис. 18.4.8.

Экспериментальные маркшейдерские замеры были проведены по нашей просьбе и с учетом наших пожеланий маркшейдерской службой Михайловского ГОКа.

Было проведено 11 серий экспериментов. Каждая серия проводилась на конкретном взрываемом блоке.

Эксперименты проводились в различных частях карьера с целью усреднения данных в зависимости от геологии блоков.

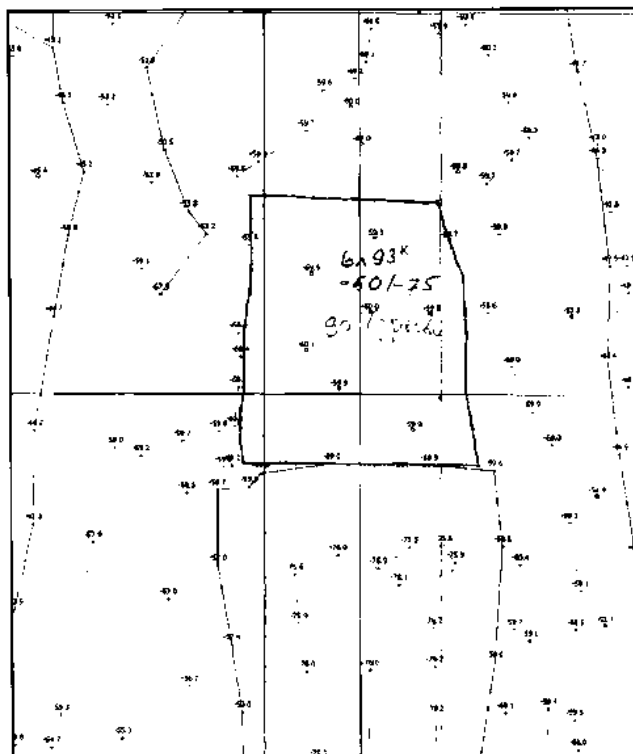


Рис. 18.4.8. Фрагмент маркшейдерской съемки

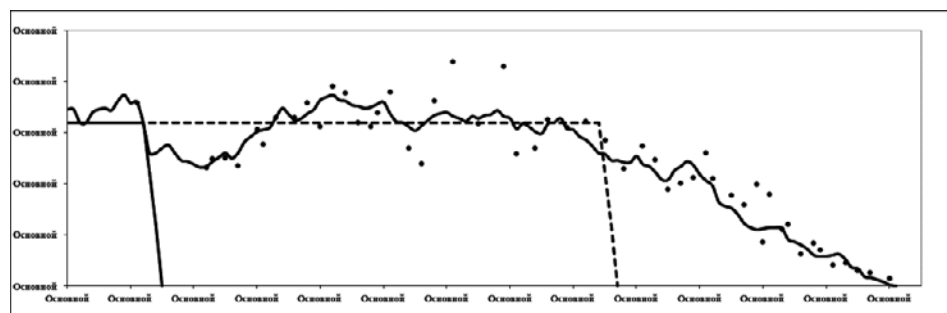


Рис. 18.4.9. Экспериментальная форма развала на блоке 93к

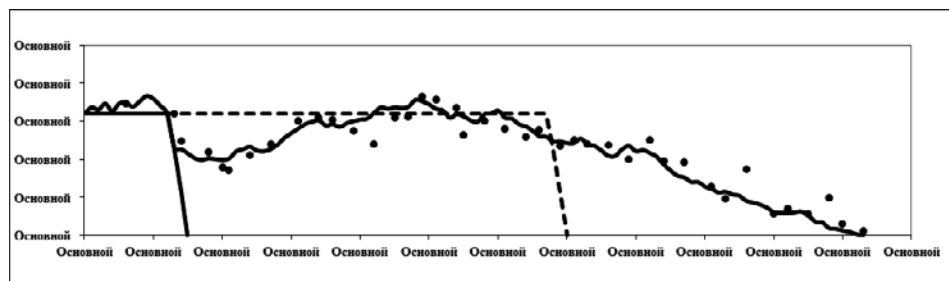


Рис. 18.4.10. Экспериментальная форма развала на блоке 91к

По блоку были выполнены измерения по пяти сечениям. Экспериментальные точки всех пяти сечений нанесены на поперечный разрез развала на этом блоке (рис. 18.4.9).

В каждой серии по развалу породы намечалось 5–6 сечений, вдоль которых выставлялись пикеты. Серия экспериментов проводилась на блоке 93к горизонта –60/–75.

В геологическом строении блок представляют неокисленные кварциты гематит-магнетитового состава, зеленовато-серые, среднеполосчатые, полосчатые, мелкозернистые.

В их составе присутствует зеленая слюда в виде прослоев мощностью до 1 мм, иногда по трещинам и слоистости наблюдается более мощные прослои, к которым приурочены зерна пирита размером до 0,7 см (сульфиды). Прожилки в основном кварцевом составе расположены как по слоистости, так и секущие слоистость под разными углами мощностью 3 мм. Категория буримости 17, категория взрываемости — V.

Число взрываемых рядов на данном экспериментальном блоке — 8.

Тип ВВ — гранэмит. $Q_{\text{взр}} = 801$ ккал/кг.

Исходя из рис. 18.4.9, мы можем определить наиболее характерные параметры развала. Экспериментальная форма развала достаточно хорошо описывается полиномом 6-й степени. Величина достоверности аппроксимации составляет 0,9453. Высота развала на экспериментальном блоке составила 22 м. Ширина развала учитывает также и ширину блока, поэтому в данном случае мы будем отталкиваться от дальности выброса. Именно дальность выброса определяет безопасные расстояния для людей, механизмов и коммуникаций. В данном эксперименте дальность выброса составила 45 м. Передняя часть развала монотонно убывает до нуля. За точкой максимальной высоты развала наблюдается понижение высоты развала. Минимальная точка высоты развала перед невзорванным блоком составляет 2,5 м. В эксперименте наблюдается обратный выброс взорванной горной массы. Совпадение расчетных и экспериментальных значений оценивали, исходя из корреляционного отношения, которое в данном случае равно $\Theta = 0,82$. На графике сплошной линией нанесена расчетная кривая верхнего контура развала.

Серия экспериментов проведена на блоке 91к горизонта –13/–30. По блоку были выполнены измерения по 6-ти разрезам (рис. 18.4.10). Данная серия экспериментов отличается от предыдущей количеством взрываемых

рядов. В данном эксперименте число рядов равно 6-ти. Высота развала на данном экспериментальном блоке составила 22 м.

Дальность выброса составила 80 м. Передняя часть развала монотонно убывает до нуля. За точкой максимальной высоты развала наблюдается понижение высоты развала. Минимальная точка высоты развала перед невзорванным блоком составляет 4 м. В эксперименте наблюдается обратный выброс взорванной горной массы. На рис. 10 точками нанесены экспериментально замеренные высотные отметки поверхности развала.

Таблица 18.4.1.

Расчетные и экспериментальные значения параметров развала по опытным блокам

№ блока	Высота развала, м	Дальность выброса, м	Корреляционное отношение Θ
Блок 93к. Горизонт -60/-75	$\frac{18,3}{22}$	$\frac{44}{45}$	0,82
Блок 91к. Горизонт -13/-30	$\frac{16,5}{22}$	$\frac{43}{40}$	0,84
Блок 5. Горизонт 108/95	$\frac{19,9}{21}$	$\frac{53}{56}$	0,81
Блок 78к. Горизонт 30/15	$\frac{22,9}{24}$	$\frac{52}{50}$	0,79
Блок 76к. Горизонт -13/-30	$\frac{19,6}{23}$	$\frac{52}{54}$	0,82
Блок 72к. Горизонт 30/15	$\frac{20,4}{22}$	$\frac{44}{48}$	0,85
Блок 74к. Горизонт -60/-75	$\frac{20,8}{22}$	$\frac{45}{50}$	0,83
Блок 41к. Горизонт 15/0	$\frac{21,3}{23}$	$\frac{49}{52}$	0,86
Блок 42к. Горизонт 0/-15	$\frac{19,1}{21}$	$\frac{52}{56}$	0,81
Блок 47к. Горизонт -45/-60	$\frac{19,9}{20}$	$\frac{53}{55}$	0,84
Блок 52к. Горизонт 15/0	$\frac{20,6}{22}$	$\frac{51}{53}$	0,83

Сплошной линией проведена расчетная кривая поверхности развала. Совпадение экспериментальных и расчетных значений определяется по корреляционному отношению, которое в данном случае равно $\Theta = 0,84$.

Экспериментальные значения высоты и ширины развала определяли по кривым полиномы шестой степени, которыми аппроксимировали экспериментальные точки с достоверностью 0,9265–0,9659.

В таблице 18.3.1 представлены расчетные и экспериментальные значения высоты и ширины развала по всем опытным блокам Михайловского ГОКа, на которых нами проводились экспериментальные замеры.

Примечание: в числители дроби расчетные значения, в знаменателе — экспериментальные.

При обработке данных, полученных экспериментальным путем, использовался компьютерный метод обработки, применяемый на МГОКе.

Комплекс компьютерных программ «Развал» запатентован. Патент № 2010611260.

Часть компьютерной программы «Развал» представлена в приложении монографии. Приложение 7.

Глава 19. Особенности детонации скважинных промышленных зарядов в карьерах

19.1. Об изготовлении и применении взрывчатых веществ на горных предприятиях

Современный этап развития буровзрывных работ на горных предприятиях характеризуется заменой дорогостоящих и опасных в обращении тротилсодержащих мелкодисперсных взрывчатых веществ (ВВ) заводского производства на ВВ местного изготовления: гранулированные, водосодержащие, эмульсионные и суспензионные смеси типа «окислитель – горючее» на основе нитрата аммония.

В настоящее время большинство крупных горных предприятий сами изготавливают взрывчатые вещества. Взрывчатые вещества местного изготовления дешевле заводских, безопаснее, допускают комплексную механизацию работ, связанных с их изготовлением, доставкой в карьер и заряданием скважин.

При наличии воды в скважинах компоненты взрывчатых веществ местного изготовления частично растворяются. Раствор опускается в нижнюю часть скважины. Уменьшается высота колонки промышленного заряда. Нарушается равномерность перемешивания компонентов в скважинном заряде.

Проблема борьбы с обводненностью успешно решается при использовании эмульсионных взрывчатых веществ, обладающих хорошей водоустойчивостью. Но когда в эмульсионные взрывчатые вещества стали добавлять более дешевый игданит и изготавливать взрывчатые вещества типа эмуланов, вновь проявилось негативное влияние обводненности скважин.

Промышленные взрывчатые вещества заводского изготовления имеют постоянные значения теплоты взрыва, скорости детонации, значения критического диаметра детонации. Цифровые значения этих свойств представлены в справочной литературе и используются при проектировании параметров буровзрывных работ.

В зарядах взрывчатых веществ местного изготовления значения теплоты взрыва, скорости детонации, критического диаметра детонации изменяются в зависимости от выбираемых компонентов, условий изготовления ВВ, зарядания и взрывания. На их изменение существенное влияние оказывают негативные факторы, порождаемые горно-геологическими и технологическими условиями конкретных предприятий.

Принято считать, что промышленные скважинные заряды из взрывчатых веществ местного приготовления имеют постоянную скорость детонации вдоль скважинного заряда. Но это не так. Методы измерения скорости детонации промышленных зарядов из взрывчатых веществ местного приготовления, применявшиеся при измерении скорости детонации заводских взрывчатых веществ, дают возможность определять лишь среднюю скорость детонации на участке измеряемой базы. Однако при решении ряда физических, технологических и экономических проблем важно знать изменение режима и скорости детонации вдоль скважинного заряда в карьерах.

19.2. О методах определения детонационных характеристик взрывчатых веществ

Скорость детонации следует рассматривать как один из наиболее важных параметров детонации, который можно считать критерием при оценке эффективности детонации скважинного заряда. В полигонных условиях определяют полноту детонации в трубах и реже — среднюю скорость детонации по базе измерения. Но диаметр труб меньше диаметра скважин. Условия детонации зарядов в трубах сильно отличаются от условий их взрывания в скважинах. Поэтому результаты полигонных определений этих параметров недостаточно надежны.

Измерением скорости детонации в зарядах при разрушении горных пород и др. материалов занимались многие ученые как в нашей стране, так и за рубежом.

Существует достаточно много методов измерения скорости детонации: дискретный, с использованием электроконтактных или ионизационных датчиков, осциллографический, фотографический, оптический, рентгенографический, реостатный, оптоволоконный, лазерный, подробно описанных в литературе. Однако кроме реостатного остальные методы сегодня практически не могут применяться для измерения скорости детонации в реальных скважинных зарядах на горных предприятиях. Но использование реостатного метода удлиненных незащищенных датчиков может привести к регистрации помех, которые могут иметь место при детонации ВВ, в связи с этим методы измерения скорости детонации в скважинных зарядах нуждаются в дальнейшем совершенствовании.

Измерение скорости детонации в скважинном заряде сопровождается рядом явлений, которые значительно усложняют организацию и проведение экспериментальных работ по сравнению с измерением скорости детонации в лабораторных условиях.

Добрынин И.А. в рамках своей кандидатской диссертации, которую он выполнял под научным руководством Казакова Н.Н., выполнил большой объем экспериментальных работ по измерению скорости детонации в полигонных условиях и в условиях горных предприятий.



Рис. 19.2.1. Многоинтервальный измеритель скорости детонации ZBS-10

Эксперименты проводили в полигонных условиях Института проблем химической физики РАН (ИПХФ РАН), ФГУП «Муромский приборостроительный завод», ФГУП «Завод им. Морозова», ООО «Азот-Черниговец», а также в Киргизии на полигоне Камбаратинской ГЭС-2.

Для измерений использовали программируемый цифровой измеритель скорости детонации ZBS-10 (рис. 19.2.1).

Основными блоками прибора являются: компьютер серии «MCS-51as nuclear parts» и кварцевый генератор с несущей частотой 10 МГц. 10-канальный высокоскоростной счетчик позволяет проводить измерения одновременно на 10-ти базах. Прибор имеет контрольные и разные прикладные программы. В результате автоматической обработки данных на экране ZBS-10 высвечиваются время прохождения волной расстояния между двумя соседними датчиками (база измерений), скорость детонации D и стандартное отклонение S от среднего значения по всем базам.

Измеритель может работать от сети постоянного и переменного тока, что позволяет использовать его как в лабораторных, так и в промышленных условиях.

Основные характеристики прибора ZBS-10 (Китай):

- база измерений от 0,1 мм до 999,9 мм;
- несущая частота 10 МГц, точность задания частоты $4 \cdot 10^{-5}$;
- измеряемый временной диапазон при исследовании детонационных процессов от 0,1 ms до 6553,5 ms;
- два способа срабатывания датчиков: за счет замыкания и за счет размыкания.

Отработку методов измерений скорости детонации проводили с использованием зарядов следующих ПВВ: аммонит 6ЖВ патронированный, тротил чешуированный, гранулолitol марки «Б», гексонит Д, гранулит РП. Помимо ПВВ, измерение скорости детонации проводили на детонирующем шнуре ДШЭ-12.

На первом этапе отработку методики измерений скорости детонации проводили в ИПХФ РАН.

Целью лабораторно-полигонных работ было решение следующих задач:

- освоение прибора ZBS-10, отработка методики измерений;
- сверка показаний прибора с показаниями высокоточного цифрового запоминающего осциллографа С9-8;
 - проверка работоспособности прибора при использовании:
 - а) одножильных проводов длиной 30 м;
 - б) экранированного коаксиального кабеля длиной 100 м;
 - в) экранированного кабеля длиной 250 м.
 - проверка работоспособности прибора при использовании двух типов датчиков:
 - а) «проволочные» лабораторного изготовления;
 - б) «капсюльные» заводского изготовления.

На основании данных, полученных в опытах, можно сделать вывод, что прибор ZBS-10 позволяет проводить измерения с хорошей точностью, стабильно работает с датчиками разных типов как при подключении датчиков через одножильные провода, так и через коаксиальный кабель различной длины.

Измерения скорости детонации в удлиненном заряде чешуированного тротила в стальной оболочке показали надежную работу ZBS-10 с большим количеством датчиков, установленных в металлической оболочке, в т. ч. при низких скоростях фронта, которые наиболее часто встречаются при определении критического диаметра детонации промышленных ВВ и при недостаточно эффективном инициировании ПВВ с низкой ударно-волновой чувствительностью.

Измерения скорости детонации в заряде обводненного гранулолита показали надежную работу прибора ZBS-10 и капсюльных датчиков в условиях эксперимента. Следует отметить несколько больший разброс значений скорости, получаемых в одном опыте при использовании капсюльных датчиков по сравнению с проволочными, что объясняется их конструктивными особенностями, однако, по мнению специалистов ИПХФ РАН, это не должно сказываться на точности измерений прибором ZBS-10 при использовании больших баз. Однако конструкцию капсюльных датчиков было решено усовершенствовать.

Измерение скорости детонации в трубчатых зарядах гексонита Д показали, что прибор ZBS-10 может надежно фиксировать моменты затухания детонации в зарядах, диаметры которых близки к критическим. Данное обстоятельство подтверждено визуальным обследованием отказавших трубчатых зарядов гексонита Д диаметром 39–40 мм в опытах на полноту и передачу детонации, проведенных в ФГУП «Завод им. Морозова».

Измерения скорости детонации на отрезках детонирующего шнура показали надежную работу прибора ZBS-10 при скоростях от 6215 м/с до 7390 м/с. Достаточно большой разброс полученных данных можно объяснить или конструктивными особенностями капсюльного датчика, конструкцию которого усовершенствовали перед следующим этапом экспериментов, или качеством детонирующего шнура, например, разнотолщинностью его сердцевины.

В результате опытов, проведенных на полигонах: ИПХФ РАН, ФГУП «Завод им. Морозова», ФГУП «Муромский приборостроительный завод» и ООО «Азот-Черниговец», отработана методика определения скорости распространения фронта при различных режимах взрывчатых превращений в опытных образцах зарядов и отрезках детонирующего шнура с использованием прибора ZBS-10 с датчиками различных конструкций. Подтверждена возможность регистрации скорости затухающих процессов и нормальной детонации, максимальное значение которой, зафиксированной в опытах, составило 7390 м/с.

Измерение скорости детонации в опытных зарядах большой массы гранулита РП с применением прибора АЦП «Е-440», используемого для измерения скорости детонации на полигоне Камбаратинской ГЭС-2, подтвердила возможность применения разработанной методики для изучения детонационных процессов в достаточно крупных опытных зарядах, формируемых, например, из нескольких стандартных мешков ВВ. При этом было установлено, что в открытых зарядах гранулита РП массой 120–200 кг длина участка разгона инициирующей ударной волны зависит от массы промежуточного детонатора.

За период 2005–2007 гг. измерения скорости детонации в скважинных зарядах были проведены Добрыниным И.А. в карьерах и разрезах следующих

предприятий: ЗАО «Каменногорское карьероуправление», ЗАО «Каменногорский комбинат нерудных материалов», ЗАО «Черниговец», ООО «Барзасский карьер», ОАО «Павловскгранит», ОАО «Кубанский гипс-Кнауф», ООО СП «Барзасское товарищество», ОАО «Разрез Киселёвский» и ООО «Кемеровский каменный карьер», расположенных в Воронежской, Кемеровской, Ленинградской областях и Краснодарском крае.

Работы выполняли в соответствии с разработанной «Методикой измерения скорости детонации в зарядах промышленных взрывчатых веществ с помощью датчика «ДПИД» (ТУ 4314-018-54634296-2006)».

При разработке методики был учтен опыт проведения и организации экспериментов в подобных условиях. В частности, на наш взгляд, было важно учесть негативные моменты, которые могут возникать во время заряжания скважин ЭВВ, например, из-за всплытия, смещения ПД относительно проектной точки или из-за смешивания ЭВВ с продуктами бурения и др.

Методика проведения экспериментальных работ по измерению скорости детонации в скважинных зарядах при проведении массовых взрывов с рекомендациями была разработана автором, содержит 18 страниц и перед проведением экспериментов в производственных условиях была согласована с ООО «Азот-Черниговец» и утверждена ЗАО «Институт взрыва».

Измерение скорости детонации в скважинах сопряжено с большими организационными трудностями, со сложностью сохранения приборов, с отсутствием надежных датчиков и несовершенством регистрирующей аппаратуры. В скважинах, как правило, измеряют среднюю скорость детонации по одной-двум базам измерения.

Монтаж датчиков выполняется на шнуре из неэлектропроводящего материала. Датчики крепят к шнуру с помощью тонкой липкой ленты. Их концевые провода вытянуты в сторону устья скважины.

Расстояние между датчиками определяется, исходя из возможностей измерительного прибора и условий эксперимента.

Устанавливается гирлянда с датчиками в скважинном заряде так, чтобы датчики находились выше точки инициирования (рис. 19.2.2).

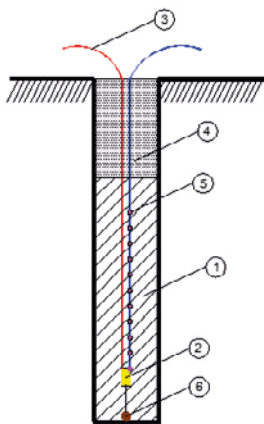


Рис. 19.2.2. Конструкция скважинного заряда: 1 – взрывчатое вещество; 2 – промежуточный детонатор; 3 – волновод; 4 – забойка; 5 – датчик «ДПИД»; 6 – груз

Для инициирования промежуточного детонатора использовалась неэлектрическая система инициирования.

Во время экспериментов ЭВВ заряжали как в сухие, так и в обводненные скважины диаметром от 203 до 228 мм. ВВ типа «игданит» заряжали только в сухие скважины диаметром от 105 до 228 мм.

Наибольшее количество измерений было сделано в скважинных зарядах «нитронит» (ТУ 7276-003-58995878-2004), разработка ЗАО «Азот-Взрыв». Эмульсионную матрицу ЭВВ «нитронит» изготавливали на эмульсионном заводе модульного типа. При изготовлении ЭВВ использовали газогенерирующие добавки (ГГД) различных рецептур. Заряжание скважин производили с помощью смесительно-зарядных машин (СЗМ) в основном типа «трейдстар».

ВВ типа «игданит» готовили в СЗМ путем смешивания пористой (ПАС) и/или плотной (АС) аммиачной селитры по ГОСТ 2-85 с дизельным топливом или маслом моторным отработанным (ММО).

Для инициирования ЭВВ использовали промежуточный детонатор разной массы и формы (удлиненная и сосредоточенная). Промежуточный детонатор формировали из шашек-детонаторов в основном типа ПТ-П (ТУ 7288-036-07511608). Промежуточный детонатор удлиненной формы готовили путем установки шашек друг на друга, стыкуя их между собой основаниями.

При формировании сосредоточенных зарядов (условно) промежуточный детонатор шашки ПТ-П устанавливали на горизонтальной плоскости и скрепляли между собой так, чтобы их боковые стороны плотно примыкали друг к другу. Масса промежуточного детонатора в экспериментах составляла от 0,3 до 5 кг.

В качестве промежуточного детонатора для инициирования скважинных зарядов игданита применяли в основном аммонит 6ЖВ массой от 0,5 до 6 кг, а также шашки-детонаторы ПТ-П – в отдельных экспериментах для сравнения.

Измерения скорости детонации были проведены в более восьмидесяти скважинных зарядах.

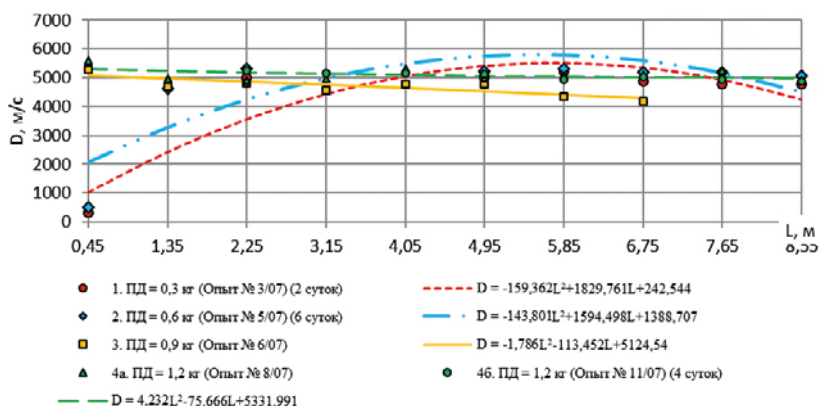


Рис. 19.2.3. Изменение скорости детонации ЭВВ нитронит Э 70 по длине скважинных зарядов (ПД – промежуточный детонатор; D – скорость детонации, м/с; L – расстояние от ПД, м)

На рис. 19.2.3 представлены результаты опытов по измерению скорости детонации в обводненных скважинных зарядах нитронита Э-50. Скорость детонации вдоль промышленного заряда во всех опытах изменялась существенно по индивидуальным закономерностям.

На рис. 19.2.4 представлены результаты опытов по измерению скорости детонации в обводненных скважинных зарядах нитронита Э-50 на основе эмульсии «порэмит» марки 1 ИМН при использовании ГГД на основе $[\text{NaNO}]_2$ (25%). В опыте № 9/05 ПАС была заменена на АС с целью сравнения. Диаметр скважин составлял 216 мм, кроме опыта 3/06, в котором была использована скважина диаметром 203 мм.

Скважинные заряды находились в воде от одной смены (8 часов) до двух суток. Высота столба воды в скважине была от 1 до 7 м. Заряды инициировали промежуточным детонатором удлиненной формы, масса которых составляла от 1,5 до 5,0 кг.

Анализ результатов показал, что скважинные воды оказали флегматизирующее действие на ударно-волновую чувствительность нитронита Э-50 независимо от состава рецептур. Во всех опытах был зафиксирован достаточно протяженный участок разгона инициирующей ударной волны.

Просматривается зависимость развития детонационного процесса в скважинном заряде от массы промежуточного детонатора удлиненной формы. Иницирование скважинного заряда нитронита Э-50 при помощи промежуточного детонатора массой 1,5 и 2 кг привело к затуханию детонации. Применение промежуточного детонатора массой 3 и 5 кг обеспечило детонационный процесс во всей измеряемой колонке скважинного заряда.

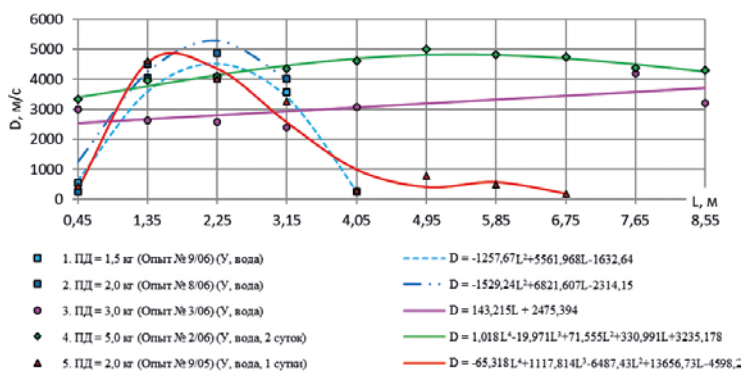


Рис. 19.2.4. Изменение скорости детонации ЭВВ нитронит Э-50 и аналога нитронита Э-50 по длине скважинных зарядов (ПД – промежуточный детонатор; D – скорость детонации, м/с; L – расстояние от ПД, м)

Однако при промежуточном детонаторе массой 3 кг скорость детонации скважинного заряда оказалась гораздо ниже, чем в случае применения промежуточного детонатора массой 5 кг, при этом значения средней и максимальной скорости детонации в зарядах соответственно составили 3037 и 4355 м/с; 4376 и 4997 м/с.

Во всех экспериментах скорость детонации по длине промышленных зарядов в скважинах изменялась с разной интенсивностью.

19.3. Методика экспериментальных работ в Михайловском карьере

В настоящее время в карьере ОАО «Михайловский ГОК» широко применяются эмульсионные взрывчатые вещества, изготавливаемые в процессе зарядания скважин. С целью снижения стоимости зарядов в состав эмульсионного взрывчатого вещества добавляют 30%, 50% и 70% смеси АС-ДТ.

Главные достоинства эмульсионных взрывчатых веществ: относительно низкая себестоимость и безопасность; возможность комплексной механизации всех технологических операций по доставке, хранению, подготовке компонентов, приготовлению ВВ и заряданию скважин; стабильность детонационных характеристик; водоустойчивость.

Введение в состав промышленных зарядов эмульсионных ВВ смесей АС-ДТ еще больше снижает их стоимость, но поражает частично достоинства эмульсионных ВВ: их детонационные характеристики теряют стабильность; заряды ВВ в скважинах становятся менее водоустойчивыми.

Рациональный режим и полнота детонации скважинных зарядов в карьере могут быть экспериментально определены регистрацией скорости детонации ВВ по длине заряда.

В 2015 году в карьере Михайловского ГОКа были проведены масштабные эксперименты по определению скорости детонации промышленных зарядов непосредственно в карьерных скважинах.

В планировании, выполнении экспериментальных работ, в обработке экспериментальных результатов, в их анализе и в написании отчета принимали участие: научный руководитель работы, зам. директора ИПКОН РАН, проф., д.т.н. С.Д. Викторов, ведущий научный сотрудник ИПКОН РАН, д.т.н. Н.Н. Казаков, старший научный сотрудник ИПКОН РАН, к.т.н. А.Е. Франтов, старший научный сотрудник ИПКОН РАН, к.т.н. Н.Н. Ефремовцев, научный сотрудник ИПКОН РАН, к.т.н. И.Н. Лапиков.

В этой главе используются только материалы, подготовленные, выполненные, проанализированные, написанные для отчета Н.Н. Казаковым и утвержденные научным руководителем работы.

Цель работ по договору № 141376 от 26.08.2014 г. формулируется следующим образом. Выполнить экспериментальные измерения режима и полноты детонации в рабочих скважинах по длине зарядов эмульсионных взрывчатых веществ с добавками АС-ДТ, применяемых в Михайловском карьере. Проверить экспериментально, имеет ли место в карьере выброс в распыленном виде части скважинных зарядов в атмосферу с их догоранием в пылегазовом облаке без участия распыленной части заряда в процессе дробления породы взрывом.

По результатам проведения экспериментальных работ, обработки и анализа результатов измерений оформляется отчет с рекомендациями по необходимым условиям полной детонации скважинных зарядов эмульсионных взрывчатых веществ в рациональном режиме в реальных условиях Михайловского карьера.

Планируется проведение экспериментов в Михайловском карьере, на рабочих уступах карьера, на блоках, входящих в число блоков, включенных

в очередной массовый взрыв в карьере. Из числа подготавливаемых к массовому взрыву блоков представитель Исполнителя выбирает, по согласованию с руководством взрывного комплекса, один блок в качестве опытного.

На опытном блоке представитель Исполнителя выбирает группу компактно расположенных опытных скважин (5–10 скважин).

Никаких требований по изменению проектной документации по выбранному блоку, требований по обурированию блока, требований по заряданию блока и взрыванию зарядов Исполнитель не предъявляет. Требования могут предъявляться только по времени зарядания и взрывания отдельных скважин. Все остальные работы выполняются в принятом на карьере режиме.

Изготовление и зарядание эмульсионных взрывчатых веществ осуществляется с использованием допущенного Ростехнадзором и имеющегося на ОАО «Михайловский ГОК» оборудования.

Проектирование взрывных работ на опытных блоках, зарядание скважин и монтаж взрывной сети, осуществляет ОАО «Михайловский ГОК». Представители ИПКОН РАН прокладывают регистрационный кабель в опытных скважинах, устанавливают регистрирующую аппаратуру, присутствуют на опытном блоке при зарядании опытных скважин, производят регистрацию параметров, характеризующих режим детонации зарядов. Замеры производит представитель ИПКОН РАН.

Руководство взрывного комплекса, геологического и маркшейдерского отделов рудоуправления обеспечивают режим наибольшего благоприятствования при сборе сотрудниками ИПКОН РАН необходимой информации для объективного и глубокого анализа экспериментальных результатов.

Комплекующие, расходные материалы и измерительное оборудование, необходимые для проведения замеров, предоставляет ИПКОН РАН.

Ответственным за хранение расходных материалов, за зарядание и взрывание зарядов, за проведение инструктажа по технике безопасности является ОАО «Михайловский ГОК».

Экспериментальные измерения планируется провести в первом квартале 2015 года при отрицательных температурах окружающей среды и во втором квартале 2015 года при положительных температурах окружающей среды.

Планируется выполнить 4 серии измерений, при выполнении которых измерения будут сделаны в 40 скважинах. Каждая серия измерений выполняется на одном блоке при проведении массового взрыва. Опытные скважины выбираются из числа запроектированных скважин. Опытные скважины должны быть расположены компактно на одном участке обуренного блока.

В каждой серии заряжаются 10 опытных скважин. Из них 8 скважин заряжаются эмульсионным ВВ с добавками АС-ДТ, 2 скважины заряжаются штатным ВВ.

Первая и вторая серии проводятся в январе-феврале 2015 года при отрицательных температурах окружающей среды.

В первой серии 8 опытных скважин заряжаются **гранэмитом И-30**, в состав которого по регламенту вводится 30% гранулита-игданита (смеси АС-ДТ); 2 скважины заряжаются любым штатным ВВ.

Горно-геологические условия опытного блока, параметры ВВ и зарядов, условия зарядания, время стояния заряда в каждой скважине, результаты

измерений будут фиксироваться Исполнителем в формах № 1, № 2 и № 3 рабочего журнала. Формы приведены ниже.

В результате экспериментальных работ первой серии будут получены 10 цифровых таблиц регистрируемых прибором параметров (по одной таблице для каждой скважины) и 10 графиков изменения скорости детонации вдоль скважинного заряда (по одному графику для каждой скважины).

Во второй серии 8 опытных скважин заряжаются **гранэмитом И-50**, в состав которого по регламенту вводится 50% гранулита-игданита (смеси АС-ДТ); 2 скважины заряжаются любым штатным ВВ.

Опытный блок второй серии экспериментов выбирается в любых горно-геологических условиях. В качестве опытных **выбираются скважины с другим диаметром, чем в первой серии. Это условие должно обязательно выполняться.**

Горно-геологические условия опытного блока, параметры ВВ и зарядов, условия заряжания, время стояния заряда в каждой скважине, результаты измерений будут фиксироваться Исполнителем в формах № 1, № 2 и № 3 рабочего журнала. Исполнитель привозит в ИПКОН копии «Схемы обустройства блока» и «Схемы фактического положения обуренных скважин на блоке».

В результате экспериментальных работ второй серии будут получены 10 цифровых таблиц регистрируемых прибором параметров (по одной таблице для каждой скважины) и 10 графиков изменения скорости детонации вдоль скважинного заряда (по одному графику для каждой скважины).

Третья и четвертая серии проводятся в апреле-мае 2015 года при положительных температурах окружающей среды.

В третьей серии 8 опытных скважин заряжаются **гранэмитом И-30**, в состав которого по регламенту вводится 30% гранулита-игданита (смеси АС-ДТ); 2 скважины заряжаются любым штатным ВВ.

Горно-геологические условия опытного блока, параметры ВВ и зарядов, условия заряжания, время стояния заряда в каждой скважине, результаты измерений будут фиксироваться Исполнителем в формах № 1, № 2 и № 3 рабочего журнала. Исполнитель привозит в ИПКОН копии «Схемы обустройства блока» и «Схемы фактического положения обуренных скважин на блоке».

В результате экспериментальных работ третьей серии будут получены 10 цифровых таблиц регистрируемых прибором параметров (по одной таблице для каждой скважины) и 10 графиков изменения скорости детонации вдоль скважинного заряда (по одному графику для каждой скважины).

В четвертой серии 8 опытных скважин заряжаются **гранэмитом И-50**, в состав которого по регламенту вводится 50% гранулита-игданита (смеси АС-ДТ); 2 скважины заряжаются любым штатным ВВ.

Опытный блок четвертой серии экспериментов выбирается в любых горно-геологических условиях. В качестве опытных **выбираются скважины с другим диаметром, чем в третьей серии. Это условие должно обязательно выполняться.**

Горно-геологические условия опытного блока, параметры ВВ и зарядов, условия заряжания, время стояния заряда в каждой скважине, результаты

измерений будут фиксироваться Исполнителем в разработанных формах № 1, № 2 и № 3 рабочего журнала. Исполнитель привозит в ИПКОН копии «Схемы обустройства блока» и «Схемы фактического положения обуренных скважин на блоке».

В результате экспериментальных работ четвертой серии будут получены 10 цифровых таблиц регистрируемых прибором параметров (по одной таблице для каждой скважины) и 10 графиков изменения скорости детонации вдоль скважинного заряда (по одному графику для каждой скважины).

Пятая серия желательна, если гранэмит И-70, в состав которого вводится 70% гранулит-игданита (смеси АС-ДТ), **применяется в Михайловском карьере**. В качестве пятой серии можно использовать часть скважин на опытном блоке третьей или четвертой серии.

Во всех сериях эмульсионные ВВ должны заряжаться в скважины за установленное количество дней до взрыва. Заряды из эмульсионных ВВ с добавками игданита, простоявшие в скважине десять дней, имеют совсем другие детонационные характеристики, чем заряды, простоявшие в скважине один день. Заряжание опытных скважин производится только в присутствии Исполнителя, который обязательно фиксирует в своем журнале тип ВВ и время заряжания скважины, основные характеристики заряда и взрывчатого вещества.



Рис. 19.3.1. Измеритель скорости детонации марки TLCSpeedVOD

Полученный экспериментальный материал по четырём сериям экспериментов совместно с материалами таблиц № 1, № 2 и № 3 для каждой серии

даст возможность выполнить анализ изменения режимов детонации зарядов ВВ в самых разных сочетаниях: в зависимости от погодных условий, от типов горных пород, от вида забойки, от типа газогенерирующей добавки, от диаметра заряда и т. д.

Количество запланированных измерений обеспечивает статистическую достоверность экспериментальных результатов.

Приведены формы в рабочем журнале, аккуратное заполнение которых строго обязательно на всех этапах экспериментальных работ.

Для измерения режима детонации скважинных зарядов используется рефлектометрический измеритель скорости детонации марки TLC Speed VOD производства компании Vibronics Inc., США (рис.19.3.1).

Этот измеритель использует датчик в виде радиочастотного коаксиального кабеля, в нашем случае марки РК-75-3-322 (рис. 19.3.2).



Рис. 19.3.2. радиочастотный коаксиальный кабель марки РК-75-3-322

Регистрирующий кабель устанавливается в скважины непосредственно перед их заряданием. Длина кабеля выбирается из расчета: две глубины скважины + расстояние между скважинами + 15%. Середина кабеля закрепляется непосредственно к боевику или к обломку породы с помощью скотч-ленты.

Исходящие из скважин концы кабеля соединяются между собой последовательно с применением F-соединителей. Каждое соединение должно быть надежно изолировано от попадания воды и буровой пыли.

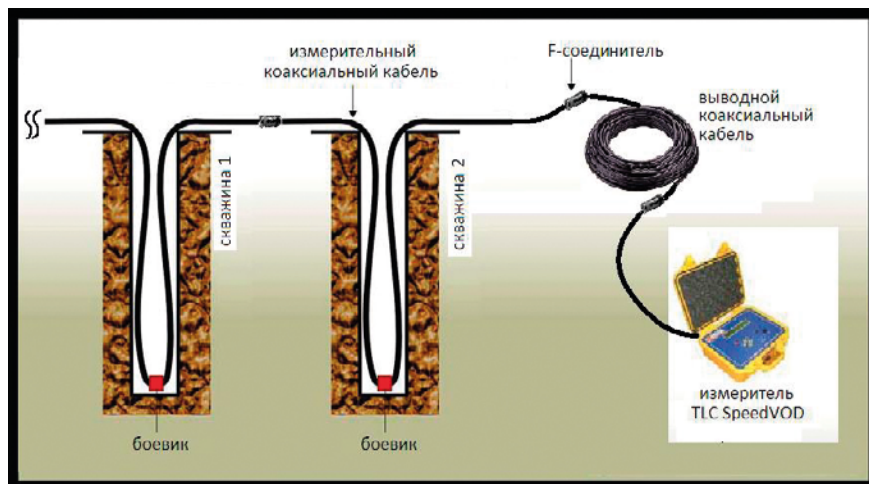


Рис. 19.3.3. Схема установки регистрирующего кабеля

Перед соединением кабель в каждой скважине должен быть проверен на соответствие заявленному сопротивлению. Кабель с несоответствующим сопротивлением является поврежденным и может привести к потере всех данных замера. В этом случае необходимо исключить скважину с этим кабелем из испытания.

Рекомендуется соединять измеряемые скважины непосредственно перед взрывом во избежание повреждения кабеля персоналом и используемой ими техникой.

Сам прибор устанавливается на расстоянии 150–200 м от взрываемого блока. Для защиты от осколков породы накрывается защитным стальным кофром.

Для начала записи прибору необходимо увидеть мгновенное уменьшение кабеля на заранее установленную величину (триггер). Для этого в первой замеряемой скважине длина кабеля составляет: глубина скважины + расстояние между скважинами + длина триггера. Рекомендуемое значение длины триггера — от 15 до 25 м.

Схема соединения датчиков в группе скважин на взрываемом блоке, в котором производится измерение скорости детонации, представлена на рис. 19.3.3. Согласно методике и технических возможностей используемого оборудования для измерения скорости детонации в 10 скважинах необходим блок с 10 рядами скважин, расположенных друг за другом (без пропусков), инициируемых последовательно и с замедлением.

19.4. Результаты первой серии экспериментов

Взрыв первой серии опытных скважинных зарядов был проведен 18 февраля 2015 года на двух опытных блоках, на блоке №10 к горизонта 150/165 и на блоке №7 к горизонта 80/60 в зимнее время при отрицательных температурах воздуха.

В первой серии экспериментов было заряжено эмульсионным взрывчатым веществом И-30 восемь опытных скважинных зарядов. Одна опытная скважина была заряжена взрывчатым веществом ТНТ, вторая скважина заряжена граммонитом 79/21. В серии подготовлено 10 опытных скважинных зарядов.

Форма 1.

**Выбор расположения опытных скважин,
горно-геологические условия экспериментальных результатов**

Блок № _____, Горизонт _____

№ скв. проект.	Диаметр	Глубина	Тип породы	Свойства породы			Обводненность		
	мм	м		Кэф. крепости	Категория трещиноват.	Плотность	Высота столба, м	Вода проточная	Нет воды
5	250	18							

ВНИМАНИЕ. Номер скважины – это присвоенный скважине номер, который сохраняется неизменным во всех документах.

В Михайловском карьере проектные номера скважин и номера фактически пробуренных скважин не совпадают.

Можно в Разработанные формы журналов для заполнения параметров, необходимых для анализа таблиц и других документах проставлять оба этих номера.

Путаница с номерами скважин и блоков в экспериментальных документах делает экспериментальные материалы непригодными для совместного анализа.

Форма 2.

Установка кабеля и зарядание скважин

Блок № _____ Горизонт _____

№ скв. проект.	Дата установки кабеля	Глубина скваж., м	Тип ВВ	Тип газогенерирующей добавки	Высота колонки ВВ, м	Масса скваж. заряда, кг	Длина перебура, м	Длина забойки, м	Тип забойки	Масса боевика, кг	Место установки боевика от дна скваж., м
5		18	И-50								

Внимание. Не допускайте путаницу номеров скважин и блоков в экспериментальных документах

Суммарная длина установленного регистрационного кабеля _____ м

Форма 3.

Установка приборов, взрывание скважин, обработка результатов

Не допускайте путаницу номеров скважин и блоков в экспериментальных документах

Блок № _____, Горизонт _____

№ скв. проект.	Дата установки приборов	Дата взрывания	Тип ВВ	№ таблицы с зарегистрированными параметрами	№ графика изменения скорости детонации в скважине	Визуальная оценка качества дробления, хорошее, удовлетворительное, плохое			Дата установки кабеля на другом блоке
						ИПКОН	Взрывники	Экскаваторщики	
5			И-50						

Пять опытных скважинных зарядов взорвали через 2 дня после зарядания. Номера опытных скважин, условия взрывания зарядов, численные значения элементов конструкции зарядов, тип ВВ и масса зарядов, время зарядания и взрывания представлены в таблицах 1.1 и 1.2.

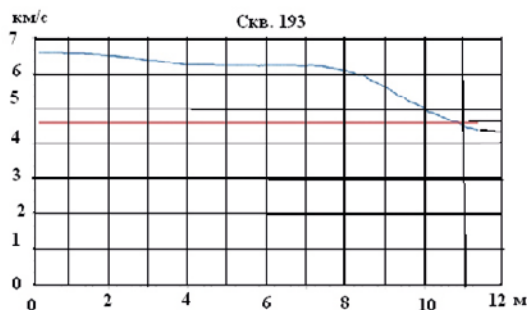


Рис. 19.4.1. Изменение скорости детонации вдоль регистрируемой части заряда в скважине 193

В этой группе при взрывании зарядов в скважинах 160 и 192 записать скорость детонации не удалось. При регистрации скорости детонации в этой группе зарядов использовали измеритель скорости детонации № 1.

Пять опытных скважинных зарядов взорвали через 2 дня после заряжания. Номера опытных скважин, условия взрывания зарядов, численные значения элементов конструкции зарядов, тип ВВ и масса зарядов, время заряжания и взрывания представлены в таблицах 1 и 2.

В этой группе при взрывании зарядов в скважинах 160 и 192 записать скорость детонации не удалось. При регистрации скорости детонации в этой группе зарядов использовали измеритель скорости детонации № 1.

Но во всех трех опытных скважинах скорость детонации не остается постоянной на регистрируемом участке заряда, как это предполагается по техническим условиям на промышленное взрывчатое вещество.

Запись скорости детонации при проведении экспериментов фиксировалась в виде графиков. На рис. 19.4.1; 19.4.2 и 19.4.3 представлены графики изменения скорости детонации вдоль скважинного заряда в скважинах 193, 194 и 195.

На рис. 19.4.1 скважинный заряд тротила детонировал с убывающей скоростью от 6,5 км/с до 4,5 км/с. Режим детонации можно считать рациональным, но не постоянным. Заряд в скважине детонировал в полном объеме.

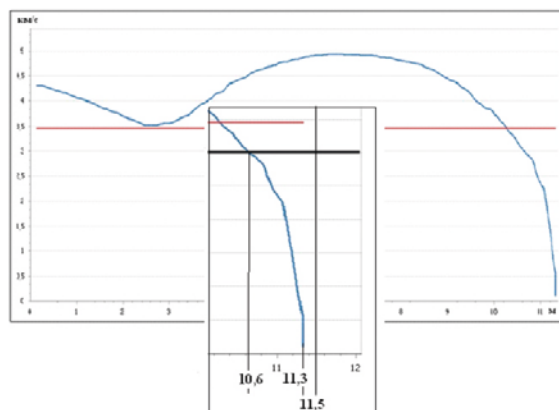


Рис. 19.4.2. Изменение скорости детонации вдоль регистрируемой части заряда в скважине 194

На рис. 19.4.2 представлен график изменения скорости детонации вдоль регистрируемой части заряда И-30 в скважине 194. Скорость детонации причудливо изменяется по длине заряда.

Детонация заряда началась со скоростью 4,3 км/с, затем упала до отметки 3,5 км/с, снова начала возрастать до 5 км/с, а затем интенсивно уменьшаться до полного прекращения детонации за 0,7 м конца заряда.

На поверхность рисунка, со смещением, в более крупном масштабе наложена хвостовая часть записи кривой изменения скорости детонации. На этом наложении четко видно, что рациональный режим детонации (больше 3 км/с) закончился на отметке 10,6 м. Детонация прекратилась на отметке 11,3 м, не дойдя до конца заряда на 0,2 м. На участке от 10,6 м до 11,3 м заряд детонировал в нерациональном режиме.

На рис. 19.4.3 представлен график изменения скорости детонации вдоль регистрируемой части заряда И-30 в скважине 195. Скорость детонации этого заряда изменялась по длине заряда еще более причудливо. Первый метр скважинного заряда практически горел со скоростью меньше 1 км/с. Затем начался интенсивный рост скорости детонации, и на отметке 1,3 м она превысила 3 км/с, вошла в стационарный режим, который продолжался до отметки 4,8 м. Далее скорость детонации интенсивно уменьшалась и прекратилась на отметке 5,5 м. Часть заряда длиной 6,5 м не детонировала. Эта часть заряда выброшена в атмосферу и бесполезно сгорела в пылегазовом облаке.

В таблице 19.4.1 представлены экспериментально зафиксированные параметры детонации в опытных скважинах 193, 194 и 195.

В первых трех столбцах представлены номера скважин, номер блока и глубина скважин. В четвертом столбце в числителе представлена длина колонки заряда, в знаменателе — длина регистрируемой базы от боевика до забойки.

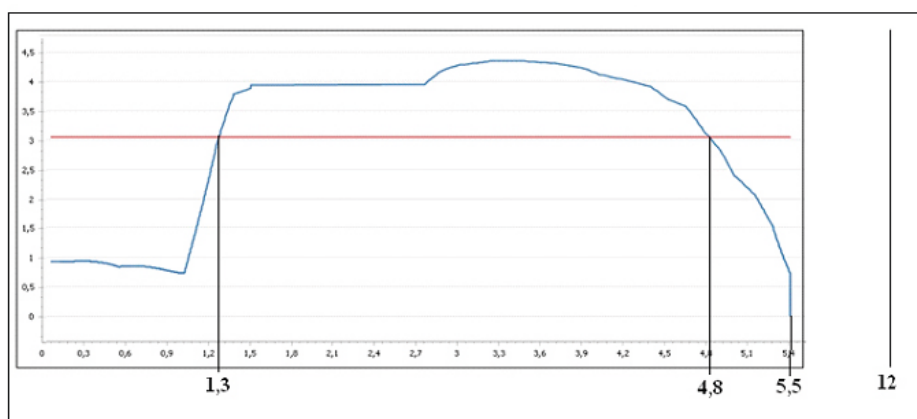


Рис. 19.4.3. Изменение скорости детонации вдоль регистрируемой части заряда в скважине

Таблица 19.4.1.

Экспериментальные параметры детонации зарядов в скважинах 193, 194 и 195

Номер скважин	Номер блока	Глубина скваж., м	Длина колонки и регистрируемой базы, м/м	Рационал. режим, м	Нерацион. режим, м	Не детонирувало, м	Максимальная скорость детонации, км/с
1	2	3	4	5	6	7	8
193	10 к	19	14,5/11,5	11,5	0	0	6,6 (ТНТ)
194	10 к	19,5	14,5/12	10,6	0,7	0,7	5 (И-30)
195	10 к	19,5	14,5/12	3,5	2,0	6,5	5,5 (И-30)

Таблица 19.4.2.

Выбор расположения опытных скважин, горно-геологические условия.**Блок № 10 к. Горизонт-150 /- 165**

№ скв. проект.	Диаметр, мм	Глубина, м	Тип породы	Свойства породы			Обводненность		
				Коеф. крепости	Категория трещиноват.	Плотность	Высота столба, м	Вода проточная	Нет воды
160	250	19,5	Не окисленные кварциты/ гематитмагнетитовые	17	Расст. между трещ. 0,3-0,8 м		18	Нет	
192	250	19,5	Не окисленные кварциты/ гематитмагнетитовые	17	Расст. между трещ. 0,3-0,8 м		18	Нет	
193	250	19	Не окисленные кварциты/ гематитмагнетитовые	17	Расст. между трещ. 0,3-0,8 м		18	Нет	
194	250	19,5	Не окисленные кварциты/ гематитмагнетитовые	17	Расст. между трещ. 0,3-0,8 м		18	Нет	
195	250	19,5	Не окисленные кварциты/ гематитмагнетитовые	17	Расст. между трещ. 0,3-0,8 м		18	Нет	

Таблица 19.4.3.

Установка кабеля и зарядание скважин.**Блок № 10 к. Горизонт -150 /- 165**

№ скв. проект.	Дата установки кабеля	Глубина скваж., м	Тип ВВ	Тип газогенерирующей добавки	Высота колонки ВВ, м	Масса скваж. заряда, кг	Длина перепура, м	Длина забойки, м	Тип забойки	Масса боевика, кг	Место установки боевика от дна скваж., м
160	16.02.2015	19,5	И-30	РЭМ-5	14,5	1001	3,5	5	Гидро	2	2,5
192	16.02.2015	19,5	И-30	РЭМ-5	14,5	1001	3,5	5	Гидро	2	2,5
193	16.02.2015	19	ТНТ	-	14	672	3	5	Гидро	2	2,5
194	16.02.2015	19,5	И-30	ПГТ-С	14,5	1001	3,5	5	Гидро	2	2,5
195	16.02.2015	19,5	И-30	ПГТ-С	14,5	1001	3	5	Гидро	2	2,5

Скважинные заряды взорваны 18.02.2015 г., через 2 дня после зарядания.

В 5-м, 6-м и 7-м столбцах представлены режимы детонации: рациональный, при скорости детонации больше 3 км/с; нерациональный, при скорости детонации 3 км/с и ниже; отсутствие детонации и горения взрывчатого вещества (7-й столбец).

В 8-м столбце представлена максимально достигнутая в скважине скорость детонации. Максимальная скорость детонации реализуется в какой-то точке или на очень коротком отрезке скважинного заряда. В научной литературе, и на практике, и в технических условиях на ВВ принято считать, что скорость детонации в скважине постоянна. Из таблицы 19.4.1 видно, что заряд ТНТ детонировал полностью, в рациональном режиме. Нужно подчеркнуть, что скорость детонации ТНТ в скважинном заряде не была постоянной, а изменялась в диапазоне от 6,6 до 4,8 км/с. Максимальная достигнутая скорость в опытной скважине 6,6 км/с.

Заряды И-30 в скважинах 194 и 195 взорваны в одинаковых условиях, при одинаковых параметрах зарядов и при одинаковых условиях регистрации скорости детонации. Но результаты по режимам детонации получены существенно разные.

В скважине 194 в рациональном режиме детонировало 10,6 м заряда, в нерациональном режиме детонировало 0,7 м заряда. 0,7 м заряда не детонировало и не горело. В скважине 195 в рациональном режиме детонировало 3,5 м заряда, в нерациональном режиме детонировало 2,0 м заряда. 6,5 м заряда не детонировало и не горело.

В таблице 19.4.4 представлены объемы ВВ с разными режимами детонации в скважинах 193, 194 и 195. При расчетах часть заряда, расположенную ниже боевика и не входившую в регистрируемую зону, мы объединили с объемом ВВ в зоне с рациональным режимом детонации. Конечно, полной уверенности в том, что эти части заряда всегда детонируют в рациональном режиме, быть не может.

Таблица 19.4.4.

Объемы частей зарядов с разными режимами детонации в скважинах 193, 194 и 195

Номер скваж.	Глубина скважин., м	Масса заряда, кг	Рацион. режим		Нерационал. Режим		Не детонировало	
			кг	%	кг	%	кг	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9
193	19	672 (ТНТ)	672	100	0	0	0	0
194	19,5	1001 (И-30)	905	90,4	48	4,8	48	4,8
195	19,5	1001 (И-30)	414	41,4	138	13,8	449	44,9

В скважине 194 из 1001 кг ВВ в рациональном режиме детонировало 905 кг (90,4%), в нерациональном режиме детонировало 48 кг (4,8%), выброшено в распыленном виде в атмосферу 48 кг (4,8%). В скважине 195 из 1001 кг ВВ в рациональном режиме детонировало 414 кг (41,1%), в нерациональном режиме детонировало 128 кг (13,8%), выброшено в распыленном виде в атмосферу 449 кг (44,9%) взрывчатого вещества с размахом колебаний от 1 до 4 км/с. Возможно, эти колебания не связаны с процессом детонации зарядов. Возможно, прибор № 2 не защищен от внешних сейсмических колебаний гор-

ного массива, или он не защищен от собственных колебаний его конструктивных элементов, возбуждаемых взрывами соседних скважинных зарядов.

Во всех пяти опытных скважинных зарядах скорость детонации вдоль заряда не остается постоянной. Не остается постоянной и скорость детонации в скважине 100, заряженной граммонитом 79/21. Во всех скважинах начальная скорость детонации 4 км/с – 4,5 км/с (кроме скважины 101). Затем она не плавно возрастает до почти 5 км/с. К концу детонации колонки заряда скорость детонации интенсивно уменьшается, выходит из рационального режима и затухает. Форма кривых изменения скорости детонации вдоль заряда не повторяется. В каждой скважине она индивидуальна.

В таблицах 19.4.2; 19.4.3; 19.4.5; 19.4.6 отражены условия расположения опытных скважин, горно-геологические условия, технологические условия и параметры зарядов.

Таблица 19.4.5.

Выбор расположения опытных скважин, горно-геологические условия**Блок № 7к, Горизонт 80 /60**

№ скв. проект.	Диаметр, мм	Глубина, м	Тип породы	Свойства породы			Обводненность		
				Коэф. крепости	Категория трещиноват.	Плотность	Высота столбца, м	Вода проточная	Нет воды
55	311	23	Окисленные кварциты/неокис. железистые кварциты	16-18	Расст. между трещ. 0,2-0,4 м		12	Нет	
56	311	23	Окисленные кварциты/неокис. железистые кварциты	16-18	Расст. между трещ. 0,2-0,4 м		5	Нет	
100	311	23	Окисленные кварциты/неокис. железистые кварциты	16-18	Расст. между трещ. 0,2-0,4 м		0	Нет	
101	311	23	Окисленные кварциты/неокис. железистые кварциты	16-18	Расст. между трещ. 0,2-0,4 м		0	Нет	
102	311	23	Окисленные кварциты/неокис. железистые кварциты	16-18	Расст. между трещ. 0,2-0,4 м		0	Нет	

Таблица 19.4.6.

Установка кабеля и зарядание скважин.**Блок № 10к. Горизонт -150 /- 165**

№ скв. проект.	Дата установки кабеля	Глубина скваж., м	Тип ВВ	Тип газогенерирующей добавки	Высота колонки ВВ, м	Масса скваж. заряда, кг	Длина перебура, м	Длина забойки, м	Тип забойки	Масса боевика, кг	Место установки боевика от дна скваж., м
55	13.02.2015	23	И-30	РЭМ-5	18	2070	2,5	5		2	2.5
56	13.02.2015	23	И-30	РЭМ-5	18	2070	2,5	5		2	2.5

№ скв. проект.	Дата установки кабеля	Глубина скваж., м	Тип ВВ	Тип газогенерирующей добавки	Высота колонки ВВ, м	Масса скваж. заряда, кг	Длина перебура, м	Длина забойки, м	Тип забойки	Масса боевика, кг	Место установки боевика от дна скваж., м
100	13.02.2015	23	Грам.79/21	-	18	1440	2,5	5		2	2.5
101	16.02.2015	23	И-30	ПГТ-С	18	2070	2,5	5		2	2.5
102	16.02.2015	23	И-30	ПГТ-С	18	2070	2,5	5		2	2.5

Скважинные заряды взорваны 18.02.2015 г., через день после заряжания.

В таблицах 19.4.7 и 19.4.8 представлены экспериментально зафиксированные параметры детонации в опытных скважинах 55, 56, 100, 101 и 102.

В первых трех столбцах представлены номера скважин, номер блока и глубина скважин. В четвертом столбце в числителе представлена длина колонки заряда, в знаменателе — длина регистрируемой базы от боевика до забойки. В 5-м, 6-м и 7-м столбцах представлены режимы детонации: рациональный, при скорости детонации больше 3 км/с; нерациональный, при скорости детонации 3 км/с и ниже; отсутствие детонации и горения взрывчатого вещества (7-й столбец). В 8-м столбце представлена максимально достигнутая в скважине скорость детонации.

В скважине 55 в рациональном режиме детонировало 12,2 м заряда, в нерациональном режиме детонировало 1,4 м заряда. Заряд в скважине детонировал в полном объеме. В скважине 56 в рациональном режиме детонировало 10 м заряда, в нерациональном режиме детонировало 0,6 м заряда. 1,9 м заряда не детонировало и не горело. В скважине 100 в рациональном режиме детонировало 10,5 м заряда, в нерациональном режиме детонировало 0,3 м заряда. 1,7 м заряда не детонировало и не горело. В скважине 101 в рациональном режиме детонировало 10,6 м заряда, в нерациональном режиме детонировало 0,4 м заряда. 1,5 м заряда не детонировало и не горело. В скважине 102 в рациональном режиме детонировало 10,5 м заряда, в нерациональном режиме детонировало 0,4 м заряда. 1,6 м заряда не детонировало.

В таблице 6 представлены объемы частей зарядов с разными режимами детонации в скважинах 55, 56, 100, 101 и 102.

В третьем столбце представлена масса опытных скважинных зарядов. В 4-9-м столбцах представлены массы частей зарядов с разными режимами детонации, в килограммах и в процентах. В скважине 55 из 2070 кг ВВ в рациональном режиме детонировало 1909 кг (92,2%), в нерациональном режиме детонировало 161 кг (7,8%). Заряд детонировал и догорел в скважине в полном объеме.

В скважине 56 из 2070 кг ВВ в рациональном режиме детонировало 1783 кг (86,1%), в нерациональном режиме детонировало 69 кг (3,3%), выброшено в распыленном виде в атмосферу 218 кг (10,6%).

В скважине 100 из 1440 кг ВВ в рациональном режиме детонировало 1280 кг (88,9%), в нерациональном режиме детонировало 24 кг (1,7%), выброшено в распыленном виде в атмосферу 136 кг (9,4%).

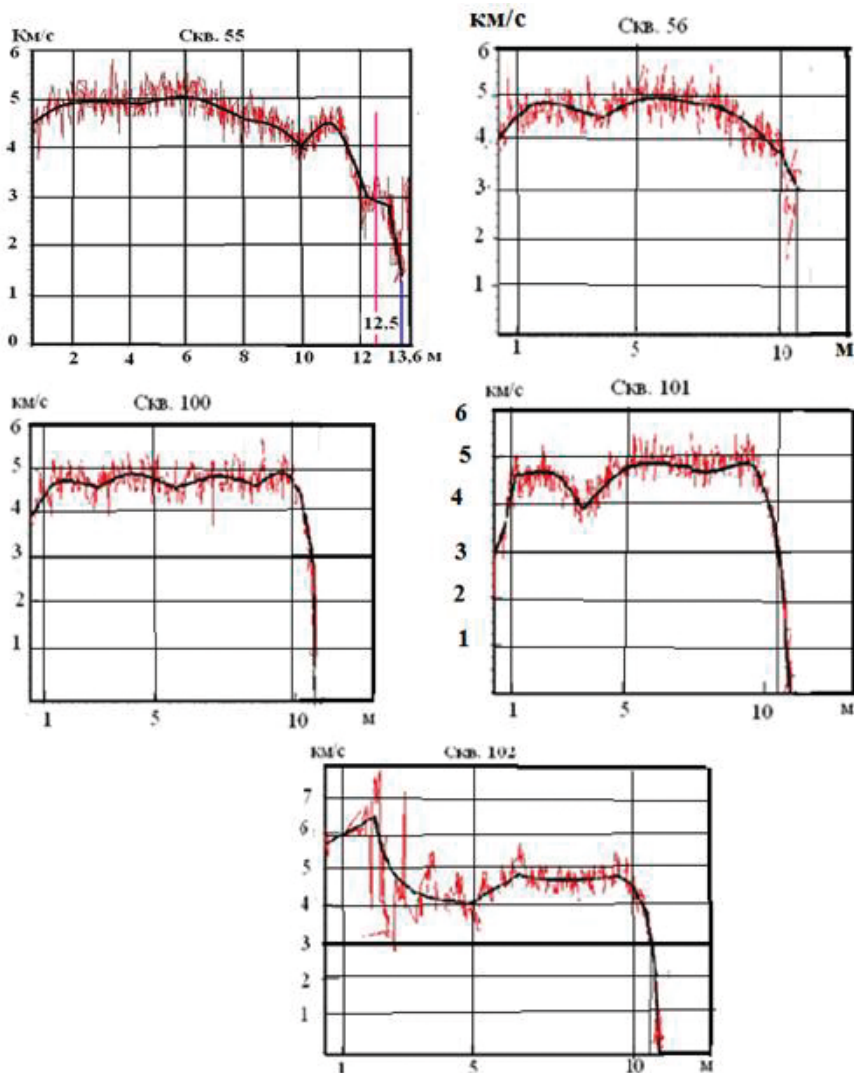


Рис. 19.4.4. Изменение скорости детонации вдоль регистрируемой части заряда в скважинах 55, 56, 100, 101, 102

В скважине 101 из 2070 кг ВВ в рациональном режиме детонировало 1852 кг (89,5%), в нерациональном режиме детонировало 46 кг (2,2%), выброшено в распыленном виде в атмосферу 172 кг (8,3%).

В скважине 102 из 2070 кг ВВ в рациональном режиме детонировало 1840 кг (88,9%), в нерациональном режиме детонировало 46 кг (2,2%), выброшено в распыленном виде в атмосферу 184 кг (8,9%).

Таблица 19.4.7.

**Экспериментальные параметры детонации зарядов
в скважинах 55, 56, 100, 101 и 102**

Номер скваж.	Номер блока	Глуб. скваж., м	Длина колон. и регистрируемой базы, м/м	Рационал. режим, м	Нерацион. режим, м	Не детонировало, м	Максимальная скорость детонации, км/с
1	2	3	4	5	6	7	8
55	7 к	23	18/13,6	12,2	1,4	0	5 (И-30)
56	7 к	23	18/12,5	10	0,6	1,9	5 (И-30)
100	7 к	23	18/12,5	10,5	0,3	1,7	5 (Гр.79/21)
101	7 к	23	18/12,5	10,6	0,4	1,5	5 (И-30)
102	7 к	23	18/12,5	10,5	0,4	1,6	6 (И-30)

Таблица 19.4.8.

**Объемы частей зарядов с разными режимами детонации
в скважинах 55, 56, 100, 101 и 102**

Номер скваж.	Глубина скважины, м	Масса заряда, кг	Рацион. режим		Нерацион. режим		Не детонировало	
			Кг	%	кг	%	кг	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9
55	23	2070 (И-30)	1909	92,2	161	7,8	0	0
56	23	2070 (И-30)	1783	86,1	69	3,3	218	10,6
100	23	1440 (Грам.)	1280	88,9	24	1,7	136	9,4
101	23	2070 (И-30)	1852	89,5	46	2,2	172	8,3
102	23	2070 (И-30)	1840	88,9	46	2,2	184	8,9

19.5. Результаты второй серии экспериментов

Взрыв второй серии опытных скважинных зарядов был проведен 18 марта 2015 года на двух опытных блоках, на блоке № 1 горизонта 105/90/75 и на блоке № 19к горизонта 15.

Во второй серии экспериментов было заряжено эмульсионным взрывчатым веществом И-30 десять опытных скважинных зарядов. При взрывании 10 опытных скважинных зарядов записать скорость детонации удалось в восьми скважинах.

Пять опытных скважинных зарядов взорвали через 2 дня после заряжания. Номера опытных скважин, условия взрывания зарядов, численные значения элементов конструкции зарядов, тип ВВ и масса зарядов, время заряжания и взрывания представлены в таблицах 19.5.1 и 19.5.2.

В этой группе при взрывании заряда в скважине 516 записать скорость детонации не удалось. При регистрации скорости детонации в этой группе зарядов использовали измеритель скорости детонации № 2.

Запись скорости детонации при проведении экспериментов фиксировалась в виде графиков. На рисунках 19.5.1 и 19.5.2 представлены графики изменения скорости детонации вдоль скважинного заряда в скважинах 508,

509, 510 и 600. Рядом с каждым графиком приведены таблицы изменения скорости детонации в каждой скважине.

На все четыре графика этой группы накладывается какой-то колебательный процесс.

Во всех четырех опытных скважинных зарядах скорость детонации вдоль заряда не остается постоянной. Во всех скважинах максимальная скорость детонации колеблется в пределах от 4,8 км/с до 4,45 км/с.

На рис. 19.5.1 представлены графики изменения скорости детонации вдоль скважинного заряда в скважинах 508, 509.

На рис. 19.5.2 представлены графики изменения скорости детонации вдоль скважинного заряда в скважинах 510, 600.

Рядом с рисунками представлены выданные прибором таблицы изменения скорости детонации вдоль заряда. Вторая часть таблиц является продолжением первых частей таблиц.

В таблице 19.5.3 представлены экспериментальные параметры детонации зарядов в скважинах 508, 509, 510 и 600.

В таблице 19.5.4 представлены рассчитанные по экспериментальным параметрам таблицы 3 массы частей зарядов с разными режимами детонации в скважинах 55, 56, 100, 101 и 102.

В скважине 508 из 910 кг ВВ в рациональном режиме детонировало 747 кг (82%), в нерациональном режиме детонировало 73 кг (8%). Не детонировало 91 кг (10%).

Таблица 19.5.1.

Выбор расположения опытных скважин, горно-геологические условия

Блок № 19 к. Горизонт 15

№ скв. проект.	Диаметр, мм	Глубина, М	Тип породы	Свойства породы			Обводненность		
				Коэф. крепости	Категория трещиноват.	Плотность	Высота столба, м	Вода прочная	Нет воды
508	311	19,5	Не окисленные кварциты/ гематитмагнетитовые		Расст. между трещ. 0,3-0,8 м		0	Нет	V
509	311	19,5	Не окисленные кварциты/ гематитмагнетитовые		Расст. между трещ. 0,3-0,8 м		0	Нет	V
510	311	19	Не окисленные кварциты/ гематитмагнетитовые		Расст. между трещ. 0,3-0,8 м		0	Нет	V
516	311	19,5	Не окисленные кварциты/ гематитмагнетитовые		Расст. между трещ. 0,3-0,8 м		0	Нет	V
600	311	19,5	Не окисленные кварциты/ гематитмагнетитовые		Расст. между трещ. 0,3-0,8 м		0	Нет	V

Таблица 19.5.2.

Установка кабеля и зарядание скважин.

Блок № 19к, Горизонт -150 /15

№ скв. проект.	Дата установки кабеля	Глубина скваж., м	Тип ВВ	Тип газогенерирующей добавки	Высота колонки ВВ, м	Масса скваж. заряда, кг	Длина перебур., м	Длина забойки, м	Тип забойки	Масса боеквика, кг	Место установки боевика от дна скваж., м
508	17.03.2015	20	И-30	ПГТС	15	910	2,5	5		2	2
509	17.03.2015	20	И-30	ПГТС	15	910	2,5	5		2	2
510	17.03.2015	19,5	Гр.79/21	РЭМ-5	14,5	884	2,5	5		2	2
516	17.03.2015	19,5	И-30	РЭМ-5	14,5	866	2	5		2	2
600	17.03.2015	20	И-30	РЭМ-5	15	910	2,5	5		2	2

Скважинные заряды взорваны 18.03.2015 г., через 2 дня после зарядания.

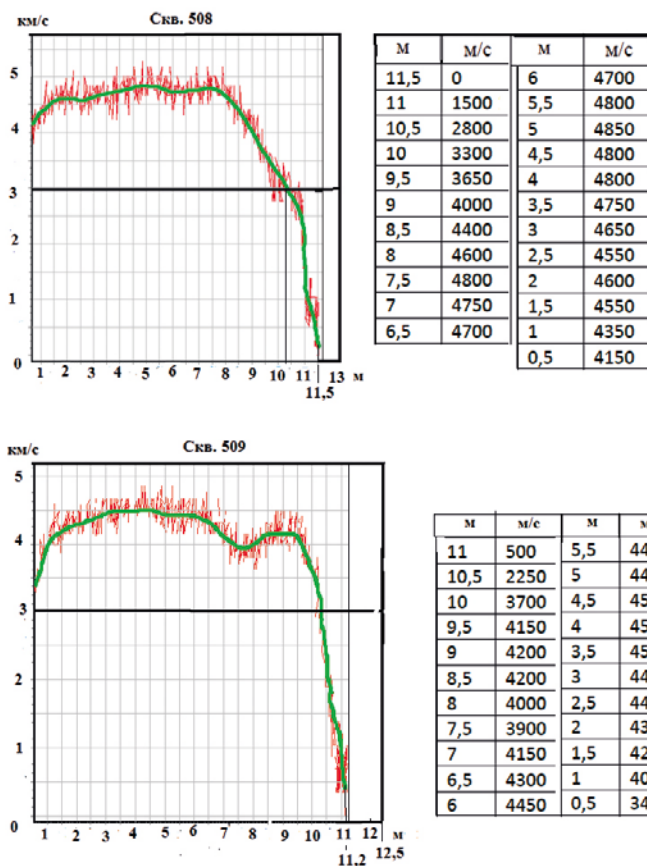


Рис. 19.5.1. Графики и таблицы изменения скорости детонации вдоль скважинного заряда в скважинах 508 и 509

В скважине 509 из 910 кг ВВ в рациональном режиме детонировало 71 кг (84%), в нерациональном режиме детонировало 56 кг (6%), выброшено в распыленном виде в атмосферу 91 кг (10%).

В скважине 510 из 884 кг ВВ в рациональном режиме детонировало 762 кг (86%), в нерациональном режиме детонировало 31 кг (4%), выброшено в распыленном виде в атмосферу 91 кг (10%).

В скважине 600 из 910 кг ВВ в рациональном режиме детонировало 741 кг (84%), в нерациональном режиме детонировало 42 кг (5%), выброшено в распыленном виде в атмосферу 127 кг (14%).

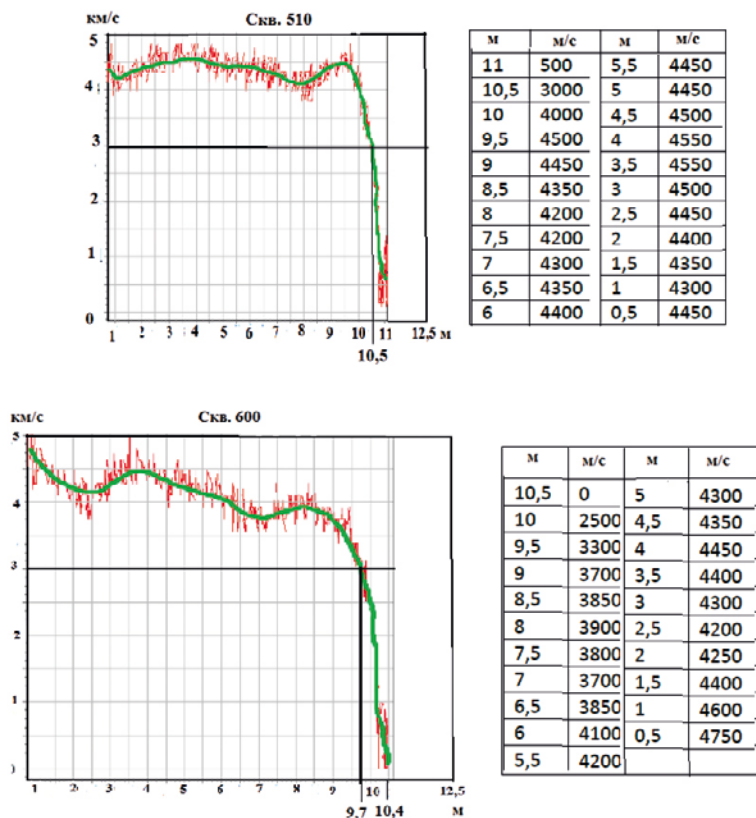


Рис. 19.5.2. Графики и таблицы изменения скорости детонации вдоль скважинного заряда в скважинах 510 и 600

Вторую группу скважинных зарядов второй серии взорвали на блоке № 1 горизонта 105/90/75. В этой группе экспериментов было заряжено эмульсионным взрывчатým веществом И-30 десять опытных скважинных зарядов. Пять опытных скважинных зарядов взорвали через 12–13 дней

Таблица 19.5.3.

Экспериментальные параметры детонации зарядов в скважинах 508, 509, 510 и 600

Номер скваж.	Номер блока	Глуб. скваж., м	Длина колон. и регистрируемой базы, м/м	Рационал. режим, м	Нерацион. режим, м	Не детонировало, м	Максимальная скорость детонации, км/с
1	2	3	4	5	6	7	8
508	19к	20	15/13	10,3	1,2	1,5	5 (И-30)
509	19к	20	15/12,5	10,3	0,9	1,3	5 (И-30)
510	19к	19,5	14,5/12,5	10,5	0,5	1,5	5 (Гр.79/21)
516	19к	19,5	14,5/12,5	-	-	-	5 (И-30)
600	19к	20	15/12,5	9,7	0,7	2,1	6 (И-30)

Таблица 19.5.4.

Массы частей зарядов с разными режимами детонации в скважинах 55, 56, 100, 101 и 102

Номер скваж.	Глубина скважины, м	Масса заряда, кг	Рацион. режим		Нерацион. режим		Не детонировало	
			Кг	%	кг	%	кг	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9
508	20	910 (И-30)	747	82	73	8	91	10
509	20	910 (И-30)	761	84	56	6	91	10
510	19,5	884 (Грам.)	762	86	31	4	91	10
516	19,5	866 (И-30)	-	-	-	-	-	-
600	20	910 (И-30)	741	81	42	5	127	14

после заряжания. Номера опытных скважин, условия взрывания зарядов, численные значения элементов конструкции зарядов, тип ВВ и масса зарядов, время заряжания и взрывания представлены в таблицах 5 и 6.

Таблица 19.5.5.

Выбор расположения опытных скважин, горно-геологические условия.

Блок № 1 (кровля), Горизонт 105/90/75

№ скв. проект.	Диаметр, мм	Глубина, м	Тип породы	Свойства породы			Обводненность		
				Коэф. крепости	Категория трещиноват.	Плотность	Высота столбца, м	Вода проточная	Нет воды
213	250	27	Окисленные кварциты				0	Нет	V
214	250	27	Окисленные кварциты				0	Нет	V
215	250	26,5	Окисленные кварциты				0	Нет	V
216	250	26	Окисленные кварциты				0	Нет	V
217	250	23	Окисленные кварциты				0	Нет	V

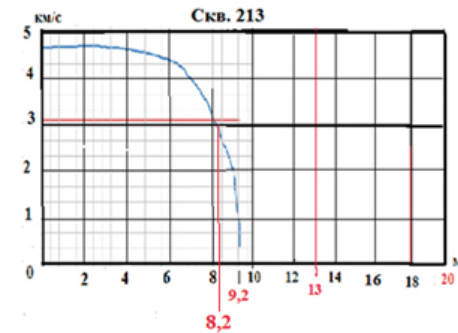
Таблица 19.5.6.

Установка кабеля и зарядание скважин.**Блок № 1 (кровля), горизонт 105/90/75**

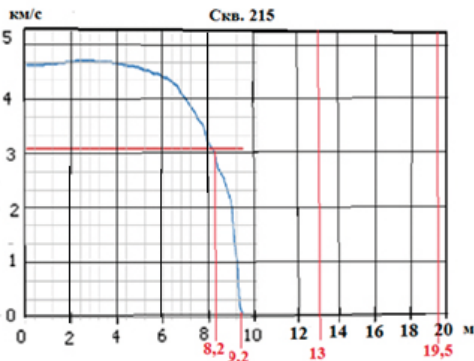
№ скв. проект.	Дата установки кабеля	Глубина скваж., м	Тип ВВ	Тип газогенерирующей добавки	Высота колонки ВВ, м	Масса скваж. заряда, кг	Длина перебурки, м	Длина забойки, м	Тип Забойки, мм	Масса боевика, кг	Место установки боевика от дна скваж., м
213	05.03.2015	27	И-30	РЭМ-5 (25%)	22	1008	3,5	5	Отсев 0,5	2	2
214	05.03.2015	27	И-30	РЭМ-5 (25%)	22	987	3,5	5	Отсев 0,5	2	2
215	05.03.2015	26,5	И-30	РЭМ-5 (20%)	21,5	966	3,5	5	Отсев 0,5	2	2
216	06.03.2015	26	И-30	ПГТС	21	940	3,5	5	Отсев 0,5	2	2
217	06.03.2015	23	И-30	ПГТС	18	924	1	5	11	2	2

Скважинные заряды взорваны 18.03.2015 г., через 13-12 дней после зарядания.

На рис. 19.5.3 и 19.5.4 представлены выданные прибором графики изменения скорости детонации промышленных зарядов вдоль измеряемой базы и табличные данные прибора значений скорости детонации на разных расстояниях от начала измеряемой базы.



М	М/с	М	М/с
9,2	0	4,4	4500
8,8	2300	4,0	4550
8,4	2700	3,6	4600
8,0	3200	3,2	4600
7,6	3550	2,8	4650
7,2	3800	2,4	4700
6,8	4100	2,0	4700
6,4	4300	1,6	4700
6,0	4350	1,2	4650
5,6	4400	0,8	4650
5,2	4450	0,4	4650
4,8	4500		



М	М/с	М	М/с
9,2	0	4,4	4500
8,8	2300	4,0	4550
8,4	2700	3,6	4600
8,0	3200	3,2	4600
7,6	3550	2,8	4650
7,2	3800	2,4	4700
6,8	4100	2,0	4700
6,4	4300	1,6	4700
6,0	4350	1,2	4650
5,6	4400	0,8	4650
5,2	4450	0,4	4650
4,8	4500		

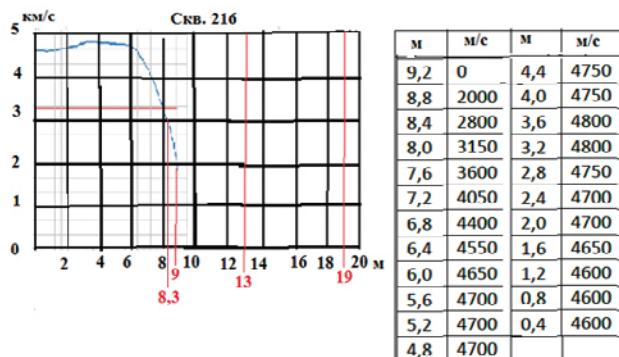


Рис. 19.5.3. Экспериментальные параметры детонации зарядов в скважинах 213, 215, 216

Красными вертикальными линиями на рисунках показаны: зоны с рациональным режимом детонации, зоны с нерациональным режимом детонации и зоны с зарядом, выброшенным в атмосферу. На каждом графике зоны расположены в такой последовательности, в какой они перечислены в нашем предложении выше.

На всех этих графиках присутствуют очень большие зоны не детонировавшего заряда. Причиной этого являются два фактора: добавленная в состав эмульсионного взрывчатого вещества смесь АС-ДТ и длительное нахождение в скважине заряда после зарядания в сырую погоду.

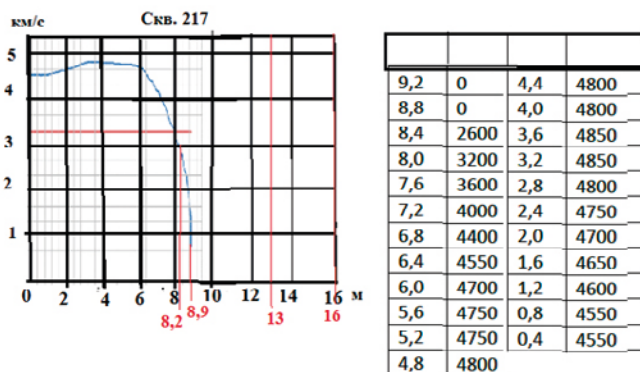


Рис. 19.5.4. Экспериментальные параметры детонации зарядов скважинах 217

Таблица 19.5.7.

**Экспериментальные параметры длины заряда
с разными режимами детонации в скважинах 213, 215, 216, 217**

Номер скваж.	Номер блока	Глуб. скваж., м	Длина колон. и регистрируемой базы, м/м	Рационал. режим, м	Нерационал. режим, м	Не детонировало, м
1	2	3	4	5	6	7
213	1	27	22/20	8,2	1	10,8
214	1	27	22/20	-	-	-

Номер скваж.	Номер блока	Глуб. скваж., м	Длина колон. и регистрируемой базы, м/м	Рационал. режим, м	Нерационал. режим, м	Не детонировало, м
1	2	3	4	5	6	7
215	1	26,5	21,5/19,5	8,2	1	10,3
216	1	26	21/19	8,3	0,7	10
217	1	23	18/16	8,2	0,7	7,1

В таблице 19.5.7 представлены экспериментальные параметры длины заряда с разными режимами детонации в скважинах 213, 215, 216, 217.

В таблице 8 представлены экспериментальные результаты распределения массы заряда по режимам детонации в этой экспериментальной группе зарядов в скважинах 213, 214, 215, 216, 217.

В скважине 213 из 1008 кг ВВ в рациональном режиме детонировало 467 кг (46%), в нерациональном режиме детонировало 46 кг (5%). Не детонировало 494 кг (49%).

Таблица 19.5.8.

**Объемы частей зарядов с разными режимами детонации
в скважинах 213, 214, 215, 216 и 217**

Номер скваж.	Длина колонки заряда, м	Масса заряда, кг	Длина колон. и регистрируемой базы, м/м	Рацион. режим		Нерационал. режим		Не детонировало	
				кг	%	кг	%	кг	%
1	2	3		4	5	6	7	8	9
213	22	1008 (И-30)	22/20	467	46	46	5	494	49
214	22	987 (И-30)	22/20	-	-	-	-	-	-
215	21,5	966 (И-30)	21,5/19,5	558	47	46	5	462	48
216	21	946 (И-30)	21/19	558	47	46	5	450	48
217	18	924 (И-30)	18/16	524	57	36	4	364	39

В скважине 215 из 966 кг ВВ в рациональном режиме детонировало 558 кг (47%), в нерациональном режиме детонировало 56 кг (6%), выброшено в распыленном виде в атмосферу 462 кг (48%).

В скважине 216 из 946 кг ВВ в рациональном режиме детонировало 558 кг (47%), в нерациональном режиме детонировало 46 кг (5%), выброшено в распыленном виде в атмосферу 450 кг (48%).

В скважине 217 из 924 кг ВВ в рациональном режиме детонировало 524 кг (57%), в нерациональном режиме детонировало 36 кг (4%), выброшено в распыленном виде в атмосферу 364 кг (39%).

В этих скважинах не детонировало, выброшено в атмосферу почти половина зарядов, размещенных в опытных скважинах. Этот факт трудно игнорировать.

19.6. Результаты третьей серии экспериментов

Взрыв третьей серии опытных скважинных зарядов был проведен 29 мая 2015 года на двух опытных блоках, на блоке № 15к горизонта 60 и на блоке № 36к горизонта 90.

В третьей серии экспериментов было заряжено эмульсионным взрывчатým веществом И-30 десять опытных скважинных зарядов.

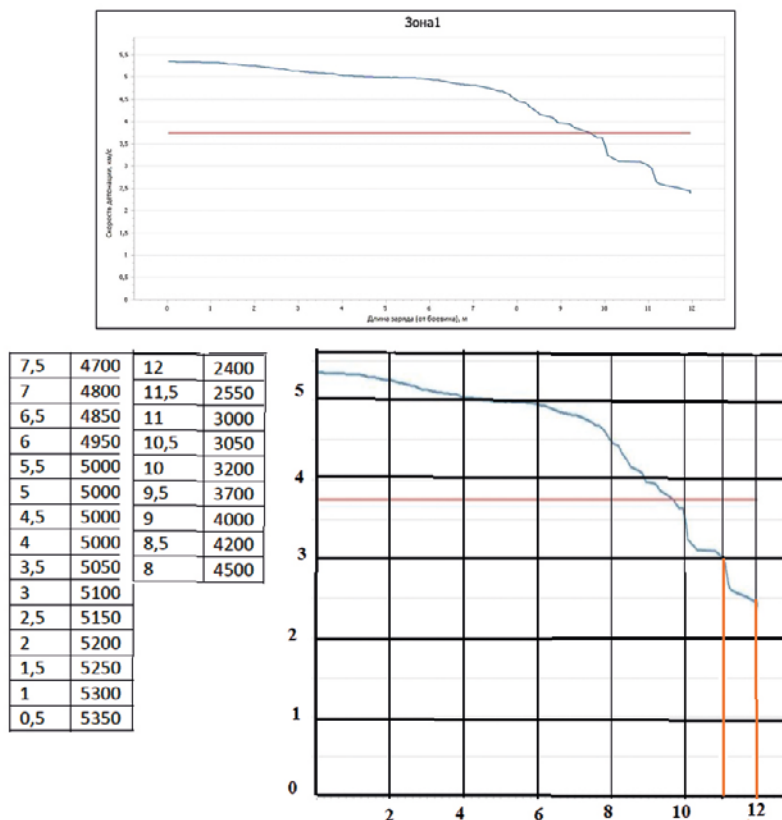


Рис. 19.6.1. График изменения скорости детонации вдоль заряда и этот же график в обработанном, более удобном для анализа, в скважине 121

Пять опытных скважинных зарядов взорвали через 9–10 дней после заряжания. Номера опытных скважин, условия взрывания зарядов, численные значения элементов конструкции зарядов, тип ВВ и масса зарядов, время заряжания и взрывания представлены в таблицах 1 и 2.

Запись скорости детонации при проведении экспериментов фиксировалась в виде графиков. При регистрации скорости детонации в первой части этой группы зарядов использовали измеритель скорости детонации № 1. Посторонние колебания на графики не накладывались.

На рис. 19.6.1 представлен приборный график изменения скорости детонации вдоль заряда в скважине 121. Здесь же представлен этот график

в обработанном виде, более удобном для анализа. Рядом представлена приборная таблица цифровых значений скорости детонации по длине регистрируемой базы.

На рис. 19.6.2 представлены приборные графики изменения скорости детонации вдоль заряда в пределах регистрируемой базы.

В таблице 19.6.3 представлены экспериментально зафиксированные параметры детонации в опытных скважинах 121, 122, 123, 124 и 126.

В первых трех столбцах представлены номера скважин, номер блока и глубина скважин. В четвертом столбце в числителе представлена длина колонки заряда, в знаменателе — длина регистрируемой базы, от боевика до забойки. В 5, 6 и 7 столбцах представлены режимы детонации: рациональный, при скорости детонации больше 3 км/с; нерациональный, при скорости детонации 3 км/с и ниже; отсутствие детонации и горения взрывчатого вещества (7-й столбец). В 8-м столбце представлена максимально достигнутая в скважине скорость детонации.

Во всех опытных скважинах этой группы заряды ВВ детонировали или сгорели в полном объеме. Заряды в скважинах 122 и 124 детонировали в рациональном режиме. В нерациональном режиме сгорела в скважине 121 часть заряда длиной в 1 метр, в скважине 124 длиной в 0,8 метра, а в скважине 126 длиной в 11,5 метра.

В таблице 19.6.4 представлена масса частей зарядов в тоннах и в процентах с разными режимами детонации в скважинах 121, 122, 123, 124 и 126.

В скважине 121 в рациональном режиме детонировало 92,3% массы скважинного заряда, 7,6% массы заряда сгорело в нерациональном режиме.

Таблица 19.6.1.

Выбор расположения опытных скважин, горно-геологические условия**Блок № __15к__, Горизонт __60__**

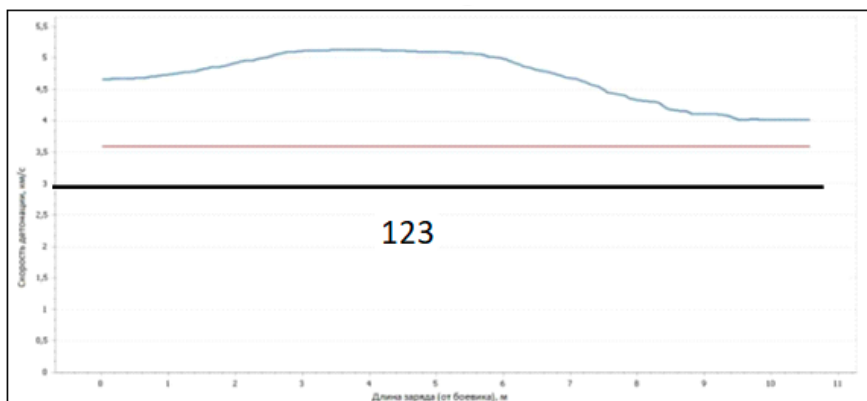
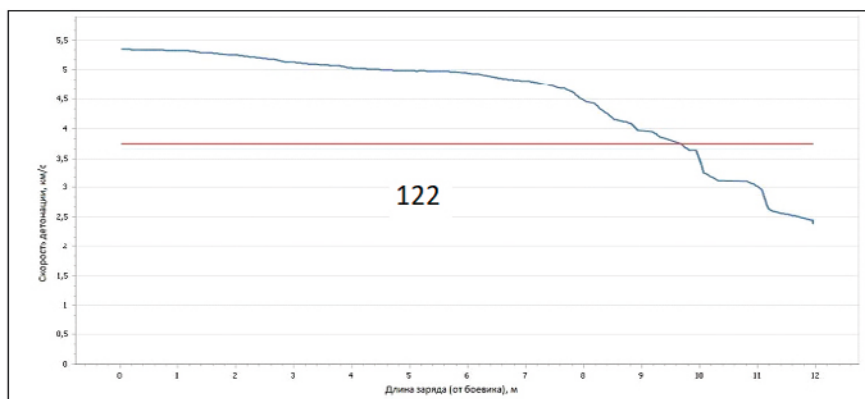
№ скв. проект.	Диаметр, мм	Глубина, м	Тип породы	Свойства породы			Обводненность		
				Коэф. крепости	Категория трещиноват.	Плотность	Высота столбца, м	Вода проточная	Нет воды
121	250	18	Окисленные кварциты/неокисл. железистые кварциты	16-18	Расст. между трещинами 0,2-0,4 м		0,3	Нет	V
122	250	19	Окисленные кварциты/неокисл. железистые кварциты	16-18	Расст. между трещинами 0,2-0,4 м		0,3	Нет	V
123	250	18	Окисленные кварциты/неокисл. железистые кварциты	16-18	Расст. между трещинами 0,2-0,4 м		0,3	Нет	V
124	250	19	Окисленные кварциты/неокисл. железистые кварциты	16-18	Расст. между трещинами 0,2-0,4 м		0,3	Нет	V
126	250	19	Окисленные кварциты/неокисл. железистые кварциты	16-18	Расст. между трещинами 0,2-0,4 м		0,3	Нет	V

Таблица 19.6.2.

Установка кабеля и зарядание скважин. Блок № 15 к, Горизонт 60

№ скв. проект.	Дата установки кабеля	Глубина скваж., м	Тип ВВ	Тип газогенерирующей добавки	Высота колонки ВВ, м	Масса скваж. заряда, кг	Длина перепура, м	Длина забойки, м	Тип забойки	Масса боевика, кг	Место установки боевика от дна скваж., м
121	20.05.2015	18	И-30	ПГТ-С (15% ГГД)	9,2	690	1,5	7		2	3
122	20.05.2015	19	И-30	ПГТ-С (20% ГГД)	9,2	759	2,5	7,3		2	3
123	19.05.2015	18	И-30	РЭМ-5 (20% ГГД)	10,9	690	1,5	5,75		2	3
124	19.05.2015	19	И-30	РЭМ-5 (25% ГГД)	7	759	2,5	7		2	3
126	19.05.2015	19	И-30	РЭМ-5 (без ГГД)	14,5	1001	3	5		2	2.5

Скважинные заряды взорваны 29.05.2015 г., через 9-10 дней после зарядания.



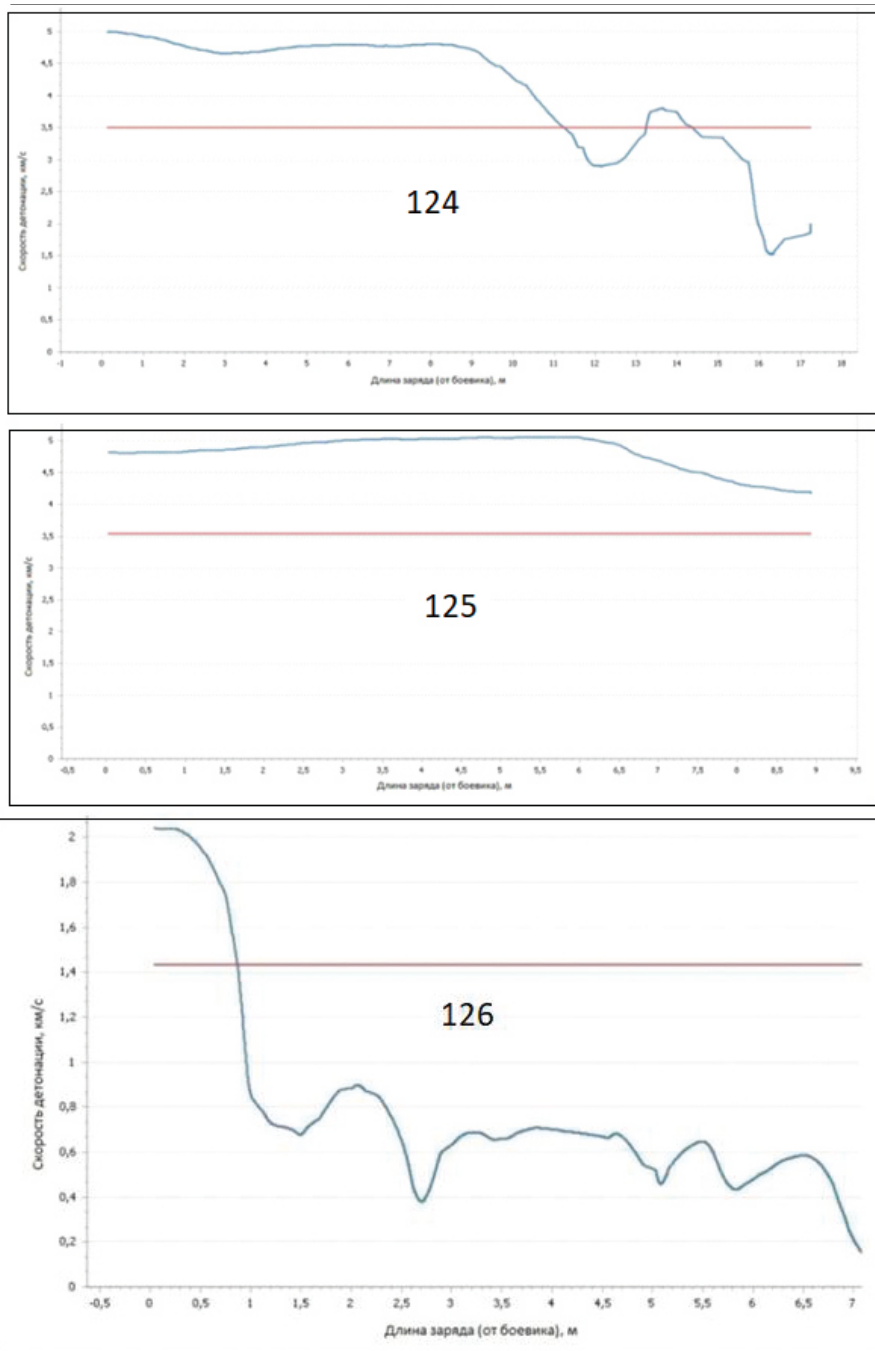


Рис. 19.6.2. Графики изменения скорости детонации в скважинах 122, 123 и 124, 125, 126

В скважине 121 в рациональном режиме детонировало 92,3% заряда, в нерациональном режиме детонировало 7,6% заряда. В скважинах 122 и 124 в рациональном режиме детонировало 100% массы заряда.

Таблица 19.6.3.

**Экспериментальные параметры детонации зарядов
в скважинах 121, 122, 123, 124 и 126**

Номер скваж.	Номер блока	Глуб. Скваж., м	Длина колон. и регистрируемой базы, м/м	Рационал. режим, м	Нерацион. режим, м	Не детонировало, м	Максимальная скорость детонации, км/с
1	2	3	4	5	6	7	8
121	15к	18	13/12	11	1	0	5,35 (И-30)
122	15к	19	14/12	12	0	0	5,05(И-30)
123	15к	18	13/12	11,2	0,8	0	4,8 (И-30)
124	15к	19	14/12	12	0	0	5,05 (И-30)
126	15к	19	14/12	0,5	11,5	0	1,9 (И-30)

Таблица 19.6.4.

**Масса частей зарядов с разными режимами детонации
в скважинах 121, 122, 123, 124 и 126**

Номер скваж.	Масса заряда, кг	Рациональный режим		Нерациональный режим		Не детонировало	
		кг	%	кг	%	Кг	%
1	3	4	5	6	7	8	9
121	690	637	92,3	53	7,6	0	0
122	759	759	100	0	0	0	0
123	690	648	93,3	42	6,7	0	0
124	759	759	100	0	0	0	0
126	1001	179	17,9	822	82,1	0	0

В скважине 123 заряд сторел, не детонируя, в объеме 82,1%. Причиной такого отклонения, скорее всего, является недостаточная подача газогенерирующей добавки или ее низкое качество.

Пять опытных скважинных зарядов третьей серии взорвали через 1–2 дня после заряжания. Номера опытных скважин, условия взрывания зарядов, численные значения элементов конструкции зарядов, тип ВВ и масса зарядов, время заряжания и взрывания представлены в таблицах 19.6.5 и 19.6.6.

Запись скорости детонации при проведении экспериментов фиксировалась в виде графиков. Запись скорости детонации осуществляли с помощью регистратора № 2. На графики накладываются влияния посторонних колебаний.

На рис. 19.6.3 и 19.6.4 представлены графики изменения скорости детонации вдоль скважинного заряда в скважинах 19, 20, 90, 91 и 89. На всех пяти графиках скорость детонации зарядов вдоль скважины не остается постоянной. Она меняется в непредсказуемой последовательности.

В скважине 19 около боевика она равна 4400 м/с. Она сразу же уменьшается незначительно, затем возрастает до 4600 м/с. Затем она уменьшается и возрастает. На расстоянии 10 метров от боевика она уменьшается до нерационального режима. Заряд на оставшейся длине колонки в 1,2 метра выгорает. Заряд в скважине 19 детонировал в полном объеме. Максимальная кратковременно реализуемая скорость детонации в этой скважине — 4560 м/с.

В скважине 20 около боевика она равна 4500 м/с. Она сразу же уменьшается незначительно, затем возрастает до 4600 м/с. Затем она уменьшается и возрастает. На расстоянии 9,3 метра от боевика она уменьшается до нерационального режима.

На расстоянии 9,9 метра от боевика детонация в этой скважине прекращается. Оставшийся заряд длиной 1,8 метра выбрасывается в атмосферу в распыленном виде.

В скважине 91 около боевика она равна 4250 м/с. Затем она возрастает до 4750 м/с и начинает интенсивно уменьшаться. На расстоянии 9,5 метра от боевика она уменьшается до нерационального режима. На расстоянии 11,4 метра от боевика детонация в этой скважине прекращается. Оставшийся заряд длиной 0,3 метра выбрасывается в атмосферу в распыленном виде.

В скважине 90 около боевика она равна 3000 м/с. Затем она возрастает до 4500 м/с, затем уменьшается и снова возрастает до 5000 м/с, и снова интенсивно уменьшаться. На расстоянии 10,5 метра от боевика она уменьшается до нерационального режима. На расстоянии 10,9 метра от боевика детонация в этой скважине прекращается. Оставшийся заряд длиной 1,8 метра выбрасывается в атмосферу в распыленном виде.

Таблица 19.6.5.

Выбор расположения опытных скважин, горно-геологические условия**Блок № __36к__, Горизонт __-90__**

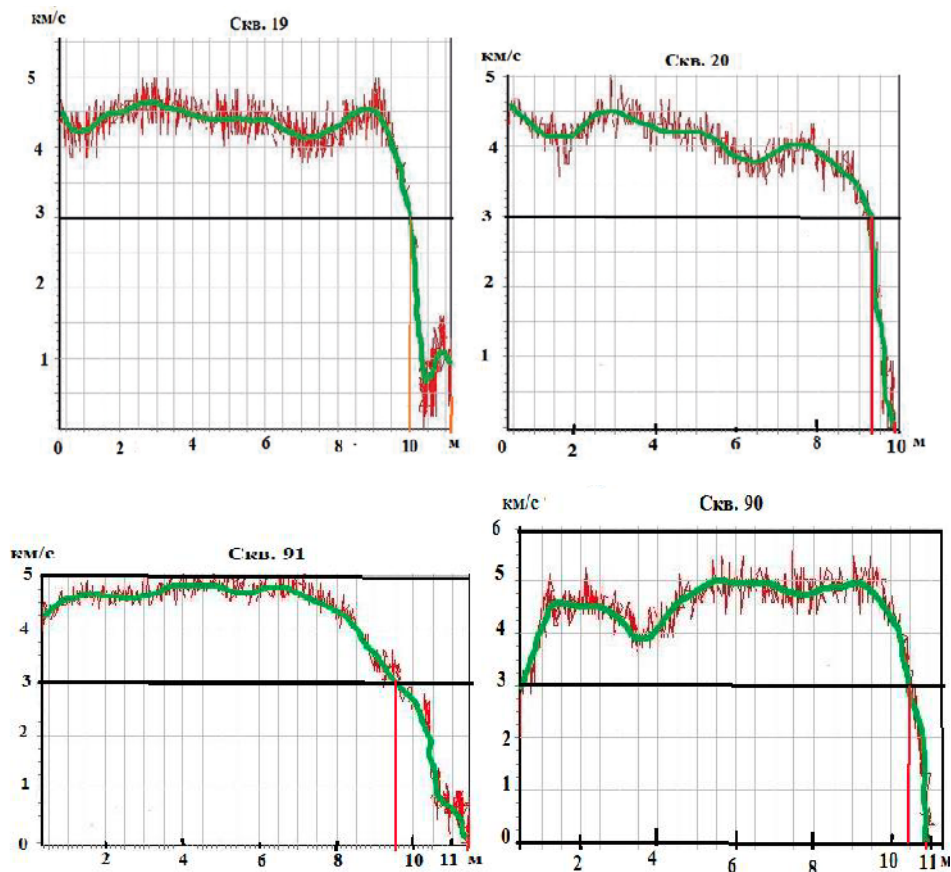
№ скв. проект.	Диаметр, мм	Глубина, м	Тип породы	Свойства породы			Обводненность		
				Козф. крепости	Категория трещиноват.	Плотность	Высота столба, м	Вода проточная	Нет воды
19	311	16,5	Окисленные кварциты/неокисл. железистые кварциты	16-18	Расст. между трещинами 0,2-0,4 м		0,5	Нет	
20	311	17	Окисленные кварциты/неокисл. железистые кварциты	16-18	Расст. между трещинами 0,2-0,4 м		0,5	Нет	
91	311	17	Окисленные кварциты/неокисл. железистые кварциты	16-18	Расст. между трещинами 0,2-0,4 м		0,5	Нет	
90	311	18	Окисленные кварциты/неокисл. железистые кварциты	16-18	Расст. между трещинами 0,2-0,4 м		0,5	Нет	
89	311	18	Окисленные кварциты/неокисл. железистые кварциты	16-18	Расст. между трещинами 0,2-0,4 м		0,5	Нет	

Таблица 19.6.6.

Установка кабеля и зарядание скважин. Блок № 36 к, Горизонт -90

№ скв. проект.	Дата установки кабеля	Глубина скваж., м	Тип ВВ	Тип газогенерирующей добавки	Высота колонки ВВ, м	Масса скваж. заряда, кг	Длина перебура, м	Длина забойки, м	Тип забойки	Масса боевика, кг	Место установки боевика от дна скваж., м
19	28.05.2015	16,5	И-30	РЭМ-5	11,7	1303	1,5	3,6		2	3
20	28.05.2015	17	И-30	РЭМ-5	12	1345	2,5	4,1		2	3
91	28.05.2015	17	И-30	РЭМ-5	12,3	1364	1,5	4		2	3
90	27.05.2015	18	И-30	ПГТ-С	12,3	1452	2,5	4,6		2	3
89	27.05.2015	18	И-30	ПГТ-С	13,5	1714	2,5	3		2	3

Скважинные заряды взорваны 29.05.2015 г., за 1-2 дня после зарядания.



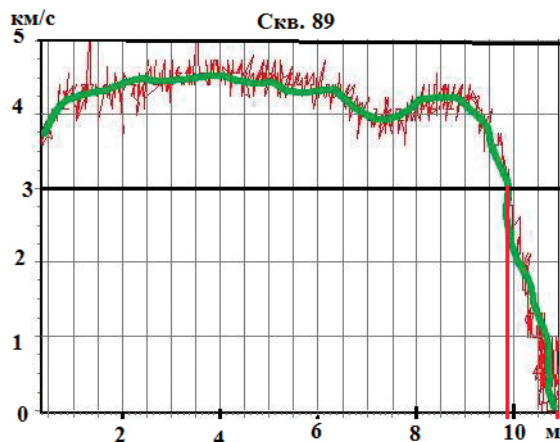


Рис. 19.6.3. Графики изменения скорости детонации вдоль скважинного заряда в скважинах 19, 20, 91, 90 и 89

В скважине 89 около боевика она равна 4200 м/с. Затем она возрастает до 4550 м/с, затем уменьшается и снова возрастает до 4300 м/с, и снова интенсивно уменьшается.

На расстоянии 9,9 метра от боевика она уменьшается до нерационального режима. На расстоянии 10,9 метра от боевика детонация в этой скважине прекращается. Оставшийся заряд длиной 1,8 метра выбрасывается в атмосферу в распыленном виде.

Таблица 19.6.7.

Экспериментальные параметры детонации зарядов в скважинах 19, 20, 90, 91 и 89

Номер скваж.	Номер блока	Глуб. скваж., м	Длина колон. и регистрируемой базы, м/м	Рационал. режим, м	Нерацион. режим, м	Не детонировало, м	Максимальная скорость детонации, км/с
1	2	3	4	5	6	7	8
19	311	16,5	12,9/11,2	10	1,2	0	4,6 (И-30)
20	311	17	12,9/11,7	9,3	0,6	1,8	4,5 (И-30)
91	311	17	13/11,7	9,5	1,9	0,3	4,75 (И-30)
90	311	18	13,4/12,7	10,5	0,4	1,8	5,0 (И-30)
89	311	18	15/12,7	9,9	1	1,8	4,55 (И-30)

Таблица 19.6.8.

Объемы частей зарядов с разными режимами детонации в скважинах 121, 122, 123, 124 и 126

Номер скваж.	Масса заряда, кг	Рациональный режим		Нерациональный режим		Не детонировало	
		кг	%	кг	%	кг	%
1	3	4	5	6	7	8	9
19	1303	1182	90,7	121	9,3	0	0

Номер скваж.	Масса заряда, кг	Рациональный режим		Нерациональный режим		Не детонировало	
		кг	%	кг	%	кг	%
1	3	4	5	6	7	8	9
20	1345	1094	81,4	63	4,6	188	14
91	1364	1134	83,1	199	14,6	31	2,3
90	1452	1214	83,6	43	3	195	13,4
89	1714	1394	81,3	114	6,7	206	12

В таблице 19.6.7 представлены экспериментально зафиксированные параметры детонации в опытных скважинах 19, 20, 90, 91 и 89.

В первых трех столбцах представлены номера скважин, номер блока и глубина скважин. В четвертом столбце в числителе представлена длина колонки заряда, в знаменателе — длина регистрируемой базы от боевика до забойки. В 5, 6 и 7 столбцах представлены режимы детонации: рациональный, при скорости детонации больше 3 км/с; нерациональный, при скорости детонации 3 км/с и ниже; отсутствие детонации и горения взрывчатого вещества (7 столбец). В 8-м столбце представлена максимально достигнутая в скважине скорость детонации.

В таблице 8 представлены объемы частей зарядов в тоннах и в процентах с разными режимами детонации в скважинах 19, 20, 90, 91 и 89.

В этой группе опытных скважинных зарядов в рациональном режиме детонировало от 81% до 91% массы взрывчатых веществ. В нерациональном режиме детонировало и горело от 3% до 15% массы взрывчатых веществ.

От 0% до 14% массы взрывчатых веществ не прореагировало в скважинах, выброшено взрывом в распыленном виде в атмосферу и сгорело в пылегазовом облаке.

19.7. Результаты четвертой серии экспериментов

Взрыв четвертой серии опытных скважинных зарядов был проведен 17 июня 2015 года на двух опытных блоках, на блоке № 60к горизонта 60 и на блоке № 41к горизонта 30.

В четвертой серии экспериментов было заряжено эмульсионным взрывчатым веществом И-30 десять опытных скважинных зарядов. Пять опытных скважинных зарядов взорвали в день заряжания. Номера опытных скважин, условия взрывания зарядов, численные значения элементов конструкции зарядов, тип ВВ и масса зарядов, время заряжания и взрывания представлены в таблицах 1 и 2.

На всех пяти графиках скорость детонации зарядов вдоль скважины не остается постоянной. Она меняется в непредсказуемой последовательности.

В скважине 314, около боевика, она равна 3200 м/с. Затем она возросла до 5200 м/с и начала уменьшаться. До конца колонки заряда скорость детонации оставалась в рациональном режиме. Заряд детонировал в полном объеме. По непонятной причине запись графика продолжалась после завершения детонации заряда.

В скважине 315, около боевика, она равна 6500 м/с. Затем она уменьшилась до 3100 м/с и начала немного возрастать. До конца колонки заряда скорость детонации оставалась в рациональном режиме. Заряд детонировал в полном объеме.

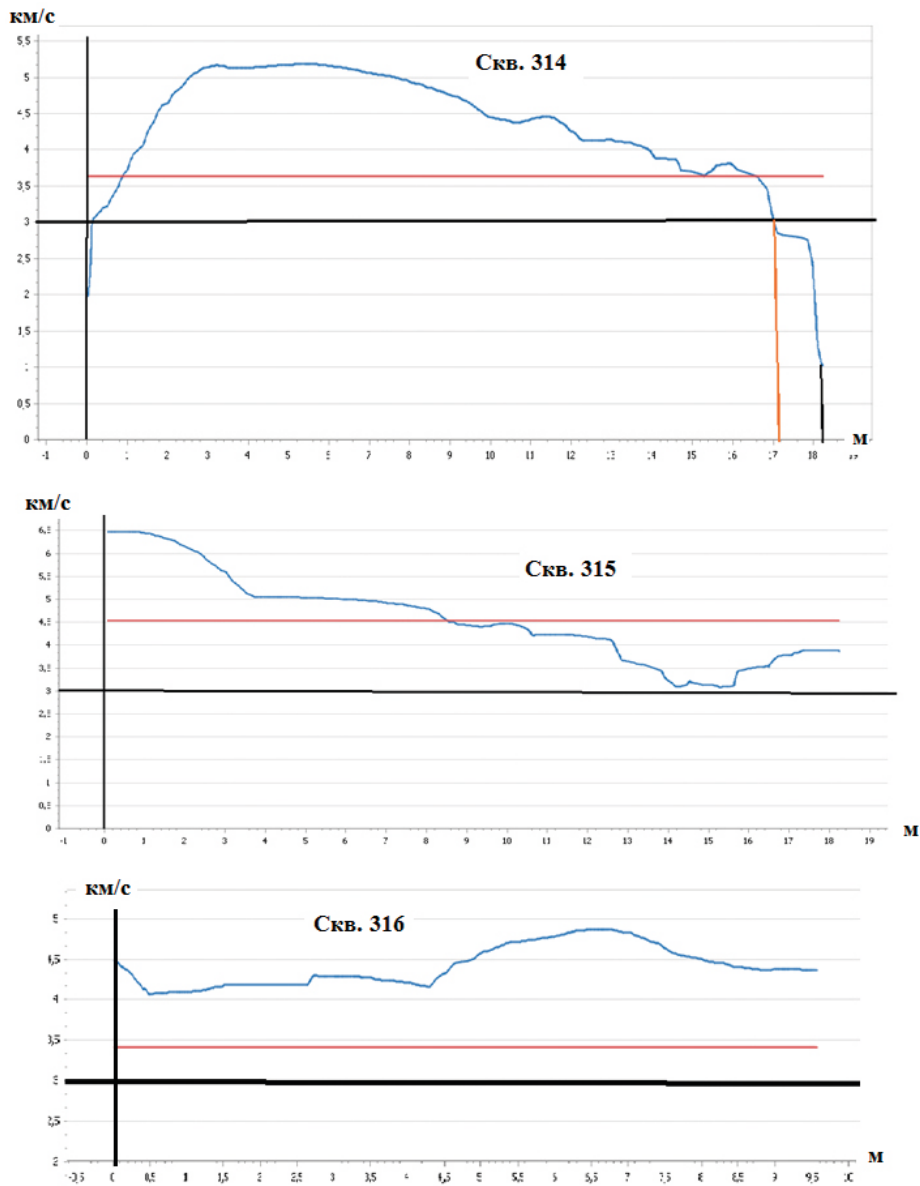


Рис. 19.7.1. Приборные графики изменения скорости детонации в скважинах 314, 315, 316

Таблица 19.7.1.

Выбор расположения опытных скважин, горно-геологические условия.

Блок № 40к, Горизонт 60

№ скв. проект.	Диаметр, мм	Глубина, м	Тип породы	Свойства породы			Обводненность		
				Козф. крепости	Категория трещиноват.	Плотность	Высота столба, м	Вода проточная	Нет воды
314	311	22	Окисленные кварциты/неокисл. железистые кварциты	16-18	Расст. между трещинами 0,2-0,4 м		0,5	Нет	
315	311	21,5	Окисленные кварциты/неокисл. железистые кварциты	16-18	Расст. между трещинами 0,2-0,4 м		0,5	Нет	
316	311	21,5	Окисленные кварциты/неокисл. железистые кварциты	16-18	Расст. между трещинами 0,2-0,4 м		0,5	Нет	
317	311	21	Окисленные кварциты/неокисл. железистые кварциты	16-18	Расст. между трещинами 0,2-0,4 м		0,5	Нет	
318	311	21	Окисленные кварциты/неокисл. железистые кварциты	16-18	Расст. между трещинами 0,2-0,4 м		0,5	Нет	

Таблица 19.7.2.

Установка кабеля и зарядание скважин.

Блок № 40к, Горизонт 60

№ скв. проект.	Дата установки кабеля	Глубина скваж., м	Тип ВВ	Тип газогенерирующей добавки	Высота колонки ВВ, м	Масса скваж. заряда, кг	Длина перебура, м	Длина забойки, м	Тип забойки	Масса боевика, кг	Место установки боевика от дна скваж., м
314	15.06.2015	22	Грамм 79/21		14,92	1000	2,5	7,08		3	3
315	15.06.2015	21,5	Грамм 79/21		14,4	1000	2,5	7,1		3	3
316	15.06.2015	21,5	Грамм 79/21		14,5	1000	2,5	7		3	3
317	15.06.2015	21	И-30	РЭМ-5	14,05	1615	2	6,95		3	3
318	15.06.2015	21	И-30	РЭМ-5	14	1605	2	7		3	3

Скважинные заряды взорваны 17.06.2015 г., в день зарядания.

В скважине 316 скорость детонации изменялась в диапазоне от 4050 м/с до 4850 м/с. До конца колонки заряда скорость детонации оставалась в рациональном режиме. Заряд детонировал в полном объеме.

В скважине 318, около боевика, она равна 4000 м/с. Скорость детонации оставалась в рациональном режиме до отметки 9,9 м. Детонация прекратилась на отметке 10,4 м.

В таблице 19.7.1 представлены экспериментально зафиксированные параметры детонации в опытных скважинах 314, 315, 316, 317 и 318.

В первых трех столбцах представлены номера скважин, номер блока и глубина скважин. В четвертом столбце в числителе представлена длина колонки заряда, в знаменателе — длина регистрируемой базы от боевика до забойки. В 5-м 6-м и 7-м столбцах представлены режимы детонации: рациональный, при скорости детонации больше 3 км/с; нерациональный, при скорости детонации 3 км/с и ниже; отсутствие детонации и горения взрывчатого вещества (7-й столбец). В 8-м столбце представлена максимально достигнутая в скважине скорость детонации.

В таблице 19.7.3 представлены объемы частей зарядов в тоннах и в процентах с разными режимами детонации в скважинах 314, 315, 316, 317 и 318.

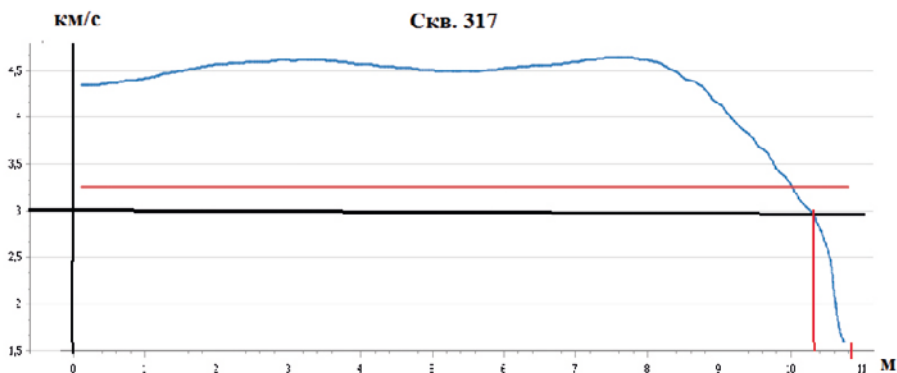
В скважинах 314, 315 и 316 скважинные заряды граммонита 79/21 детонировали в полном объеме и в рациональном режиме.

В скважине 317 в рациональном режиме детонировало 87,9% массы эмульсионного скважинного заряда И-30, 2,8% массы заряда сгорело в нерациональном режиме. 150 кг массы ВВ, или 9,3%, не детонировало и выброшено в атмосферу в распыленном виде.

В скважине 318 в рациональном режиме детонировало 82,6% массы эмульсионного скважинного заряда И-30, 4,1% массы заряда сгорело в нерациональном режиме. 213 кг массы ВВ, или 13,3%, не детонировало и выброшено в атмосферу в распыленном виде.

Вторую группу из пяти опытных скважинных зарядов взорвали в день заряжания. Номера опытных скважин, условия взрывания зарядов, численные значения элементов конструкции зарядов, тип ВВ и масса зарядов, время заряжания и взрывания представлены в таблицах 19.7.5 и 19.7.6.

Запись скорости детонации при проведении экспериментов фиксировалась в виде графиков. При регистрации скорости детонации в этой группе зарядов использовали измеритель скорости детонации № 2. Посторонние колебания на графики накладывались.



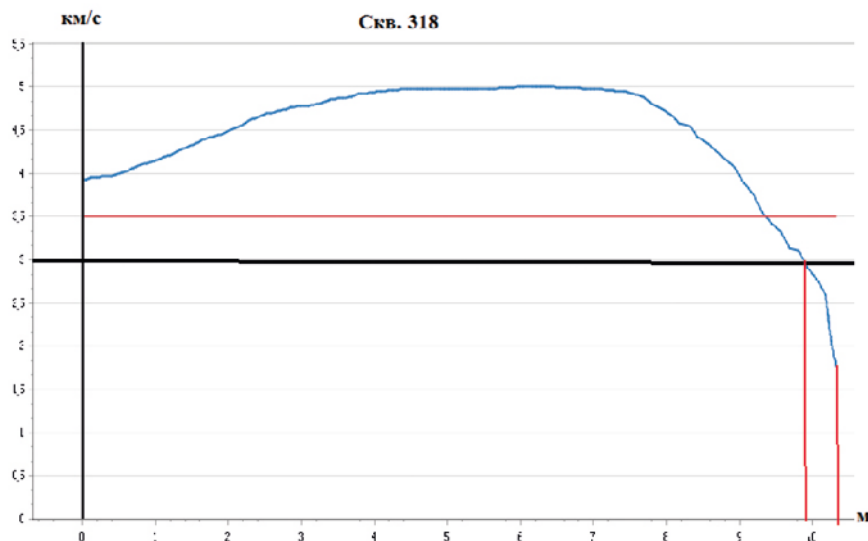


Рис. 19.7.2. Графики изменения скорости детонации в скважинах 317 и 318

В скважине 316 скорость детонации изменялась в диапазоне от 4050 м/с до 4850 м/с. До конца колонки заряда скорость детонации оставалась в рациональном режиме. Заряд детонировал в полном объеме.

Запись скорости детонации при проведении экспериментов фиксировалась в виде графиков. При регистрации скорости детонации в этой группе зарядов использовали измеритель скорости детонации № 1. Посторонние колебания на графики не накладывались.

На рис. 19.7.1 и 19.7.2 представлены графики изменения скорости детонации вдоль скважинного заряда в скважинах 314, 315, 316, 317 и 318.

Таблица 19.7.3.

**Экспериментальные параметры детонации зарядов
в скважинах 314, 315, 316, 317 и 318**

Номер скваж.	Номер блока	Глуб. скваж., м	Длина колон. и регистрируемой базы, м/м	Рационал. режим, м	Нерационал. режим, м	Не детонировало, м	Максимал. скорость детонации, км/с
1	2	3	4	5	6	7	8
314	311	22	14,9/12,9	12,9	0	0	5,2 Грамм 79/21
315	311	21,5	14,4/12,4	12,4	0	0	6,5 Грамм 79/21
316	311	21,5	14,5/12,5	12,5	0	0	4,85 Грамм 79/21
317	311	21	14/12	10,3	0,4	1,3	4,6 (И-30)
318	311	21	14/12	9,9	0,5	1,6	5 (И-30)

Таблица 19.7.4.

**Масса частей зарядов с разными режимами детонации
в скважинах 314, 315, 316, 317 и 318**

Номер скваж.	Масса заряда, кг	Рациональный режим		Нерациональный режим		Не детонировало	
		кг	%	кг	%	кг	%
1	3	4	5	6	7	8	9
314	1000	1000	100	0	0	0	0
315	1000	1000	100	0	0	0	0
316	1000	1000	100	0	0	0	0
317	1615	1419	87,9	46	2,8	150	9,3
318	1605	1325	82,6	67	4,1	213	13,3

На рис. 19.7.3; 19.7.4 и 19.7.5 представлены графики изменения скорости детонации вдоль скважинного заряда в скважинах 381, 382, 383, 384 и 385.

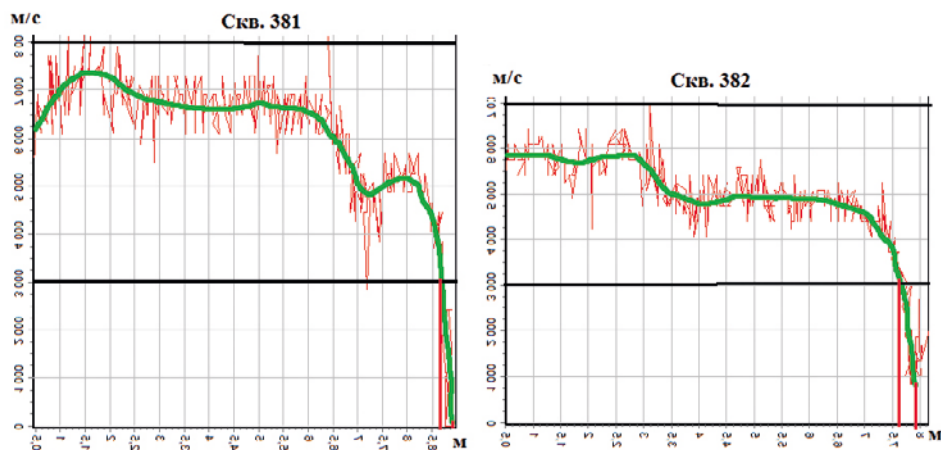


Рис. 19.7.3. Графики изменения скорости детонации в скважинах 381 и 382

На всех пяти графиках скорость детонации зарядов вдоль скважины не остается постоянной. Она меняется в непредсказуемой последовательности.

В скважине 381 около боевика она равна 6200 м/с. Затем она возросла до 7300 м/с, уменьшается, возрастает, уменьшается, возрастает и начинает интенсивно снижаться. На отметке 8,6 м она переходит в нерациональный режим и на отметке 8,9 м детонация прекращается.

В скважине 382 около боевика она равна 5800 м/с. Скорость детонации остается почти постоянной до отметки 3 м. Затем она уменьшилась до 5000 м/с, остается почти постоянной. С отметки 7,6 м она входит в нерациональный режим, и детонация прекращается на отметке 7,9 м.

В скважине 383 около боевика она равна 3450 м/с. Затем она возрастает до 4600 м/с и медленно снижается. С отметки 8,6 м она входит в нерациональный режим, и детонация прекращается на отметке 8,8 м.

В скважине 384 около боевика она равна 5000 м/с. До отметки 6,5 м она колеблется в узком диапазоне.

Таблица 19.7.5.

Выбор расположения опытных скважин, горно-геологические условия

Блок № 41к, горизонт -30

№ скв. проект.	Диаметр, мм	Глубина, м	Тип породы	Свойства породы			Обводненность		
				Коэф. крепости	Категория трещиноват.	Плотность	Высота столба, м	Вода проточная	Нет воды
381	311	17,5	Окисленные, полуокисленные, неокисл. железистые кварциты	16-17	Расст. между трещинами 0,2-0,5 м		0	Нет	V
382	311	17,5	Окисленные, полуокисленные, неокисл. железистые кварциты	16-17	Расст. между трещинами 0,2-0,5 м		4	Нет	
383	311	17,5	Окисленные, полуокисленные, неокисл. железистые кварциты	16-17	Расст. между трещинами 0,2-0,5 м		0	Нет	V
384	311	18	Окисленные, полуокисленные, неокисл. железистые кварциты	16-17	Расст. между трещинами 0,2-0,5 м		6	Нет	
385	311	17,5	Окисленные, полуокисленные, неокисл. железистые кварциты	16-17	Расст. между трещинами 0,2-0,5 м		1	Нет	

Таблица 19.7.6.

Установка кабеля и зарядание скважин

Блок № 41к, горизонт -30

№ скв. проект.	Дата установки кабеля	Глубина скваж.,	Тип ВВ	Тип газогенерирующей добавки	Высота колонки ВВ, м	Масса скваж. заряда, кг	Длина перебура, м	Длина забойки, м	Тип забойки	Масса боевика, кг	Место установки боевика от дна скваж., м
381	15.06.2015	17,5	Грамм.79/21		12,5	1000	2,5	5		4	3
382	15.06.2015	17,5	Гранулотол		12,5	1000	2,5	5		4	3
383	15.06.2015	17,5	Грамм.79/21		12,5	1000	2,5	5		4	3
384	15.06.2015	18	И-30	РЭМ-5	13,07	1395	2,5	4,93		4	3
385	15.06.2015	17,5	И-30	РЭМ-5	12,6	1338	2,5	4,9		4	3

Скважинные заряды взорваны 17.06.2015 г., в день зарядания

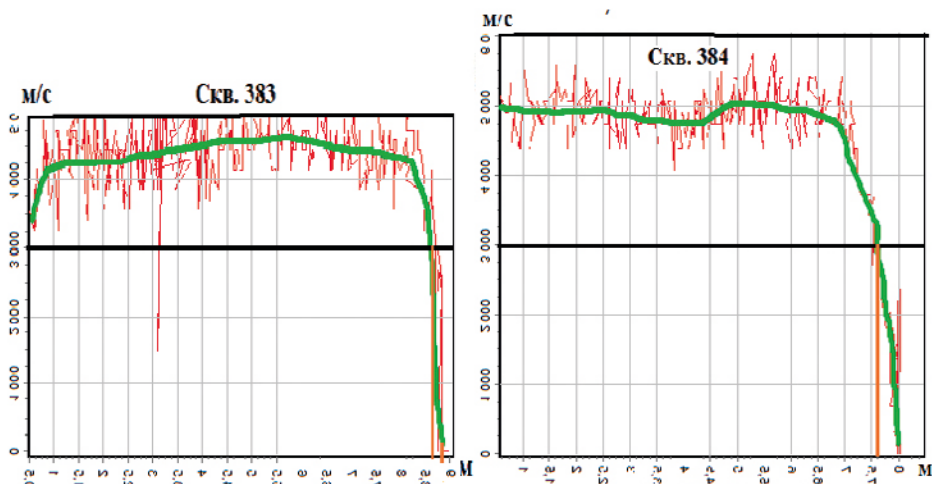


Рис. 19.7.4. Графики изменения скорости детонации в скважинах 381 и 382

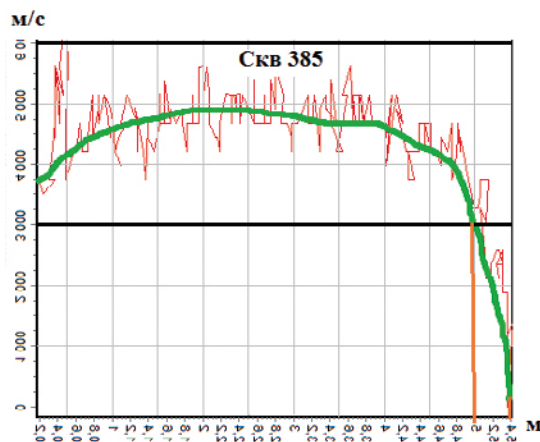


Рис. 19.7.5. График изменения скорости детонации в скважине 385

С отметки 7 м она начинает интенсивно уменьшаться, на отметке 7,2 м входит в нерациональный режим, и детонация прекращается на отметке 8 м.

В скважине 385 около боевика она равна 4150 м/с. Скорость детонации возрастает до 4900 м/с и начинает снижаться. На отметке 5 м она входит в нерациональный режим. Детонация прекратилась на отметке 5,4 м.

В таблице 19.7.7 представлены экспериментально зафиксированные параметры детонации в опытных скважинах 381, 382, 383, 384 и 385.

В первых трех столбцах представлены номера скважин, номер блока и глубина скважин. В четвертом столбце в числителе представлена длина колонки заряда, в знаменателе — длина регистрируемой базы от боевика до забойки. В таблице 8 представлены объемы частей зарядов в тоннах и в процентах с разными режимами детонации в скважинах 381, 382, 383, 384 и 385.

Таблица 19.7.7.

**Экспериментальные параметры детонации зарядов
в скважинах 381, 382, 383, 384 и 385**

Номер скваж.	Номер блока	Глуб. скваж., м	Длина колон. и регистрируемой базы, м/м	Рационал. режим, м	Нерационал. режим, м	Не детонировало, м	Максимальная скорость детонации, км/с
1	2	3	4	5	6	7	8
381	311	17,5	12,5/9,5	8,6	0,3	0,6	6,9 Грамм 79/21
382	311	17,5	12,5/9,5	7,6	0,3	1,6	5,85 Грамм 79/21
383	311	17,5	12,5/9,5	8,6	0,2	0,7	4,55 Грамм 79/21
384	311	18	13,7/10,7	7,2	0,8	2,7	4,95 (И-30)
385	311	17,5	12,6/9,6	5	0,4	4,2	4,9 (И-30)

В 5-м, 6-м и 7-м столбцах представлены режимы детонации: рациональный, при скорости детонации больше 3 км/с; нерациональный, при скорости детонации 3 км/с и ниже; отсутствие детонации и горения взрывчатого вещества (7-й столбец). В 8-м столбце представлена максимально достигнутая в скважине скорость детонации.

В скважинах 381, 382 и 383 скважинные заряды граммонита 79/21 детонировали в рациональном режиме по массе зарядов от 85% до 93%, в нерациональном режиме около 2%. Выброшенная в атмосферу непрореагировавшая масса зарядов составляет от 5% до 13%.

В скважине 384 в рациональном режиме детонировало 74,5% массы эмульсионного скважинного заряда И-30, 5,8% массы заряда сгорело в нерациональном режиме. 280 кг массы ВВ, или 19,7%, не детонировало и выброшено в атмосферу в распыленном виде.

В скважине 385 в рациональном режиме детонировало 52,1% массы эмульсионного скважинного заряда И-30. 4,2% массы заряда сгорело в нерациональном режиме. 580 кг массы ВВ, или 43,7%, не детонировало и выброшено в атмосферу в распыленном виде.

На основе анализа всего объема выполненных экспериментальных измерений скорости детонации по длине промышленных зарядов в условиях карьера можно прийти к следующим предварительным выводам.

Таблица 19.7.8.

**Объемы частей зарядов с разными режимами детонации
в скважинах 381, 382, 383, 384 и 385**

Номер скваж.	Масса заряда, кг	Рациональный режим		Нерациональный режим		Не детонировало	
		кг	%	кг	%	кг	%
1	3	4	5	6	7	8	9
381	1000	928	92,8	24	2,4	48	4,8

Номер скваж.	Масса заряда, кг	Рациональный режим		Нерациональный режим		Не детонировало	
		кг	%	кг	%	кг	%
1	3	4	5	6	7	8	9
382	1000	848	84,8	24	2,4	128	12,8
383	1000	928	92,8	16	1,6	56	5,6
384	1419	1056	74,5	83	5,8	280	19,7
385	1325	690	52,1	55	4,2	580	43,7

1. Измерение скорости детонации по двум крайним точкам базы измерений показывает лишь среднюю скорость детонации промышленного заряда на базе измерений. Этот метод в принципе не может ответить на вопрос, меняется ли скорость детонации вдоль базы измерения. При решении каких-то вопросов, наверное, интересно знать среднюю скорость детонации. Но фактическая переменная скорость детонации на базе измерений содержит значительно больше полезной информации.

2. Строго говоря, ни в одном экспериментальном эпизоде нами не была зарегистрирована постоянная скорость детонации вдоль базы измерений.

3. В карьерах часто в стабильное и водоустойчивое эмульсионное взрывчатое вещество, в целях удешевления заряда, вводят от 30% до 70% смеси АС-ДТ. В смесях, содержащих больше 30% АС-ДТ, мы эксперименты не проводили. Но и 30% добавка АС-ДТ переводит эмульсионное взрывчатое вещество в разряд неводоустойчивых и нестабильных. Такие заряды сохраняют приемлемый режим и полноту детонации при условии пребывания заряда в скважине не более двух суток.

Глава 20. Развитие метода компьютерного проектирования массовых взрывов в карьерах

20.1. Работы служб и отделов рудоуправления и комбината, принимающих участие в подготовке и проектировании массовых взрывов

С конца восьмидесятых годов прошлого века компьютерная оргтехника быстро и интенсивно начала внедряться во все службы и отделы горных предприятий. Вначале она использовалась в качестве эффективной замены пишущих машинок и различных арифмометров.

Но компьютеры и их программное обеспечение непрерывно и интенсивно совершенствовались. Стали разрабатываться и использоваться специальные компьютерные программы для решения широкого круга управленческих, экономических, геологических, маркшейдерских и других проектных задач.

Нескончаемый поток оперативных проектов на взрывные работы для большого количества выемочных блоков с самыми разнообразными горно-геологическими и технологическими условиями порождал необходимость выполнения множества однообразных вычислительных операций. Замена ручных вычислений компьютерными напрашивалась сама собой.

На горных предприятиях как грибы стали появляться компьютерные программы, разрабатываемые, как правило, с участием научных работников, отличающиеся одна от другой несущественными деталями. Иногда отличие заключалось только в печати документов на альбомной, а не на книжной странице.

Авторы этих программ ставили перед собой цель определить параметры буровзрывных работ и некоторые конечные технологические параметры взрывов. Редко кто из авторов ставил перед собой задачу автоматизировать подготовку проектной документации. Некоторые успехи в этом направлении не выходили за пределы использования механических или электронных палеток. За одинаковыми неоправданно всеобъемлющими названиями программ часто трудно разглядеть их реальные возможности. Но, как правило, большинство из них ограничиваются выполнением компьютерных вычислений, оставляя все другие виды проектных работ ручными.

Эти программы, прогрессивные для своего времени, сыграли положительную роль и достаточно широко применяются на горных предприятиях.

Основным проектным документом подготовки и ведения буровзрывных работ на крупных горных предприятиях является «Проект на массовый взрыв». Это объемный сводный документ. Это большая папка, в которую вложены многочисленные документы трех типов: документы, связанные с обустройством блоков; документы, связанные с заряданием и взрыванием; документы, связанные с организационно-техническими мероприятиями и с мероприятиями по технике безопасности.

Эти работы выполняются в разное время, разными людьми и объединяются в один проектный документ к концу проектирования массового взрыва в карьере.

Главный инженер ГОКа утверждает не «Проект на массовый взрыв», как это считается в обиходной практике, а «Распорядок проведения массового взрыва в карьере. Вложенные в папку многочисленные и громоздкие проектные документы выполняют лишь роль дополнительной трудночитаемой пояснительной информации. Эту объемную информацию можно было бы представить в «Распорядке проведения массового взрыва в карьере» в виде сводной одностраничной таблицы. В табличном виде эту информацию легче анализировать и принимать контрольные и управляющие решения.

ИПКОН РАН на хоздоговорной основе выполнил работы по дальнейшему совершенствованию компьютерного метода проектирования массовых взрывов на Михайловском карьере. Работы выполнялись под научным руководством профессора С.Д. Викторова. Основными исполнителями работ были Казаков Н.Н., Шляпин А.В. и Лапиков И.Н.

Перед исполнителями работ главным технологом комбината была поставлена задача решить следующие вопросы.

По возможности исключить передачу какой либо информации в бумажном виде между службами карьера и комбината. Вся информация службами должна передаваться на сервер комбината в нужные сроки. Любые участники проектирования массовых взрывов должны сами извлекать из сервера комбината нужную информацию, в том числе и промежуточную.

Обеспечить хранение на сервере комбината проектных и выполненных параметров и возможность их сравнительного анализа не только исполнителями работ, но и руководящими лицами.

По возможности автоматизировать все операции проектирования массовых взрывов, исключить ручные графические построения.

К началу проектирования буровзрывных работ на конкретном блоке в сервере комбината предусмотреть размещение положения обустраиваемой площадки со всей геологической и маркшейдерской информацией.

Фактически «Проекту на массовый взрыв» на крупных горных предприятиях предшествует множество отдельных проектов на обустройство каждого блока и множество отдельных проектов на зарядание и взрывание каждого блока. Эти проекты разрабатываются раньше «Проекта на массовый взрыв» и утверждаются на более низком уровне.

В результате оперативного проектирования взрывных работ проектное бюро буровзрывного комплекса (БВК) для каждого выемочного блока наряду с другими документами составляет три основных проектных документа:

1. План расположения скважин на блоке;
2. Таблицу корректировочного расчета зарядов;
3. Схему коммутации взрывной сети.

План фактического расположения скважин на блоке изготавливается вручную в маркшейдерском отделе рудоуправления по результатам маркшейдерской съемки. Он передается маркшейдерским или техническим отделом рудоуправления на бумажном носителе в проектное бюро БВК. Фактическое положение скважин на блоке часто существенно отличается

от их проектного положения. Однако этот факт в последующих расчетах остается, как правило, без внимания. Часто этот план не оформляется как официальный документ.

Проектное бюро БВК пополняет этот план разрезами, выполняемыми вручную.

Таблицу корректировочного расчета зарядов с учетом материалов маркшейдерской съемки и положения скважин на блоке составляет проектное бюро БВК с использованием компьютерных расчетов.

Количество скважин в таблице всегда корректируется по факту. А вот расстояние между рядами и расстояние между скважинами в ряду часто проставляются не фактические, а проектные. И все последующие расчеты выполняются по проектным параметрам. Схема коммутации взрывной сети изготавливается вручную.

20.2. Обмен информацией между службами рудоуправления и проектным бюро буровзрывного комплекса

В подготовке и выполнении проектирования взрывных работ в карьере принимают участие многие службы и отделы рудоуправления и комбината.

Служба заместителя главного инженера комбината определяет стратегическое направление совершенствования всего комплекса вопросов, связанных с буровзрывными работами; принимает решающее участие в планировании и проектировании взрывных работ; осуществляет общий и оперативный контроль всех этапов работы.

Служба главного горняка комбината организует и руководит внедрением компьютерных технологий по широкому кругу горно-технологических проблем; руководит внедрением компьютерных методов проектирования взрывных работ; принимает участие в планировании взрывных работ; осуществляет общий контроль над проектированием взрывных работ и за реализацией проектных решений.

В соответствии с планом горных работ технический отдел рудоуправления определяет местоположения выемочных блоков, определяет контуры площадок обурирования, сроки обурирования каждого блока, координирует работу отделов рудоуправления по подготовке документации, необходимой для проектирования взрывных работ. Планы подлежащих обурированию блоков и все объекты на блоках формируются в техническом отделе в электронном виде.

Маркшейдерский отдел рудоуправления по результатам оперативной инструментальной съемки определяет в трехмерном пространстве положение всех объектов и их отдельных элементов на блоке, подлежащем обурированию и находящемся в стадии обурирования. В электронном виде формируются: верхняя и нижняя бровки рабочего, верхнего и нижнего уступов; контуры обуриваемой площадки; превышения; положение последнего ряда ранее взорванных скважин.

Вся электронная информация о блоке передается на сервер комбината и непрерывно пополняется. Эта информация активно используется маркшейдерской, геологической службами комбината и службой главного гор-

няка при компьютерном решении целого ряда вопросов. К сожалению, эта электронная информация превращается в плоскую бумажную версию и передается в проектное бюро БВК для проектирования взрывных работ.

Геологический отдел рудоуправления по результатам оперативного геологического опробования уточняет в трехмерном пространстве контуры рудных тел в обуриваемом блоке. Электронная трехмерная информация передается на сервер комбината и непрерывно пополняется. Информация активно используется маркшейдерской, геологической службами комбината и службой главного горняка при компьютерном решении технологических вопросов, связанных с геологическим строением отрабатываемого месторождения. Эта электронная информация превращается в плоскую бумажную версию и передается в проектное бюро БВК для проектирования взрывных работ.

Проектное бюро буровзрывного комплекса получает на бумажном носителе план блока с фактическим расположением пробуренных скважин. Этому плану путем дорисовки придается вид официального документа. На этом же плане вручную рисуют разрезы, как правило, продольные.

Используя полученную компьютерную таблицу, содержащую глубину скважин, высоту уступа, диаметр скважин по компьютерной программе проектное бюро БВК рассчитывает технологические параметры зарядов и взрыва по блоку в целом. По результатам расчета формируется «Таблица корректировочного расчета зарядов». Иногда план блока и «Таблица корректировочного расчета зарядов» пополняется дополнительно пробуренными скважинами, чаще наклонными, пробуренными около первого ряда скважин для преодоления большого ЛСПП.

«Таблица корректировочного расчета зарядов» утверждается главным инженером буровзрывного комплекса. Она является основанием для выполнения работ по заряданию скважин, монтажа взрывной сети и проведения взрывных работ на блоке.

К сожалению, сервер комбината, содержащий обширную трехмерную непрерывно пополняемую информацию о карьере и его блоках, не привлекается к проектированию взрывных работ на блоке.

К проектированию взрывных работ привлекаются многие службы и отделы комбината и рудоуправления. При подготовке и выполнении проектных работ могут возникать сложности и несовершенства как внутри отделов и служб, так и при передаче промежуточной информации между службами и отделами.

Факт превращения электронной версии плана блока в бумажную версию при передаче из маркшейдерского отдела рудоуправления в проектное бюро буровзрывного комплекса является крупным недостатком принятой методики проектирования взрывных работ.

Проектное бюро буровзрывного комплекса не может приступить к проектированию взрывных работ на конкретном блоке до получения из маркшейдерского отдела рудоуправления на бумажном носителе плана фактического положения пробуренных скважин на блоке. Маркшейдерский отдела рудоуправления не может подготовить этот план до окончания обуривания блока. Процесс обуривания некоторых блоков часто заканчивается за день,

а то и за смену до массового взрыва. Создается авральная ситуация по подготовке проектов.

В такой ситуации работы на блоках по заряджанию скважин начинают выполнять задолго до составления проектов на взрывные работы. Работы по заряджанию ведутся не по проекту, а по производственному опыту исполнителей.

В этом случае отсутствует возможность выполнения оперативного контроля качества обурирования блока, т. к. руководство буровзрывного комплекса не имеет еще плана фактического расположения скважин на блоке. А в сервере такая информация уже есть! В сервере она пополняется непрерывно, практически после каждой маркшейдерской съемки объектов.

Можно предположить, что интересы маркшейдерской службы рудоуправления в первую очередь направлены на выполнение своих работ, составление своей отчетности и на отправку вновь полученной информации в сервер комбината. Разовая поставка плана расположения скважин на блоке в проектное бюро буровзрывного комплекса является для маркшейдерского отдела делом второстепенным.

При изготовлении плана расположения скважин на блоке в маркшейдерском отделе рудоуправления не сохраняют нумерацию скважин, принятую в проекте на обуривание блока. Принимается другая, часто очень хаотично расположенная, нумерация скважин, вероятно, связанная с последовательностью их маркшейдерской съемки. По плану расположения скважин на блоке определить расстояние между скважинами и между рядами скважин возможно, но трудно. Обычно эту информацию берут из «Таблицы корректировочного расчета зарядов».

На рис. 20.2.1 и 20.2.2 представлена копия «Таблицы корректировочного расчета зарядов» для конкретного блока. По проекту, на блоке нужно было пробурить 119 скважин. Пробурено на блоке 103 скважины. Шестнадцать скважин не пробурено не из-за уменьшения площадки обурирования, а за счет более редкого расположения скважин. В каких-то местах блока при обурировании допущено расширение сетки скважин.

В этой таблице расстояния между скважинами и между рядами иногда представлены не фактические, а проектные. Рассчитывается только ЛСПП по первому ряду. Невозможно по плану определить места и размеры сделанных отклонений реальных скважин от точек их проектного заложения.

При сравнении проекта обурирования с фактическим положением скважин видно несовпадение нумерации скважин на этих документах. Эта безобидная на первый взгляд деталь создает серьезные трудности для сопоставительного анализа фактического положения скважин с их проектным положением и со строчной информацией в «Таблице корректировочного расчета зарядов». Это создает трудности и при разработке схем взрывания, которые часто поэтому изготавливаются по проектной сетке обурирования.

Небрежное обуривание блока является одной из основных причин плохого качества дробления горной массы взрывом.

Планы подлежащих обурированию блоков и все объекты на блоках формируются в техническом отделе рудоуправления в электронном виде. В соответствии с планом горных работ технический отдел рудоуправления определяет местоположение выемочных блоков, определяет контуры площадок обурирования, сроки обурирования каждого блока, координирует работу отделов рудоуправления по подготовке документации, в том числе и необходимой для проектирования взрывных работ. Планы подлежащих обурированию блоков и все объекты на блоках формируются в техническом отделе в электронном виде и оперативно передаются на сервер комбината.

Геологический отдел рудоуправления по результатам оперативного геологического опробования горных пород и руд, в том числе и по буровому шламу, уточняет в трехмерном пространстве контуры рудных тел в обуриваемом блоке. Электронная трехмерная информация о свойствах горных пород, слагающих обуриваемый блок, передается на сервер комбината и непрерывно пополняется. Информация активно используется маркшейдерской, геологической службами комбината и службой главного горняка при компьютерном решении технологических вопросов, связанных с геологическим строением обрабатываемого участка месторождения и с последовательностью ведения горных работ.

Маркшейдерский отдел рудоуправления осуществляет оперативную инструментальную съемку объектов на блоке и определяет положение пробуренных скважин, координаты X , Y и Z каждой скважины, определяет положение всех других объектов на обуренном блоке. Маркшейдеры определяют положение верхней и нижней бровки рабочего, верхнего и нижнего уступов, положение последнего ряда ранее взорванного ряда скважин.

Информация о блоке передается на сервер комбината и непрерывно пополняется. Геологическая и маркшейдерская информация об объектах блока превращается в плоскую бумажную версию и передается в проектное бюро БВК для проектирования взрывных работ.

Проектное бюро буровзрывного комплекса получает на бумажном носителе план блока с фактическим расположением пробуренных скважин.

Проектное бюро БВК рассчитывает технологические параметры зарядов и других элементов подготовки взрыва на блоке в целом. По результатам расчета формируется «Таблица корректировочного расчета зарядов».

«Таблица корректировочного расчета зарядов» является основанием для выполнения работ по заряданию скважин, монтажу взрывной сети и проведению взрывных работ на блоке.

Непрерывно пополняемая информация о карьере и его блоках, не привлекается к проектированию взрывных работ на блоке.

К проектированию взрывных работ привлекаются многие службы и отделы комбината и рудоуправления. При подготовке и выполнении проектных работ возникают сложности и неувязки как внутри отделов и служб, так и при передаче промежуточной информации между службами и отделами.

Факт превращения электронной версии плана блока в бумажную версию при передаче из маркшейдерского отдела рудоуправления в проектное бюро буровзрывного комплекса является узким местом принятой методики проектирования взрывных работ.

Проектное бюро буровзрывного комплекса не может приступить к проектированию взрывных работ на конкретном блоке до получения из маркшейдерского отдела рудоуправления на бумажном носителе плана фактического положения пробуренных скважин на блоке. Маркшейдерский отдел рудоуправления не может подготовить этот план до окончания обурирования блока. Процесс обурирования некоторых блоков часто заканчивается за день, а то и за смену до массового взрыва. Создается авральная ситуация по подготовке проектов, что несомненно влияет на качество подготавливаемой документации.

Узким местом исходной информации для проектирования взрывных работ является отсутствие в передаваемой в проектное бюро БВК компьютерной таблице параметров обурирования скважин, расстояний между скважинами в ряду и между рядами скважин. Эти расстояния проставляются в таблице уже в проектное бюро БВК и, как правило, не реальные, а проектные.

Узким местом принятой технологии проектирования взрывных работ является ручной способ построения продольных и поперечных разрезов блока. Разрезы эти делают часто для формы, а иногда совсем не делают.

Узким местом принятой технологии проектирования взрывных работ является ручной способ изготовления схем короткозамедленного взрывания. В этой схеме используются, как правило, не фактическое положение обурированных скважин, а их проектное положение.

Наиболее узким местом принятой технологии проектирования взрывных работ является неиспользование нужной для проектирования информации, хранящейся на сервере комбината.

Документы проекта буровзрывных работ, получаемые по применяемой на Михайловском ГОКе методике проектирования, практически не дают возможности контролировать качество выполнения проекта буровых работ. Это невозможно из-за сроков готовности проектной документации и из-за трудности выполнения своевременного сравнительного анализа плана обурирования скважин с планом фактического расположения обурированных скважин.

20.3. Проектные документы буровзрывных работ по очистному блоку

На основе детального анализа применяемого метода оперативного проектирования взрывных работ на блоке намечены основные задачи и разработаны мероприятия по их решению в процессе совершенствования метода. Задачи и мероприятия направлены на устранение узких мест и на максимальную автоматизацию процесса проектирования взрывных работ.

Неотемлимой частью усовершенствованного компьютерного метода оперативного проектирования массовых взрывов является Инструкция пользователя программой проектирования взрывных работ. Такая инструкция разработана и передана Михайловскому ГОКу. Инструкция пользователя программой проектирования взрывных работ представлена в приложении монографии. Приложение 1.

При использовании ранее разработанного компьютерного метода проектирования буровых работ на блоке на печать выдаются следующие проектные документы:

1. Проект расположения скважин;
2. Таблица «Параметры скважин»;
3. Сведения о горных породах.

Задачи совершенствования метода оперативного проектирования взрывных работ на блоке карьера определяются необходимостью подготовки с максимальной автоматизацией проектных операций, опираясь только на серверную информацию, проектных документов. Эти проектные документы:

1. План фактического расположения скважин;
2. Таблица корректировочного расчета зарядов;
3. Разрезы;
4. Схема коммутации взрывной сети;
5. Конструкция заряда;
6. Радиусы опасных зон по блоку;
7. Совмещенная схема проектного и фактического положения скважин.

Желательно показать на схеме проектные и фактические скважины разным цветом.

Мероприятия при формировании «Плана фактического расположения скважин» на блоке заключаются в следующем.

Необходимо отказаться от обмена информацией на бумажном носителе между службами рудоуправления и проектным бюро БВК. Такой обмен информацией остается при проектировании буровых работ. Всю информацию о блоке и о состоянии буровых работ на нем проектное бюро БВК должно брать непосредственно с сервера комбината.

Проектировщик буровзрывного комплекса должен иметь возможность за короткое время в автоматическом режиме сформировать и напечатать «План фактического расположения скважин». Целесообразно изучить и, по возможности, реализовать промежуточные проекты взрывных работ, когда площадка на блоке обурена частично, а к заряджанию скважин уже необходимо приступать.

Мероприятия при формировании «Таблицы корректировочного расчета зарядов» заключаются в следующем.

Форму таблицы корректировочного расчета сохранить неизменной, такой, какой ее привыкли видеть взрывники Михайловского карьера. Проектные значения ЛСПП, расстояния между рядами скважин, расстояния между скважинами в ряду в таблице необходимо заменить на фактические расстояния, рассчитываемые по координатам обуренных скважин и координатам последнего ряда ранее взорванных скважин.

Проектировщик за короткое время в автоматическом режиме должен выполнить необходимые расчеты, сформировать и напечатать «Таблицу корректировочного расчета зарядов».

Мероприятия при формировании на блоке разрезов заключаются в следующем.

Заменить ручной метод рисования разрезов компьютерным методом их формирования.

Проектировщик за короткое время в автоматическом режиме с использованием координат точек по линии разреза должен выполнить все графические построения, сформировать и напечатать документ «Разрезы». Количество разрезов и их положение на плане определяется только волей проектировщика и не ограничивается возможностями нового метода.

Мероприятия при формировании на блоке «Схема коммутации взрывной сети» заключаются в следующем.

Заменить ручной метод рисования «Схемы коммутации взрывной сети» компьютерным методом ее формирования.

Проектировщик за короткое время в автоматическом режиме с использованием координат фактического положения скважин должен сформировать и напечатать документ «Схема коммутации взрывной сети» в привычном для взрывников формате.

Мероприятия при формировании на блоке документа «Конструкция заряда» заключаются в следующем.

По возможности разработать более приемлемую на сегодня форму его представления. Предусмотреть возможность выбора нужной формы и печатать ее в форме проектного документа или в форме приложения к проектному документу.

Мероприятия при формировании на блоке документа «Радиусы опасных зон» по блоку заключаются в следующем. Всё, что есть в проектном бюро БВК по этому вопросу, включая и расчетную часть, целесообразно перенести в усовершенствованный метод.

Мероприятия при формировании на блоке документа «Совмещенная схема проектного и фактического положения скважин» по блоку заключаются в следующем.

Проектировщик за короткое время в автоматическом режиме должен осуществить поиск в компьютерном архиве проектной схемы обустройства скважин на этом блоке, составленную много раньше, перенести ее на «План фактического расположения скважин». Положение проектных скважин и фактическое положение скважин на план лучше заносить разным цветом. Это упростит сравнительный сопоставительный анализ качества обустройства блока.

Главным принципом разрабатываемого метода проектирования взрывных работ на блоке карьера является полное исключение контактов с другими службами рудоуправления и использование при проектировании только информации из сервера комбината и из своих компьютерных архивов.

Проектировщик буровзрывного комплекса входит по электронной связи в сервер комбината, находит нужный проектируемый блок и переносит в свой компьютер часть нужной ему для проектирования информации.

В нашем примере скопированная информация под индексом 4438.kdr занесена по адресу: диск С – program – Проектирование взрывных работ – 4438.kdr.

Таблицу, скопированную с сервера комбината на компьютер проектировщика, можно просмотреть на экране монитора.

Подключение базы данных MSSQL

☒ 4438

n_prob	gor	blok	fe_b
		30	104K
		30	104K
63553		30	104K 0015258789
		30	104K
		30	104K
		30	104K
63552		30	104K 9992370605
		30	104K
		30	104K
		30	104K
		30	104K
		30	104K
		30	104K
63548		30	104K 9992370605
		30	104K
		30	104K
		30	104K
		30	104K
63547		30	104K 0015258789

Рис. 20.3.1. Первый фрагмент таблицы с сервера комбината

Это очень большая таблица, и привести ее в тексте отчета не представляется возможным. В этой таблице каждая строка содержит различную информацию об одной скважине. Мы представляем несколько фрагментов этой таблицы.

На рис. 20.3.1 представлен фрагмент таблицы, в котором приведены номер горизонта и блока, а также индекс блока 4438. Эта информация нужна проектировщику для поиска блока в сервере и для занесения информации из сервера в компьютер проектировщика.

На рис. 20.3.2 представлен фрагмент таблицы, в котором приведены координаты устья скважины и время внесения этой информации в сервер комбината. Эта информация нужна проектировщику для построения плана фактического расположения пробуренных скважин.

На рис. 20.3.3 представлен фрагмент таблицы, в котором приведены: номер скважины, номер ряда, глубина скважины, диаметр скважины и высота уступа. Эта информация нужна проектировщику при выполнении различных расчетных операций.

В таблице сервера содержится и другая обширная числовая информация, доступная для проектировщика. Информация в таблице сервера непрерывно, каждодневно пополняется.

x	y	z	datactl
86508,0546875	46028,4375	43,2830009460449	
86506,2890625	46023,16796875	42,9339981079102	
86504,7421875	46017,8125	43,1679992675781	
86503,0546875	46012,61328125	43,4749984741211	25.10.2011
86506,9609375	46008,94921875	43,9070014953613	
86511,2265625	46005,6640625	44,3300018310547	
86515,2109375	46001,69921875	44,685001373291	
86519,7734375	45998,125	44,9700012207031	25.10.2011
86523,3671875	45994,4296875	45,1839981079102	
86527,875	45990,85546875	45,6599998474121	
86532,0546875	45986,59765625	46,0270004272461	
86536,125	45983,00390625	45,9529991149902	
86540,21875	45980,26171875	45,9010009765625	
86544,0390625	45976,203125	46,0999984741211	
86546,2421875	45971,59375	46,1110000610352	24.10.2011
86546,9453125	45965,6796875	46,1419982910156	
86546,265625	45960,8203125	46,4169998168945	
86545,7421875	45955,2265625	46,3899993896484	

Рис. 20.3.2 Второй фрагмент таблицы с сервера комбината

Подробно приемы использования проектировщиком серверной информации описаны в инструкции пользователя.

Наиболее узким местом принятой методики проектирования взрывных работ является неиспользование нужной для проектирования, хранящейся на сервере комбината, необходимой для проектирования взрывных работ предпроектной документации.

Усовершенствованный метод проектирования взрывных работ предусматривает переход исключительно к использованию только информации, содержащейся на сервере комбината. Она является достаточной для выполнения всех операций по оперативному проектированию взрывных работ на блоке.

Кроме того, усовершенствованный метод предусматривает возможность многоэтапного проектирования взрывных работ на одном блоке. Серверная информация на блоке пополняется непрерывно. Если возникает ситуация, когда буровые работы на блоке еще не завершены, а зарядание скважин вынуждены начинать, можно составить предварительный проект по состоянию на такое-то число и вести зарядные работы по этому предварительному проекту.

Разрешение на доступ к серверу комбината проектировщик бюро буровзрывного комплекса получает у администратора сервера. У него же он получает и свой личный код.

	type_bur	IdRyad	h	dskv	hust
1	1	1	16	295	13,5
2	1	1	15,5	295	13
3	1	1	15,5	295	13
4	1	1	16	295	13,5
5	1	1	16,5	295	14
6	1	1	17	295	14,5
7	1	1	17,5	295	15
8	1	1	16,5	295	15
9	1	1	17,5	295	15
10	1	1	18	295	15,5
11	1	1	17	295	16
12	1	1	18,5	295	16
13	1	1	18,5	295	16
14	1	1	18	295	16
15	1	1	18,5	295	16
16	1	1	18,5	295	16
17	1	1	18,5	295	16,5
18	1	1	18,5	295	16,5

Рис. 20.3.3. Третий фрагмент таблицы с сервера комбината

Проектные документы буровзрывных работ по очистному блоку.

В применяемом методе проектирования взрывных работ наиболее трудоемкой является работа по формированию «Плана фактического расположения скважин» на плане блока. Эта графическая работа выполняется вручную, в мелком масштабе. Точность отображения на плане фактического расположения скважин на блоке, по нашему мнению, не очень высокая.

Усовершенствованный метод формирования плана фактического расположения скважин полностью автоматизирует процесс построения плана. Нажатием одной кнопки на экране монитора «Применить» все объекты на проектируемом блоке и на прилежащих к нему участках заносятся на план блока. В том числе на план блока заносятся и пробуренные скважины с их номерами, присвоенными маркшейдерской службой рудоуправления.

Скважины заносятся на план блока в строгом соответствии с координатами каждой скважины, определенными в результате маркшейдерской съемки их на блоке. Эти координаты занесены в сервер комбината маркшейдерской службой рудоуправления.

Любой объект на плане блока может быть временно удален с экрана, а затем при необходимости легко восстановлен.

Усовершенствованный метод позволяет изменять в широких пределах масштаб плана и его фрагментов. Это создает дополнительные удобства при визуальном анализе соответствия положения пробуренных скважин их проектному положению. На рисунках 20.3.4 и 20.3.5 представлен фрагмент плана блока в масштабе 1:1000 и 1:500.

При принятом методе проектирования на плане блока вручную (сбоку, снизу, сверху) проектировщик рисует продольный и поперечный разрезы по выбранным сечениям. Построение этих разрезов — кропотливая и трудоемкая работа.

Усовершенствованный метод автоматизирует процесс построения разрезов. Можно формировать любые разрезы в любом количестве и печатать их

на отдельном бумажном носителе в качестве приложения к плану расположения скважин на блоке.

На формирование «Плана фактического расположения скважин» на блоке по усовершенствованному методу затрачивается несколько минут. Поэтому его можно формировать на любом этапе обустройства блока с целью своевременного обеспечения зарядных работ необходимой проектной документацией.

При формировании «Плана фактического расположения скважин» на блоке по усовершенствованному методу на следующем этапе после обустройства следующей группы скважин результаты первого этапа войдут составной частью без каких-либо искажений.

На рис. 20.3.4 представлена часть плана фактического расположения скважин на блоке № 104, горизонта 30, сформированного по усовершенствованному методу. План печатается на листе А3 в масштабе 1:1000.

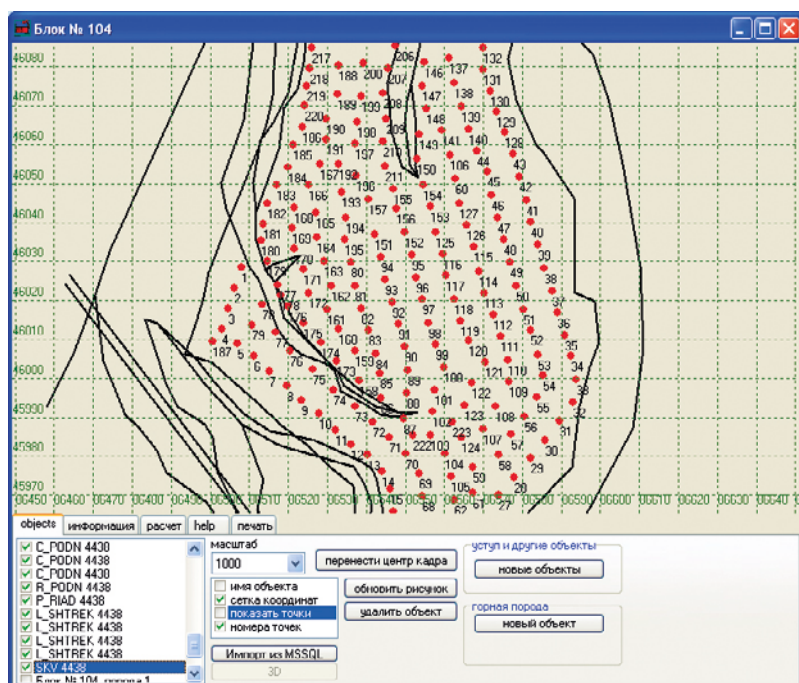


Рис. 20.3.4. План фрагмента блока с фактическим положением пробуренных скважин в масштабе 1:1000

Одним из важных проектных документов является «Таблица корректировочного расчета зарядов». В эту таблицу занесены: номера пробуренных скважин, высота уступа с учетом превышения устья каждой скважины, глубина каждой скважины, ЛСПП, расстояния между рядами скважин, расстояния между скважинами в ряду, диаметр скважин, уровень воды в скважине, объем горной массы, отбиваемый каждой скважиной, удельный расход ВВ по каждой скважине, масса заряда в каждой скважине, длина заряда, длина забойки, вместимость ВВ в каждой скважине, тип ВВ.

Недостатком применяемого метода формирования «Таблицы корректировочного расчета зарядов» является то, что в столбцы таблицы ЛСПП/РМР и РМС проставляются не фактические расстояния между рядами скважин и между скважинами в ряду, а их проектные значения.

Это вносит искажения в расчетные табличные значения объемов горной массы, отбиваемых каждой скважиной, удельного расхода ВВ по каждой скважине. А самое главное — это скрывает факт отклонения фактического положения скважин от их проектного положения.

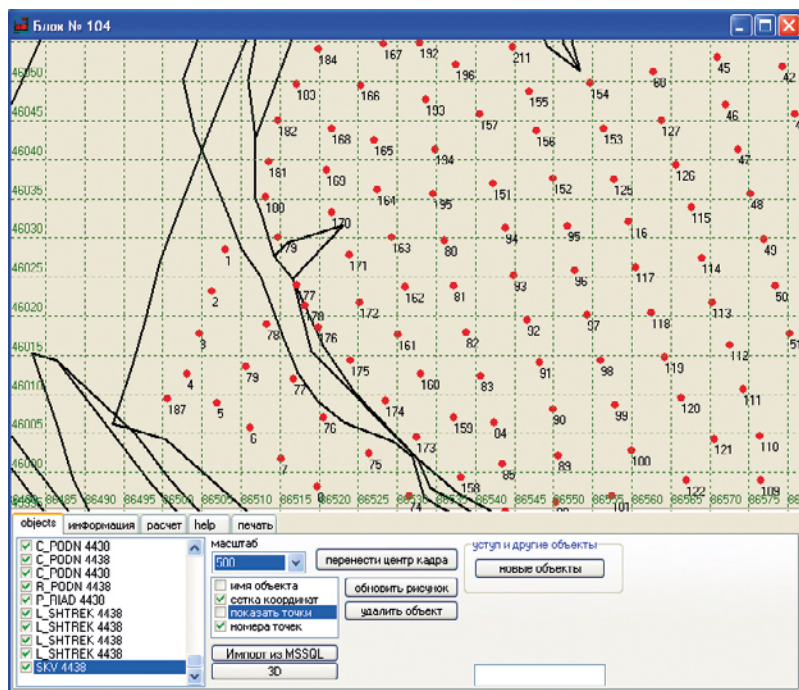


Рис. 20.3.5. План фрагмента блока с фактическим положением пробуренных скважин в масштабе 1:500

Усовершенствованный метод формирования «Таблицы корректировочного расчета зарядов» предусматривает включение в таблицу трех дополнительных столбцов с координатами X, Y и Z устья каждой пробуренной скважины.

Получены аналитические зависимости, позволяющие по координатам устья скважин найти соседнюю скважину при бессистемном их размещении на блоке и рассчитать фактические расстояния между рядами скважин и между скважинами в ряду и устранить вышеупомянутые искажения расчетных величин.

Все поисковые и расчетные операции выполняются в автоматическом режиме. В представленной таблице корректировочного расчета зарядов, сформированной усовершенствованным методом для блока №104 на 30 горизонте карьера, представлены цифровые значения всех проектных и фактически

измеряемых параметров. В демонстрируемой таблице представлена лишь верхняя часть таблицы. Реальная таблица значительно длиннее.

СОГЛАСОВАНО Главный инженер РУ										УТВЕРЖДАЮ Начальник БВК									
ТАБЛИЦА КОРРЕКТИРОВАННОГО РАСЧЕТА ЗАРЯДОВ										И.И. Королев									
Дата взрыва 01.04.2013 № 104 Гор. 30										2012г.									
№	высота уступа м	глубина скалывания м	длина плато м	длина плато м	длина плато м	длина плато м	длина плато м	длина плато м	длина плато м	длина плато м	длина плато м	длина плато м	длина плато м	длина плато м	длина плато м	длина плато м	длина плато м	длина плато м	длина плато м
1	13,5	16	2,5	7,4	5,6	295	670	1,2	670	0	10	6	67	Гри-50	Примечания	Гранит	X	Y	Z
2	13	15,5	2,5	7,3	5,6	295	531,4	1,2	636,5	0	9,5	6	67	Гри-50		670	86508	46028	43,28
3	13	15,5	2,5	7,1	5,5	295	507,7	1,3	636,5	0	9,5	6	67	Гри-50		636,5	86506	46023	42,93
4	13,5	16	2,5	7,0	4,0	295	378,0	1,8	670	0	10	6	67	Гри-50		670	86503	46013	43,47
5	14	16,5	2,5	7,9	5,4	295	597,2	1,2	703,5	0	10,5	6	67	Гри-50		703,5	86507	46009	43,91
6	14,5	17	2,5	8,3	5,4	295	649,9	1,1	737	0	11	6	67	Гри-50		737	86511	46006	44,33
7	15	17,5	2,5	8,0	5,6	295	672,0	1,1	770,5	0	11,5	6	67	Гри-50		770,5	86515	46002	44,69
8	15	17,5	2,5	8,5	5,2	295	663,0	1,1	703,5	0	10,5	6	67	Гри-50		703,5	86520	45998	44,97
9	15	17,5	2,5	8,3	5,2	295	647,4	1,2	770,5	0	11,5	6	67	Гри-50		770,5	86523	45994	45,18
10	15,5	18	2,5	8,3	5,8	295	746,2	1,1	804	0	12	6	67	Гри-50		804	86528	45991	45,66
11	16	17	2,5	7,7	5,4	295	665,3	1,1	737	0	11	6	67	Гри-50		737	86532	45987	46,03
12	16	18,5	2,5	7,8	4,9	295	611,5	1,4	837,5	0	12,5	6	67	Гри-50		837,5	86536	45983	45,95
13	16	18,5	2,5	8,4	4,9	295	658,6	1,3	837,5	0	12,5	6	67	Гри-50		837,5	86540	45980	45,9
14	16	18	2,5	8,4	5,1	295	685,4	1,2	804	0	12	6	67	Гри-50		804	86544	45976	46,1
15	16	18,5	2,5	9,5	5,1	295	775,2	1,1	837,5	0	12,5	6	67	Гри-50		837,5	86546	45972	46,11
16	16	18,5	2,5	9,7	4,9	295	760,5	1,1	837,5	0	12,5	6	67	Гри-50		837,5	86547	45966	46,14
17	16,5	18,5	2,5	8,9	4,9	295	719,6	1,2	837,5	0	12,5	6	67	Гри-50		837,5	86546	45961	46,42
18	16,5	18,5	2,5	8,3	5,1	295	698,4	1,2	837,5	0	12,5	6	67	Гри-50		837,5	86546	45955	46,39
19	16,5	18,5	2,5	8,0	5,1	295	673,2	1,2	837,5	0	12,5	6	67	Гри-50		837,5	86546	45950	46,65
20	16,5	19	2,5	8,8	5,2	295	755,0	1,2	871	0	13	6	67	Гри-50		871	86546	45945	46,25
21	16	18,5	2,5	8,8	5,2	295	732,2	1,1	837,5	0	12,5	6	67	Гри-50		837,5	86546	45939	45,95
22	16,5	19	2,5	6,4	6,5	295	686,4	1,3	871	0	13	6	67	Гри-50		871	86553	45944	46,54
23	16,5	19	2,5	5,2	6,4	295	549,1	1,6	871	0	13	6	67	Гри-50		871	86559	45948	46,45
24	16,5	19	2,5	8,9	6,3	295	925,2	0,9	871	0	13	6	67	Гри-50		871	86562	45953	46,41
25	16,5	19	2,5	6,3	6,3	295	654,9	1,3	871	0	13	6	67	Гри-50		871	86566	45958	46,73
26	16,5	17,5	1	7,9	6,1	295	795,1	1,0	770,5	0	11,5	6	67	Гри-50		770,5	86570	45965	46,73
27	17	19,5	2,5	6,6	6,0	295	673,2	1,3	904,5	0	13,5	6	67	Гри-50		904,5	86574	45970	46,95
28	17	19,5	2,5	4,4	6,0	295	448,8	2,0	904,5	0	13,5	6	67	Гри-50		904,5	86578	45975	47,01
29	17	19	2	4,9	5,9	295	491,5	1,8	871	0	13	6	67	Гри-50		871	86582	45980	46,8
30	17	19	2	4,7	5,9	295	471,4	1,8	871	0	13	6	67	Гри-50		871	86586	45984	46,76
31	17	19,5	2,5	5,1	6,0	295	520,2	1,7	904,5	0	13,5	6	67	Гри-50		904,5	86590	45989	46,71
32	16,5	19	2,5	5,0	5,8	295	478,5	1,8	871	0	13	6	67	Гри-50		871	86593	45994	46,35
33	16,5	19	2,5	7,0	5,8	295	669,9	1,3	871	0	13	6	67	Гри-50		871	86594	46000	46,43
34	16,5	19	2,5	7,1	5,7	295	667,8	1,3	871	0	13	6	67	Гри-50		871	86593	46006	46,54
35	16	18,5	2,5	8,4	5,7	295	766,1	1,1	837,5	0	12,5	6	67	Гри-50		837,5	86591	46011	45,95
36	16,5	19	2,5	8,2	5,7	295	771,2	1,1	871	0	13	6	67	Гри-50		871	86589	46017	46,45
37	16	18,5	2,5	8,5	5,7	295	775,2	1,1	837,5	0	12,5	6	67	Гри-50		837,5	86588	46022	46,09
38	16,5	19	2,5	8,1	6,1	295	815,3	1,1	871	0	13	6	67	Гри-50		871	86586	46028	46,42

Метод предусматривает автоматическое занесение маркшейдерских цифровых значений из сервера комбината в таблицу корректировочного расчета зарядов.

Предусмотрено занесение во весь столбец или блоками, или по единичным значениям цифровых величин и типа ВВ, выбор которых определяет проектировщик проектного бюро буровзрывного комплекса.

Усовершенствованный метод оперативного проектирования взрывных работ в карьере предусматривает формирование отдельного документа с рассчитанными радиусами опасных зон: сейсмической волны для зданий и сооружений, воздушной волны для человека, разлета кусков породы для людей и для оборудования. Такой документ формируется для каждого проектируемого блока. В предложенном методе сохраняются все ранее используемые формулы и расчетные процедуры. Незначительно изменена лишь форма документа.

Расчет радиусов опасных зон для каждого блока используется при решении вопросов безопасности при подготовке массового взрыва в карьере, при определении совместных границ безопасности, при определении безопасных мест размещения технологического оборудования.

Документ «Расчет опасных зон», сформированный усовершенствованным методом для блока № 104 представлен в тексте этого параграфа.

Усовершенствованный метод оперативного проектирования взрывных работ в карьере предусматривает формирование отдельного документа «Конструкция зарядов». В базу занесены все конструкции зарядов, предусмотренные «Типовым проектом буровзрывных работ» Михайловского ГОКа. Из базы выбирается проектировщиком нужная конструкция заряда. Она привязывается ко времени, к блоку с учетом условий взрывания на блоке и печатается. В тексте этого параграфа представлен для блока № 104 проектный документ «Конструкция скважинных зарядов».

Усовершенствованный метод оперативного проектирования взрывных работ в карьере предусматривает формирование отдельного документа «Схема коммутации взрывной сети». На рис. 20.3.6 представлена схема коммутации взрывной сети, сформированная по усовершенствованному методу

Небрежное обустройство блока является одной из основных причин плохого качества дробления горной массы взрывом.

Расчет радиусов опасных зон блока №

104, гор. 30

Расчет заряда производится по формуле:

$$Q=q \cdot v$$

где: q-удельный расход ВВ (кг/м³).

$$V=a \cdot h$$

где: a-РМС, (м); W-ЛСПП, (м); h-высота, (м).

Схема взрывной сети прилагается

Радиус сейсмоопасной зоны для зданий и сооружений определяется по формуле:

$$R_c=K_1 \cdot K_2 \cdot a \cdot \sqrt[3]{Q_c} = 274,7$$

$$K_1 = 12$$

$$K_2 = 1$$

$$a = 1$$

$$Q_c = 12000$$

Безопасное расстояние по воздействию воздушной ударной волны на человека определяется по формуле

$$R_b=15 \cdot \sqrt[3]{Q_{секц}} = 343,4$$

$$Q_{секц} = 12000$$

Радиус опасной зоны по разлету кусков определяется по формуле стр.95 ЕПБ при взрывных работах, издания 2011 г.

$$R_{разл} = 1250 \cdot N_{зар} \cdot \sqrt[3]{V_f / (1 + N_{заб})} \cdot (d/a) \quad (м)$$

где: N_{зар}-коэффициент заполнения скважины взрывчатим веществом.

$$N_{зар} = l_{зар} / L$$

где: l_{зар}-длина заряда в скважине (м);

L-глубина пробуренной скважины (м);

f-коэффициент крепости по шкале М.М. Протодяконова

d-диаметр взрываваемой скважины (м);

a-расстояние между скважинами в ряду или между рядами (м);

N_{заб}-коэффициент заполнения скважин забойкой.

$$N_{заб} = l_{заб} / l_n$$

где: l_{заб}-длина забойки (м)

l_n-глубина свободной от заряда верхней части скважины (м).

При взрыве без забойки N_{заб}=0.

РАДИУСЫ ОПАСНЫХ ЗОН

Данные к расчету		Результаты расчетов	
l _{зар} , (м)	15	Радиус сейсмической зоны, (м)	274,7
L, (м)	21	Безопасное расстояние по УВВ, (м)	343,4
	102		
d, (м)	0,31	R _{разл} , расчетное, (м):	642
a, (м)	6		
N _{заб} , (м)	1	R _{разл} , принято (м):	600
l _{заб} , (м)	6		
l _n , (м)	6	R _{разл} , для оборуд., (м):	400

Составил: Нач. техбюро БВК

Назаров К.В.

Согласовано: Гл. инженер РУ

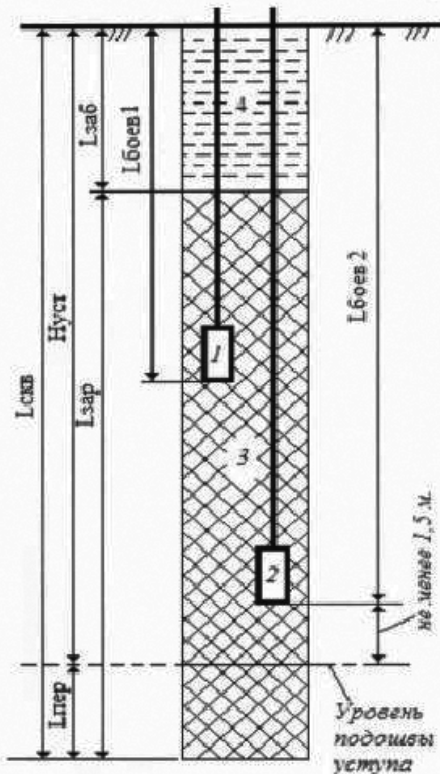
Трофимов С.В.

Начальник БВК

Королев И.И.

Утверждаю:
гл. инженер БВК
Королев И.И.

Конструкция скважинных зарядов



Бл. № 104, гор. 30
Гор. +110 м.

$L_{боев1}$, м.	7,0 - 12,0
$L_{боев2}$, м.	7,0 - 12
$L_{скв}$, м.	7,0 - 22,0
$L_{уст}$, м.	5,0 - 21,0
$L_{пер}$, м.	0,5 - 3,5
$L_{зар}$, м.	3,0 - 17,0
$L_{заб}$, м.	4,0 - 6,0

из 1 шашки ТС-1000 и изделия СИНВ-С-450
из 1 шашки ТС-1000 и изделия СИНВ-С-450
Гранэмит И30 или И50
Инертная
Edit24

Составил: Карченков К.А.

Проверил: Назаров К.В.

С проектом ознакомлены:

Edit17

Edit18

Edit19

Edit20

Edit21

Edit22

Edit23

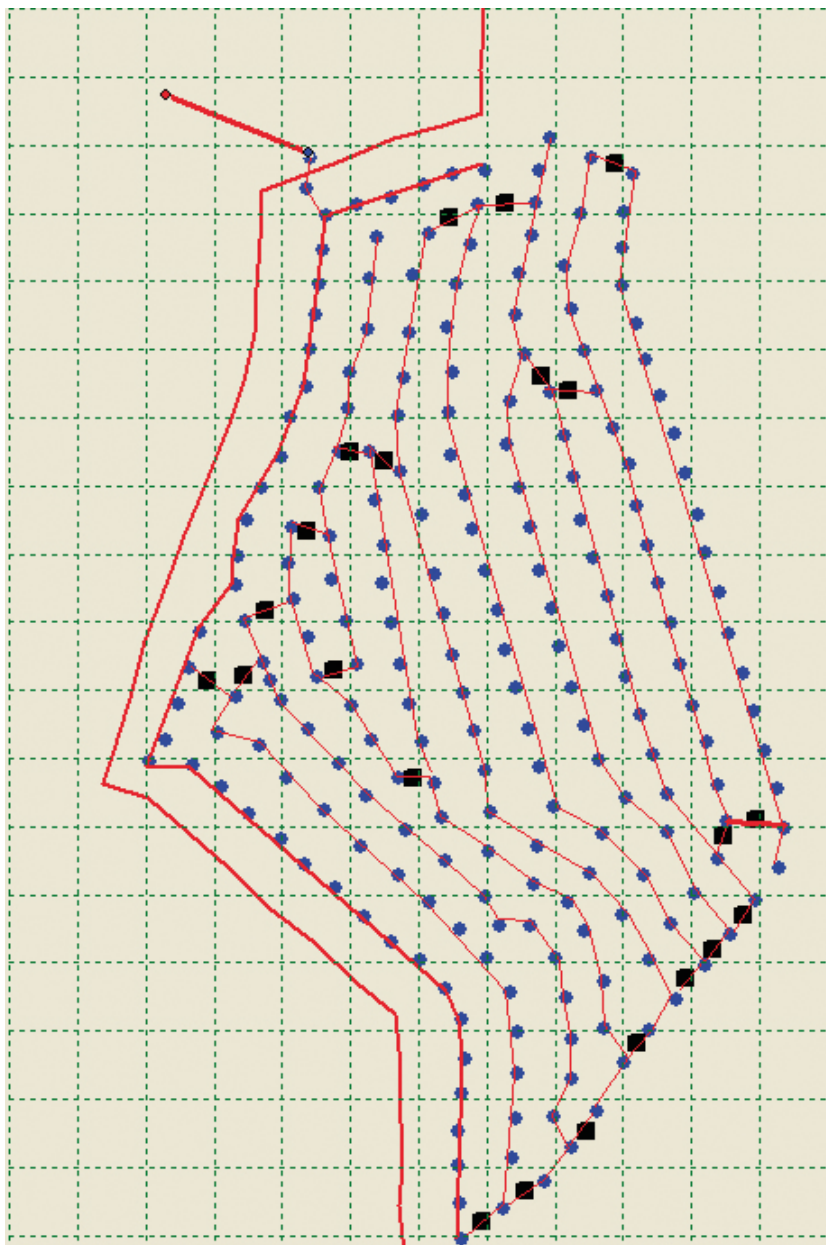


Рис. 20.3.6. Схемы коммутации взрывной сети

Установка бурового станка на проектную точку связана с его маневрированием, с потерей времени и особенно неприятна для малоопытных машинистов буровых станков. При существующем методе оперативного проектирования взрывных работ практически невозможно по плану расположения скважин определить места и размеры сделанных отклонений реальных скважин от точек их проектного заложения.

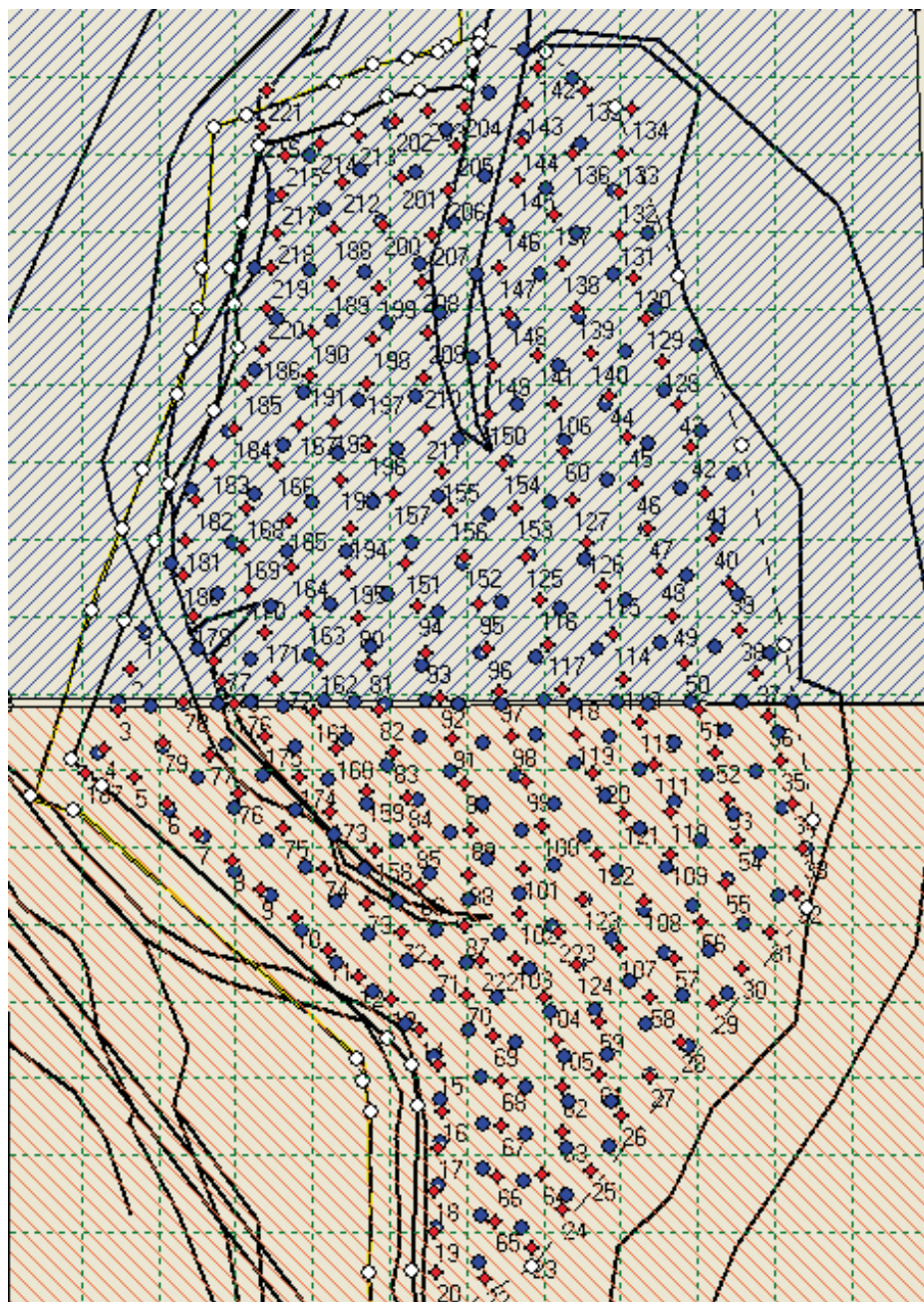


Рис. 20.3.7. Совмещенный план проектных и пробуренных скважин

Исправить результаты небрежного бурения скважин на уже обустроенном блоке невозможно. Но если эти факты не выявлять и не принимать меры воспитательного, экономического или административного порядка, такие факты будут повторяться и множиться.

Разработанный усовершенствованный метод оперативного проектирования взрывных работ предусматривает построение совмещенного плана фактического положения пробуренных скважин и их проектного положения. Фактически пробуренные скважины и проектные скважины на совмещенном плане наносятся разным цветом.

На рис. 20.3.7 представлен совмещенный план проектных и пробуренных скважин на демонстрационном блоке № 104. Проектные скважины залиты синим цветом, и рядом с ними проставлены номера скважин. Фактически пробуренные скважины нанесены кружечками. Видно, что при бурении скважин проект на бурение не всегда соблюдался.

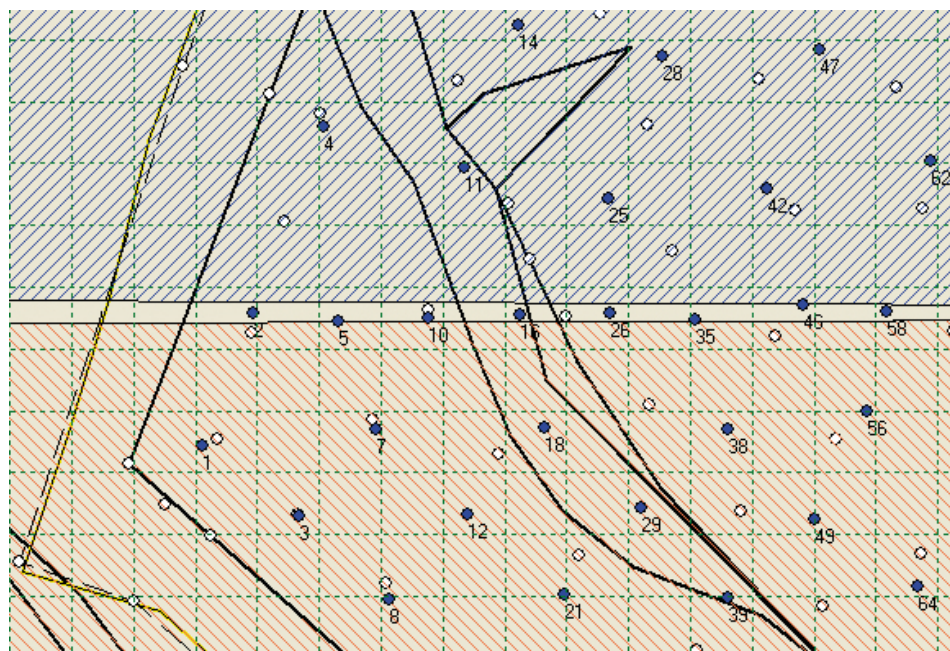


Рис. 20.3.8. Фрагмент совмещенного плана проектных и пробуренных скважин в другом масштабе

Усовершенствованный метод позволяет построить разрезы проектируемого блока, продольные и поперечные. Разрезы формируются последовательно (рис. 20.3.9).

Качество взрывоподготовки горной массы в карьерах зависит от многих природных, технологических и организационных факторов. Оно оказывает существенное влияние на все последующие технологические операции горных и обогатительных цехов предприятия. В конечном счете качество взрывоподготовки горной массы влияет на себестоимость конечной продукции и на прибыль предприятия.

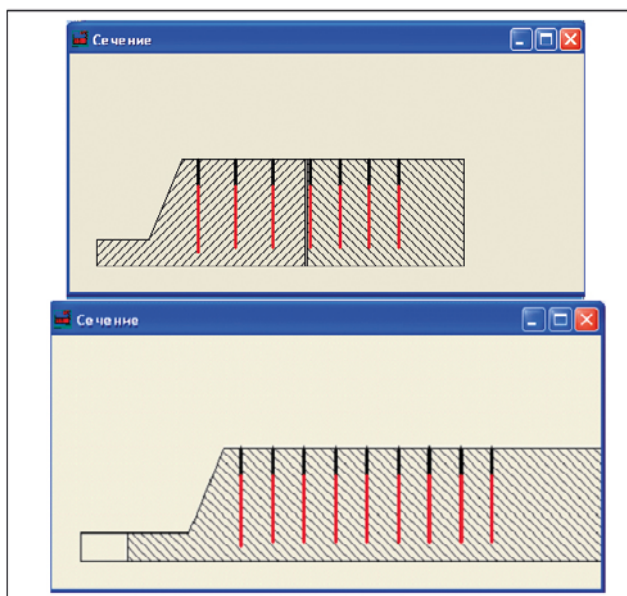


Рис. 20.3.9. Разрезы

Критериями оценки качества взрывоподготовки горной массы являются:

- линейный размер кондиционного куска;
- размер среднего куска раздробленной горной массы;
- гранулометрический состав раздробленной горной массы;
- выход негабарита.

Линейный размер кондиционного куска зависит от параметров погрузочного, транспортного оборудования и параметров дробилок первой стадии дробления. На горном предприятии могут одновременно принимать несколько линейных размеров кондиционных кусков, для каждого из которых взрываемость любой горной породы будет разной.

Для руд, поступающих на обогатительную фабрику, линейный размер кондиционного куска принимается минимальный из трех:

- по параметрам ковша экскаватора;
- по параметрам кузова самосвала;
- по параметрам дробилки первой стадии дробления.

Для вскрышных пород, поступающих в отвал, линейный размер кондиционного куска принимается минимальный из двух:

- по параметрам ковша экскаватора;
- по параметрам кузова автосамосвала.

Для руд и горных пород, поступающих на подземный конвейер, линейный размер кондиционного куска принимают по параметрам дробилки, установленной перед загрузкой конвейерных лент.

На Михайловском ГОКе приняты три значения линейных размеров кондиционных кусков.

Линейный размер кондиционного куска учитывают при определении или выборе категории взрываемости горной породы.

В 2010 году ИПКОН РАН передал Михайловскому ГОКу разработанную для условий Михайловского карьера «Классификацию взрываемости руд и горных пород Михайловского карьера» (отчет по договору № 100905 за 2010 г.).

В классификации представлены 18 разновидностей руд и горных пород карьера. Для каждой породы категории взрываемости определены для двух типов взрывчатых веществ и для трех линейных размеров кондиционных кусков. Классификация разработана на основе «Общей классификации горных пород по взрываемости», которая включает десять категорий взрываемости. Каждая разновидность руд и горных пород имеет шесть категорий взрываемости.

«Классификация взрываемости руд и горных пород Михайловского карьера» более детально учитывает изменяющиеся условия взрывания, чем ранее использовавшаяся в Михайловском карьере классификация по взрываемости.

Размер среднего куска раздробленной горной массы, широко используемый в учебном процессе и в технической литературе, является величиной виртуальной, которая не существует в природе. Ее нельзя увидеть и пощупать. В практике горных предприятий эта величина практически не используется.

Гранулометрический состав раздробленной горной массы наиболее полно характеризует качество взрывоподготовки руд и горных пород. Но из-за трудности его измерения при больших объемах отбитой горной массы его замещают определением выхода негабарита.

Выход негабарита – это часть таблицы грансостава раздробленной горной массы, наиболее существенно влияющая на все последующие технологические операции горного производства.

В карьерах выход негабарита не измеряют, а рассчитывают по одному из косвенных методов, чаще всего по расходу средств взрывания на вторичное дробление. Этот метод подвержен сильному субъективному влиянию расчетчика. Полученные по этому методу результаты далеки от реальности.

Выход негабарита неразрывно связан с измерением грансостава раздробленной горной массы. Если измерен грансостав, определен и выход негабарита.

При экспериментальном определении грансостава наибольшее распространение получил фотопланиметрический способ. Он, конечно, тоже не лишен недостатков.

При определении грансостава в вагонетке, в кузове, в малых навалах мелко раздробленной породы фотопланиметрический способ дает хорошие результаты. И в этих условиях он достаточно трудоемкий из-за громоздкости расчетов. Но в этих условиях трудности преодолимы.

При измерении грансостава в карьерных развалах фотопланиметрическим способом его трудоемкость резко возрастает и может быть преодолена только с подключением компьютерной обработки фотопланов. В целях повышения точности измерения необходимо учитывать дополнительные факторы, такие как искажение линейных размеров кусков на фотопланах, определение представительной суммарной обчитываемой площади (представительность пробы) и др.

Любой способ экспериментального измерения грансостава не может улучшить качество взрывоподготовки горной массы. Он может быть лишь веским основанием для выяснения причин плохого дробления породы. Причин плохого дробления породы потенциально существует много, начиная от проектирования БВР и кончая монтажом взрывной сети.

Только одна-единственная причина — нерационально выполненная операция вполне способна обеспечить плохое дробление породы при рациональном выполнении всех других операций.

Использование результатов экспериментального определения грансостава для выяснения отношений между службами рудоуправления и буровзрывного комплекса играет незавидную роль. Эти результаты всегда направлены против интересов буровзрывного комплекса. Это провоцирует негативное отношение работников буровзрывного комплекса и к способу экспериментального определения грансостава, и к его результатам.

Результаты экспериментального определения грансостава в развале отбитой горной массы в карьере целесообразно использовать только при решении внутренних проблем буровзрывного комплекса. Только в этом случае работники буровзрывного комплекса будут положительно, по достоинству, оценивать полезность экспериментального способа и его результатов.

Единственным из существующих способов, пригодным для карьеров является экспериментальный фотопланиметрический способ определения грансостава с компьютерной обработкой фотопланограмм. Этим способом определяется и выход негабарита как часть таблицы грансостава.

20.4. Краткий навигатор компьютерного проектирования буровзрывных работ

В ИПКОН РАН разработан и предложен новый вспомогательный документ к инструкции пользователя компьютерной программой проектирования массовых взрывов в карьерах. Этот документ назван **«Краткий навигатор компьютерного проектирования буровзрывных работ»**. Этот документ разработан под научным руководством профессора С.Д. Викторова. Основные разработчики — Н.Н. Казаков, А.В. Шляпин и И.Н. Лапиков.

Этот документ представляет собой записанную последовательность компьютерных операций, которые должен выполнять оператор компьютера при проектировании документов на массовый взрыв на блоке.

Краткий навигатор дает возможность оператору без особого труда и путаницы освоить методику компьютерного проектирования буровзрывных работ при подготовке массового взрыва в карьере.

Краткий навигатор

Перенос информации с сервера комбината на компьютер проектировщика

1. Оператор, пользуясь разрешением и личным паролем, который он получил от администратора сервера комбината, входит со своего компьютера в сервер комбината, находит нужный блок, копирует его электронный

индекс (в нашем примере это Блок № 104, индекс 4438.kdr) и заносит номер блока и его индекс в свой компьютер по адресу: С – mprogram – серверная информация о блоках. В папке «Серверная информация о блоках» создаются папки с номерами блоков. В нашем примере это папка «Блок № 104». В папку «Блок № 104» заносится индекс блока. В нашем примере это «4438.kdr».

Формирование «Плана фактического расположения скважин на блоке»

1. Включаем программу «Проектирование взрывных работ».
 2. В программе ustup11.exe. открывается главное окно программы.
 3. В главном окне щелкаем кнопку «Планы».
 4. Список планов.
 5. Новый план.
 6. В нижнем окне набираем с клавиатуры номер проектируемого блока. У нас это «Блок № 104».
 7. Показать план.
 8. Objects, если активизировалось другое окошко.
 9. Поставить галочки в квадратах перед кнопками «Сетка скважин», «Показать точки», «Номера точек».
 10. Импорт из MSSQL.
 11. Нажимаем кнопку «Открыть файл».
- Здесь открыт код блока от прежних работ. Его нужно заменить кодом проектируемого блока. Если в верхней строке отсутствует надпись «Серверная информация о блоках», находим эту папку, пользуясь зеленой стрелкой вверх. Иногда путь поиска папки удлиняется.
12. Щелкаем по зеленой стрелке вверх.
 13. Еще раз щелкаем по зеленой стрелке вверх.
 14. Открываем файл «Серверная информация о блоках».
 15. Щелкаем два раза по номеру проектируемого блока.
- У нас это «Блок № 104». Некоторая путаница возникает оттого, что у нас старый блок и проектируемый блок имеют один номер. При реальном проектировании такой ситуации не будет. Другие блоки на сервере были недоступны нам.
16. 4438.kdr.
 17. Открыть.
 18. Проставить логин и пароль оператора.
 19. ОК.
 20. Применить.
- Объекты заносятся на план блока с пробуренными скважинами.
21. Убрать галочку в квадрате перед кнопкой «Показать точки».
- На плане блока пробуренные скважины с номерами.
22. Возвращаемся в Главное окно программы.
 23. Нажимаем кнопку «Исходные данные».
 24. Текст к плану.
 25. Внести изменения. Уточнить название документа. Проставить номер проектируемого блока. Блок № 104, уточнить фамилии составителей.
 26. Применить.
 27. Закрыть «Исходные данные», если они сами не исчезают.

28. Обновить рисунок.
29. Objects, если открыто другое окошко.
30. Убрать галочки около «Показать точки».
31. Активизировать объект P_RIDA 4438. На плане активизировалась линия последнего ряда ранее взорванных скважин. Полезно запомнить ее положение.
32. Активизировать объект SKV 4438.
33. Нажать кнопку «Печать».
34. Нажать кнопку «Печать». Ниже.
35. Нажать кнопку «Печать» на левой стороне плана блока. План печатать на цветном принтере, на листе А3.

Печатается план фактического расположения скважин

36. Objects.
 37. Обновить рисунок.
- Формирование «Таблицы корректировочного расчета зарядов»***
38. Возвращаемся в Главное окно программы.
 39. Нажимаем кнопку «Исходные данные».
 40. Нажимаем кнопку «Текст к скважинам».
 41. Уточняем фамилии, номер блока и горизонта, дату взрыва.
 42. Нажимаем кнопку «Применить».
 43. Активизируем окно плана блока.
 44. Нажимаем кнопку «Расчет».
 45. Ставим длину забойки.
 46. Нажимаем кнопку «Корректировочная таблица». Формируется таблица. Возможно ОК, Закрыть случайное окно.
 47. Разметка страницы.
 48. Ориентация.
 49. Альбомная.
 50. Нажимаем верхний левый кружок на экране монитора.
 51. Нажимаем «Печать».

На принтере печатается многостраничная «Таблица корректировочного расчета зарядов» на альбомной странице.

52. Закрываем таблицу.
53. Нет.

Определение радиусов опасных зон

54. Активизируем Главное окно программы.
55. Нажимаем кнопку «Инструменты».
56. Нажимаем кнопку «Опасные зоны».
57. Проектировщик должен внимательно просмотреть надписи и цифры, заменить некоторые из них на фамилии, надписи и цифры, соответствующие проектируемому блоку.
58. Нажимаем кнопку «Расчет» в этом же окне.
59. Через несколько секунд нажимаем кнопку «Excel». На экране результаты расчета.
60. На принтере, на листе А4, ***печатается проектный документ «Расчет радиусов опасных зон»***
61. Закрываем все окна, связанные с радиусами опасных зон.

Подготовка и печать конструкции зарядов

62. Активизируем Главное окно программы.
63. Нажимаем кнопку «Инструменты»
64. Нажимаем кнопку «Конструкция заряда».
65. Проектировщик выбирает конструкцию заряда и нажимает выбранную кнопку.
66. Проектировщик внимательно просматривает все надписи и цифры в окошках этого окна, производит необходимые изменения с клавиатуры компьютера.
67. Нажимаем кнопку «Вход в Excel». На экране результаты расчета.
68. На принтере, на листе А4, **печатается проектный документ «Конструкция заряда блока № 104».**
69. Закрываем все окна, связанные с конструкцией заряда.
- Формирование и печать «Схемы коммутации взрывной сети»
70. Активизируем окно плана проектируемого блока № 104.
71. Объект. Убираем галочки в квадратах перед всеми объектами в левом нижнем окошке.
72. В окошке правее оставляем галочку только перед кнопкой «Сетка координат».
73. Ставим галочку перед объектом P_RIAD4438.
74. Ставим галочку перед объектом SKV4438 и активизируем его.
75. Убираем галочку перед кнопкой «Номера точек».
76. Активизируем главное окно программы.
77. Нажимаем кнопку «Исходные данные».
78. Пользуясь линейками прокрутки, находим и нажимаем кнопку «текст к схеме коммутации».
79. Уточняем название документа, номер блока, номер горизонта.
80. Нажимаем кнопку «Применить».
81. Нажимаем кнопку «Обновить рисунок». При необходимости.
82. Нажимаем кнопку «Печать».
83. Ставим точку в кружочке перед надписью «Схема коммутации взрывной сети».
84. Нажимаем кнопку «Печать». Ниже.
85. Нажимаем кнопку «Печать» на левой стороне плана блока.
- На принтере, на листе А3, **печатается заготовка для «Схемы коммутации взрывной сети».** Эти заготовки проектировщик может использовать для рисования «Схемы коммутации взрывной сети».
- Далее излагается компьютерный метод рисования «Схемы коммутации взрывной сети».
86. Раскрываем окно на весь экран.
87. Объект. Обновить рисунок
88. Нажимаем кнопку «Взрывная сеть».
89. Вид объекта.
90. Поставить точку в кружке около «Линии».
91. Выбрать толщину линии (4).
92. Выбрать цвет (черный). Применить.
93. Раскрыть окно на весь экран.

94. Объект. Обновить рисунок.

95. Поставить галочку около «Показать точки» и «Номера точек».

96. Правой кнопкой мышки, последовательно проставляя точки по краям прямых участков, провести линию коммутации взрывной сети. Нужно стараться с одного объекта «Взрывная сеть» провести все нужные линии схемы коммутации. Допускается повторный проход по уже проведенным линиям.

97. Когда с использованием строки «Взрывная сеть» большинство линий коммутации (с некоторым перекрытием линий) провели, делаем остановку.

98. Нажимаем кнопку «Взрывная сеть».

99. Активизируем появившуюся ниже строку «Взрывная сеть».

100. Правой кнопкой мышки проставляем одну из недостающих линий коммутации на схеме коммутации.

Повторяем эту операцию до тех пор, пока все линии коммутации будут проведены. При навыке оператора эта работа выполняется быстро.

101. Нажимаем верхнюю кнопку «Новый объект». Нажимаем кнопку «Вид объекта».

102. Вместо надписи «Имя объекта» ставим с пульта надпись «Замедлители».

103. Ставим точку в кружочке перед словом «Квадраты».

104. Выбираем цвет линии.

105. Выбираем цвет заливки.

106. Применить. ?

107. Объекты.

108. Обновить рисунок.

109. Правой кнопкой мышки проставляем замедлители в нужных местах.

110. Нажимаем кнопку «Взрывная сеть».

111. Правой кнопкой мышки проводим линию в месте подачи взрывного импульса. Вручную, после печать схемы, превращаем эту линию в стрелку.

112. Нажимаем кнопку «Печать».

113. Нажимаем кнопку «Печать». Ниже.

114. Ставим точку в кружочке перед надписью «Схема коммутации взрывной сети».

115. Нажать кнопку «Печать» на левой стороне плана блока.

На принтере печатается «Схемы коммутации взрывной сети»

116. Убрать галочки около всех объектов «Взрывная сеть» и «Замедлители».

117. Ставим галочки перед объектом P_RIAD4438 и перед объектом SKV4438. Активизируем объект SKV4438.

***Формирование схемы совмещенного положения
проектных и пробуренных скважин***

118. Активизировать план блока.

119. Убрать галочку около «Показать точки».

Выбор из списка и занесение на план блока названий горных пород. Породы могут быть уже занесены раньше. В таком случае повторно их не заносить. Но если породы не занесены на план блока, проектные скважины будут располагаться на блоке по фиксированной нереальной сетке 4 x 4 м.

120. Перейти в главное окно программы.
 121. В Главном окне программы щелкнуть по кнопке «Горные породы».
 122. Новая порода.
 123. В нижней строке набираем с клавиатуры «Порода 1, Блок № 104».
 124. Показать.
 125. По левой нижней стрелке открыть выпадающий список названий горных пород. Выбираем «Руда гематито-мартитовая».
 126. По левому верхнему прямоугольнику щелкаем левой кнопкой мышки.
 127. Выбираем цвет. Например, синий.
 128. Определить цвет.
 129. Перемещаем правую стрелу вверх-вниз, чтобы выбрать нужную интенсивность окраски.
 130. Добавить в набор.
 131. ОК.
 132. Поставить точку в кружочке «Диагональ первого вида», «Гранэмит», «1000», «295».
 133. Выбираем численные значения a и b так, чтобы их произведение лежало в диапазоне изменения «S».
 134. Применить.
 135. Новая порода.
 136. В нижней строке набрать с клавиатуры «Порода 2, Блок № 104». Нужно ставить номер проектируемого блока.
 137. Показать.
 138. По левой нижней стрелке открыть выпадающий список названий горных пород. «Неокисленные среднезернистые железистые кварциты».
 139. По левому верхнему прямоугольнику щелкаем левой кнопкой мышки.
 140. Выбираем цвет. Например, оранжевый.
 141. Определить цвет.
 142. Перемещаем правую стрелу вверх-вниз, чтобы выбрать нужную интенсивность окраски.
 143. Добавить в набор.
 144. ОК.
 145. Поставить точку в кружочке «Диагональ второго вида», «Гранемит», «1000», «295».
 146. Выбираем численные значения a и b так, чтобы их произведение лежало в диапазоне изменения «S».
- Команды 121–132 повторять столько раз, сколько разновидностей пород на блоке.

147. Заккрыть все окна горных пород.

Занесение контуров рудных тел на план блока

148. Активизировать план блока. Если нужно, обновить рисунок.
149. Раскрыть окно плана во весь экран.
150. Обновить рисунок.
151. Если нужно, переместить центр кадра.
152. Новый объект (под надписью «Горная порода»).
153. Нажимаем стрелку справа. Выпадает список выбранных пород.

154. Из выпадающего списка выбираем «Порода 1, Блок № 104».
 155. В левом нижнем окне объектов активизировать «Порода 1, Блок № 104», если он не активизирован.
 156. Правой кнопкой мышки проставить точки по замкнутому контуру горной породы 1, «Руда гематито-мартитовая».
 157. Новый объект (под надписью «Горная порода»).
 158. Нажимаем стрелку справа. Выпадает список выбранных пород.
 159. Из выпадающего списка выбираем «Порода 2, Блок № 104».
 160. В левом нижнем окне объектов активизировать «Порода 2, Блок № 104».
 161. Правой кнопкой мышки проставить точки по замкнутому контуру горной породы 2.
- Если контуры пород проектировщик не хочет выносить на печать, нужно убрать галочки в нижнем левом окне перед названиями пород. Контуры пород с экрана исчезнут, но в памяти компьютера они сохранятся. Если галочки восстановить, контуры появятся вновь.
- Так можно временно убрать с экрана любой объект.
162. Если на плане информация о пробуренных скважинах частично потеряна, в окне «Объекты» найти и активизировать объект СКV 4438.
 163. Уменьшить экранное изображение.
 164. Нажимаем кнопку «Бровка уступа». Формируются новые объекты.
 165. Снять галочки около вновь сформированных объектов.
 166. Проставить галочки около объектов «Верхняя бровка уступа», «Нижняя граница уступа», «Зона обруивания».
 167. Активизировать объект «Верхняя бровка уступа».
 168. Возможны операции «Вид объекта», «Треугольник», заливка белая, ОК.
 169. Раскрыть план на весь экран.
 170. Обновить рисунок.
 171. В трех метрах от первого ряда пробуренных скважин правой кнопкой мышки последовательным проставлением точек провести верхнюю бровку уступа. Проводить верхнюю бровку нужно в таком направлении, при котором пунктирная нижняя бровка будет обращена в сторону последнего ряда ранее взорванных скважин. В нашем примере верхнюю бровку нужно проводить сверху вниз. Первые две и последние две точки ставятся за пределами зоны обруивания.
 172. Активизировать объект «Нижняя граница уступа».
 173. Возможны операции «Вид объекта», «Треугольник», заливка белая, ОК.
 174. Переместить правой кнопкой мышки точки нижней границы уступа на линию последнего ряда ранее взорванных скважин.
 175. Активизировать объект «Зона обруивания».
 176. Добавить и переместить точки обруивания в нужные места.
 177. Ставим галочку и активизируем объект «Проектируемые скважины» из группы объектов.
 178. Расчет.
 179. Сетка скважин.

На экране проектируемые скважины, наложенные на план фактически пробуренных скважин.

Из-за густого расположения скважин на плане блока их положение трудно анализировать. Но если изменить масштаб на 1:500 или даже на 1:300, то положение скважин станет удобным для анализа. С помощью кнопки «Переместить центр блока» можно переходить от одной части блока к другой. Участок плана можно распечатать с помощью программы Paint.

Примечание.

Если проектирование буровых работ проводили по этой же совмещенной программе и результаты проектирования буровых работ сохранили в памяти компьютера, то процедура наложения проектных и пробуренных скважин резко упрощается. Нужно только поставить галочку около объекта «Проектируемые скважины» и активизировать этот объект. Совмещенный план появится на экране.

180. Уменьшить изображение на экране.

181. Перейти в главное окно программы.

182. Нажать кнопку «Исходные данные».

183. Нажать кнопку «Текст к скважинам пробуренным».

184. Сделать нужные исправления.

185. Активизировать план блока.

186. Нажать кнопку «Печать».

187. Нажать кнопку «Печать». Ниже.

188. Нажать кнопку «Печать» на поле плана.

189. Печатается совмещенная схема расположения проектных и пробуренных скважин. Формирование разрезов

190. Активизировать план блока.

191. На плане блока в управляющей панели активизируем объект «вышележащий уступ».

192. Правой кнопкой мышки проставляем линию бровки вышележащего уступа. Вместе с ней формируется и нижняя граница вышележащего уступа.

193. Активизируем объект «Нижележащий уступ».

194. Правой кнопкой мышки проставляем линию бровки нижележащего уступа. Вместе с ней формируется и нижняя граница нижележащего уступа.

195. Поставить галочки около «Сетка координат», «Показать точки» и «Номера точек».

196. Нажимаем кнопку «Линия разреза».

197. Правой кнопкой мышки поставить на плане две точки в концах линии разреза.

198. Нажать кнопку «Расчет».

199. Нажать кнопку «Построить сечение». На экране появляется сечение.

200. Нажать кнопку «Печать».

201. Ставим точку в кружке «Разрезы».

202. Нажать кнопку «Печать».

203. Ориентация «Ландшафтная».

204. Аналогично строятся следующие разрезы.

205. После построения всех разрезов нажимаем кнопку «Печать» верхнюю.

Печатается документ «Разрезы». Количество разрезов не ограничивается.

Сохранение проектной документации в папке «Сохраненные проекты»

Чтобы сохранить все выше сделанное необходимо.

1. Активизировать Главное окно.
2. Файл.
3. Сохранить как.
4. Нажать зеленую поисковую стрелку.
5. Открыть папку «Сохраненные проекты». Если такой папки нет, создать ее.

6. В нижней строке перед именем файла поставить Блок № 104.

7. Сохранить.

Все проделанное сохраняется в папке «Сохраненные проекты». При следующем включении компьютера сохраненную информацию можно вызвать на экран.

8. Активизируем Главное окно программы.
9. Файл.
10. Открыть.
11. Зеленая стрелка поиска.
12. Сохраненные проекты.
13. Блок № 104 Ustup11.mek.
14. Открыть.
15. В Главном окне программы нажимаем кнопки «Планы» и «Список планов».

16. Нажимаем кнопку «показать план».

17. Поставить галочки перед кнопками «Сетка скважин», «Номера точек».

18. Убрать галочку перед кнопкой «Показать точки».

Иногда нужно поставить галочку перед объектом SKV 4438.

Сделано сохранение. Можно продолжать проектные работы.

Проектирование бурения

Краткий навигатор действия оператора программы «Ustup 11» (детали и подробности в инструкции)

Предложенная программа проектирования взрывных работ совмещена с программой проектирования буровых работ и улучшена. Поэтому проектирование бурения на блоке лучше выполнять по программе проектирования взрывных работ и сохранять результаты проектирования буровых работ в памяти компьютера до начала проектирования взрывных работ.

1. На плане блока (на бумажном носителе) поставить ручкой крестики в двух точках (1 и 2), желательно на пересечении соседствующих по линии X координатных линий. Рядом записать координаты X и Y этих точек.

2. Сканировать «План блока».

3. Сканплан блока сохранить с расширением bmp в папке «Сканпланы блоков», созданной вами на диске C.

4. Включить программу «Проектирование взрывных работ».

5. P_ustup.exe. Открывается Главное окно программы.

6. В главном окне щелкаем кнопку «Карты».
7. Новый объект. Найти нужный сканплан в папке «Сканпланы блоков» на диске С, активизировать его.
8. Блок № 11. Открыть.
9. Показать карту.
10. Переместить красные точки в точки 1 и 2.
11. Изменить масштаб на 30. Переместить центр кадра. Уточнить перемещение красных точек.
12. Вернуться к масштабу 70. Проставить координаты красных точек.

Применить.

13. **Заккрыть все окна до главного окна.**
14. Планы, в главном окне. Список планов.
15. Новый план.
16. Набрать в нижней строке Блок № 11.
17. Показать план. Objects.
18. Изменить масштаб на 500 000. Поставить галочку около «Блок № 11», около «Сетка координат», около «Имя объекта», и около «Показать точки».
19. Несколько раз перемещать центр блока и изменять масштаб до тех пор, пока план блока в масштабе 2000 не окажется в центре экрана. **Применить.**

20. **Заккрыть все окна до Главного окна.**
21. В главном окне нажать кнопку «Исходные данные».
22. Нажать кнопку «Начальные параметры».
23. Во всех окнах проверить соответствие параметров условиям проектирования, нужное изменить. **Применить.**

24. Исходные данные. Нажать кнопку «Текст к скважинам». Проставить или заменить номера блока и горизонта. **Применить.**

25. Исходные данные. Нажать кнопку «Текст к породе». Проставить или заменить номера блока и горизонта. **Применить.**

26. Исходные данные. Нажать кнопку «Текст к плану». Проставить или заменить номера блока и горизонта. **Применить.**

27. Закрыть окно «Исходные данные», если оно не закрылось.
28. В главном окне нажать кнопку «Горная порода».
29. Новая порода.
30. Набрать в нижнем окне номер проектируемого блока и горной породы. Здесь это Блок № 11, порода 1.

31. Показать.
33. Открыть окно списка горных пород стрелкой у строки справа.
34. Выбрать породу.
32. Поставить точки около нужного ВВ, кондиционного куска, нужного диаметра скважин. Выбрать цвет (кнопка под «Применить»). Диагональ первого вида.

35. Выбрать и проставить в окошке параметры сетки скважин. **Применить.**

36. Активизировать окно «Список видов горных пород».
37. Новая порода.
38. Набрать в нижнем окне Блок № 11, порода 2.

39. Показать.
40. Поставить точки около нужного ВВ, около кондиционного куска и нужного диаметра скважин. Выбрать цвет. Диагональ второго вида.
41. Открыть окно списка горных пород стрелкой у строки справа.
39. Выбрать породу.
40. Выбрать и проставить в окошке параметры сетки скважин.
41. Применить.
42. Заккрыть все окна до Главного окна.
43. В главном окне нажать кнопку «Планы». Список планов.
44. Показать план. objects.
45. Нажать кнопку «Бровка уступа». В нижнем левом окошке появляется группа объектов.
46. Снять галочки около всех объектов.
47. Поставить галочки около объектов «Верхняя бровка уступа», «Нижняя граница уступа» и «Зона обруивания».
47. Активизировать строку «Верхняя бровка уступа».
48. Проставить правой кнопкой мышки точки по бровке уступа.
49. Активизировать строку «Нижняя граница уступа».
50. Переместить точки нижней бровки уступа на линию ранее взорванных скважин, если она есть.
51. Активизировать строку «Зона обруивания». Поставить галочки около «Показать точки» и «Номера точек».
52. Переместить токи на границу зоны обруивания.
53. Активизировать строку «Высотные отметки».
54. Проставить точки с высотными отметками.
55. parameters.
56. Проставить численные значения высотных отметок по каждой точке.
57. **Применить.**
58. objects.
59. Убрать галочки около всех строк в левом нижнем окошке. Активизировать нижнюю строчку.
60. Нажать кнопку «Новый объект» под надписью «Горная порода». Открыть список горны пород стрелкой.
61. Щелкнуть мышкой в списке по нужной породе. Блок № 11, порода 1.
62. Проставить контуры породы на плане.
63. Нажать кнопку «Новый объект» под надписью «Горная порода». Открыть список горных пород стрелкой.
64. Щелкнуть мышкой в списке по нужной породе. Блок № 11, порода 2.
65. Проставить контуры породы на плане.
66. Убрать галочки у всех строк в нижнем левом окошке.
67. Поставить галочку около строки «Верхняя бровка уступа» и около строки «Проектируемые скважины».
68. Расчет. Выбрать вид сетки скважин.
69. Сетка скважин (на экране скважины).
70. objects.
71. Поставить галочки около «Сетка координат» и «Номера точек».
72. Изменить масштаб на 1000.

73. Откорректировать положение точек, если нужно.
 74. Снять галочки у строки «Показать точки». На экране скважины с номерами.
 75. Снять галочки около кнопок «Горные породы».
 76. Активизировать строку «Проектируемые скважины».
 77. Нажать кнопку «Печать». Нажать кнопку «Печать плана». Печатается план.
 78. Расчет. Если производилась корректировка положения скважин, не нажимать кнопку «сетка скважин». Иначе корректировка скважин будет ликвидирована. Активизировать в «Списке видов горной породы» породу «Блок № 11, порода 1».
 79. Нажать кнопку «Информация о породе». На экране в Excel документ.
 80. Напечатать документ «Выбор категории взрываемости и сетки скважин».
 81. Закрыть.
 82. Нет.
 83. Нажать кнопку «Корректировочная таблица». Открывается таблица параметров в Excel.
 84. Напечатать таблицу параметров.
 85. Закрыть.
 86. Нет.
 87. В главном окне нажать кнопку «Файлы».
 88. Нажать кнопку «Записать данные».
 89. В строке перед «Ustup 11.mek» набрать номер блока Блок № 11. **Сохранить.**
 90. **Закрыть все окна до Главного окна.**
 91. Закрыть Главное окно.
 92. Yes.
 93. Назад.
 94. Назад.
 95. Назад.
 96. Мы в проводнике Windows.
 97. Накапливать в файлах программы объекты более чем для двух-трех блоков не желательно. У оператора могут возникнуть затруднения с поиском нужных объектов. В главном окне под кнопкой «Файлы» можно накапливать большое количество запроектированных блоков. Но и здесь по истечении срока надобности документов их полезно частично удалять.
- Чтобы удалить всю информацию о блоке из рабочих файлов программы, нужно выполнить следующие действия.
- Открыть план удаляемого блока под кнопкой «Планы». В нижнем левом окошке найти группу объектов этого блока:
- верхняя бровка уступа;
 - нижняя бровка уступа;
 - контур обурирования;
 - высотные отметки;
 - скважины.

Активизировать объект «Верхняя бровка уступа». Нажать кнопку «Удалить объект». Вся группа будет удалена.

Под кнопкой в Главном окне «Планы» удалить план этого блока.

Под кнопкой в Главном окне «Карты» удалить карту этого блока.

Под кнопкой в Главном окне «Горные породы» удалить горные породы этого блока.

98. Если нужно просмотреть или напечатать проектные документы ранее запроектированного блока, открыть главное окно программы.

99. В главном окне нажать кнопку «Файлы».

100. Нажать кнопку «Считать данные».

101. На поле окна активизировать строку с надписью нужного блока.

102. Открыть.

103. В главном окне нажать кнопку «Планы».

104. Показать план. Далее по описанной схеме открываются и печатаются проектные документы.

105. После печати документов закрыть все окна, закрыть Главное окно по ранее описанной схеме.

Приложения

Приложение 1

Компьютерная программа «Грансостав-2008»

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ
№ 2009610378, 2009, авторы: Викторов С.Д., Казаков Н.Н., Шляпин А.В.

Компьютерная программа является элементом «Способа определения
грансостава раздробленной породы в карьерах».

В представленном фрагменте программы выполняется обработка изображений развала горной массы, полученного при массовых взрывах в карьерах.

С помощью этого и других фрагментов программы определяется экспериментальный грансостав по карьерному блоку.

```
unit U_ImageForm_2008;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Variants,  
Classes, Graphics, Controls, Forms,  
Dialogs, ExtCtrls, StdCtrls, ExtDlgs,  
Menus, ComCtrls, Grids,
```

```
M_Graph_2008, Matemat, CheckLst;
```

```
type
```

```
TF_ImageForm = class(TForm)
```

```
PM_2: TPopupMenu;
```

```
m_true: TMenuItem;
```

```
m_false: TMenuItem;
```

```
PC_1: TPageControl;
```

```
N_object: TTabSheet;
```

```
TabSheet3: TTabSheet;
```

```
TabSheet5: TTabSheet;
```

```
Memo1: TMemo;
```

```
RG_11: TRadioGroup;
```

```
B_11: TButton;
```

```
CLB_rec: TCheckListBox;
```

```
GB_11: TGroupBox;
```

```
B_111: TButton;
```

```
GB_12: TGroupBox;
```

```
B_121: TButton;
```

```
P_11: TPanel;
```

```
P_12: TPanel;
```

```
L_11: TLabel;
```

```
SB_11: TScrollBar;
```

```
RG_12: TRadioGroup;
```

```
ChB_12: TCheckBox;
```

```
GB_21: TGroupBox;
```

```
L_21: TLabel;
```

```
SG_21: TStringGrid;
```

```
B_21: TButton;
```

```
GB_22: TGroupBox;
```

```
L_22: TLabel;
```

```
SG_22: TStringGrid;
```

```
B_22: TButton;
```

```
ColorDialog1: TColorDialog;
```

```
TabSheet1: TTabSheet;
```

```
GB_31: TGroupBox;
```

```
SG_31: TStringGrid;
```

```
CB_10: TCheckBox;
```

```
CLB_11: TCheckListBox;
```

```
B_14: TButton;
```

```
SB_12: TScrollBar;
```

```
TabSheet4: TTabSheet;
```

```
GB_42: TGroupBox;
```

```
GB_41: TGroupBox;
```

```
SB_41: TScrollBar;
```

```
L_41: TLabel;
```

```
SG_41: TStringGrid;
```

```
B_41: TButton;
```

```
B_31: TButton;
```

```
L_12: TLabel;
```

```
B_12: TButton;
```

```
B_13: TButton;
```

```
SG_42: TStringGrid;
```

```
L_43: TLabel;
```

```
GB_32: TGroupBox;
```

```
SG_32: TStringGrid;
```

```
PB_41: TProgressBar;
```

```
SB_123: TScrollBar;
```

```
L_123: TLabel;
```



```

L_113: TLabel;
SB_113: TScrollBar;
L_31: TLabel;
procedure FormKeyDown(Sender:
TObject; var Key: Word;
Shift: TShiftState);
procedure FormCreate(Sender:
TObject);
procedure FormDestroy(Sender:
TObject);
procedure B_20Click(Sender:
TObject);
procedure FormMouseDown(Sender:
TObject; Button: TMouseButton;
Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
procedure B_31Click(Sender:
TObject);
procedure B_obnovitClick(Sender:
TObject);
procedure FormDragDrop(Sender,
Source: TObject; X, Y: Integer);
procedure FormDragOver(Sender,
Source: TObject; X, Y: Integer;
State: TDragState; var Accept:
Boolean);
procedure B_22Click(Sender:
TObject);
procedure B_11Click(Sender: TObject);
procedure RG_11Click(Sender:
TObject);
procedure B_12Click(Sender:
TObject);
procedure B_13Click(Sender:
TObject);
procedure CLB_recClick(Sender:
TObject);
procedure m_trueClick(Sender:
TObject);
procedure m_falseClick(Sender:
TObject);
procedure ChB_12Click(Sender:
TObject);
procedure CLB_11Click(Sender:
TObject);
procedure B_21Click(Sender:
TObject);
procedure P_11Click(Sender: TObject);
procedure P_12Click(Sender: TObject);
procedure RG_12Click(Sender:
TObject);

```

```

procedure SB_11Change(Sender:
TObject);
procedure ChB_11Click(Sender:
TObject);
procedure B_14Click(Sender:
TObject);
procedure SB_12Change(Sender:
TObject);
procedure CB_21Click(Sender:
TObject);
procedure FormActivate(Sender:
TObject);
procedure FormResize(Sender:
TObject);
procedure B_111Click(Sender:
TObject);
procedure B_121Click(Sender:
TObject);
procedure CB_10Click(Sender:
TObject);
procedure B_41Click(Sender:
TObject);
procedure SB_41Change(Sender:
TObject);
procedure SB_123Change(Sender:
TObject);
procedure SB_113Change(Sender:
TObject);
private
nRec: integer; //номер объекта
L_image: boolean;
G1: TM_Graph2;
G2: TM_Graph2;
LL: boolean; //условие
реагирования на события
AShape: array of TShape; //точки
объектов
L_tochki, //работа с точками
Lkadr1, Lkadr2: boolean; //изменение
центра кадра
m: integer; //номер
выделенной точки
Sbitmap: Tbitmap; //сохранение
изображения
procedure P_postr_0; //построение
и изображение
procedure P_panel; //информация
на панель управления
procedure P_panel_1;
procedure P_panel_2;

```

```

    procedure P_postr;    //построение
изображения
    procedure P_razmetka; //разметка
размеров кадров
    procedure P_postr_1; //построение 1
    procedure P_objects_1;
    procedure P_objects_2;
    procedure P_postr_2; //построение 2
    procedure P_Image_1;
    procedure P_tochki_color;
    procedure P_tochki_1;
    procedure P_start;
    procedure P_raschetDoli;
public
    irec1: integer;    //номер записи в
массиве aImageRecord
    procedure P_begin;    //задание
начальных значений
    end;
var
    F_ImageForm: TF_ImageForm;
implementation
uses U_gransostav_2008, U_
raspredelenie_2008;
const
    dgr:=5; //отступ от границы
    amashtab: array[0..31] of real =
    (1,2,3,5,7,10,15,20,
    30,50,70,100,150,200,300,500, 700,100
    0,1500,2000,3000,5000,10000,20000, 30
    000,50000,70000,100000,200000,300000,
    500000,1000000);
    {$R *.dfm}
    { TF_ImageForm }
    procedure TF_ImageForm.P_begin;
begin
    LL:=true;
    with aImageRecord[irec1] do
    begin
        SB_113.Position:=m1;
        SB_123.Position:=m2;
    end;
    LL:=false;
    P_start;
    L_image:=true;
end;
    procedure TF_ImageForm.
FormKeyDown(Sender: TObject; var
Key: Word;
    Shift: TShiftState);
begin
    if key=112 then
    begin
        PC_1.Visible:=not PC_1.Visible;
        P_postr_0;
    end;
    if key=113 then P_postr_0;
    if key=114 then
    begin
        LL:=true;
        case RG_11.ItemIndex of
        0: RG_11.ItemIndex:=1;
        1: RG_11.ItemIndex:=2;
        else
            RG_11.ItemIndex:=0;
        end;
        LL:=false;
        P_postr_0;
    end;
end;
//построение изображения
    procedure TF_ImageForm.P_postr;
var i,n: integer;
begin
    if L_tochki then
    begin
        n:=length(AShape); //убирание
опорных точек, если они есть
        for i:=0 to n-1 do AShape[i].free;
        setlength(AShape,0);
    end;
    P_preobrKoord(aImageRecord[irec1]);
    P_podobie(aImageRecord[irec1]);
    P_maxRazmer(aImageRecord[irec1]);
    refresh; //очистка формы
    P_razmetka; //разметка размеров
кадров
    case RG_11.ItemIndex of //построение
изображений
    0: P_postr_1;
    1: begin
        P_postr_1;
        P_postr_2;
        end;
    else P_postr_2;
    end;
    P_panel; //информация на
управляющую панель
end;
    procedure TF_ImageForm.
FormCreate(Sender: TObject);
begin

```

```

G1:=TM_Graph2.Create;
G1.TC:=canvas;
G2:=TM_Graph2.Create;
G2.TC:=canvas;
Sbitmap:=Tbitmap.Create;
nrec:=-1;
L_image:=true;
L_tochki:=true;
with SG_21 do
begin
  cells[0,0]:='i'; cells[1,0]:='X';
cells[2,0]:='Y';
end;
with SG_22 do
begin
  cells[0,0]:='i'; cells[1,0]:='X';
cells[2,0]:='Y';
end;
with SG_31 do
begin
  cells[0,0]:='i'; cells[1,0]:='Dmax, m';
end;
with SG_41 do
begin
  cells[0,0]:='i'; cells[1,0]:='d, mm';
end;
with SG_42 do
begin
  cells[0,0]:='фракции, мм';
cells[1,0]:='%';
end;
with SG_32 do
begin
  cells[0,0]:='i'; cells[1,0]:='S2, m2';
cells[2,0]:='доля (%)';
end;
CLB_11.Checked[0]:=true;
LL:=false;
end;
procedure TF_ImageForm.
FormDestroy(Sender: TObject);
begin
  G1.Free;
  G2.Free;
  Sbitmap.Free;
end;
//построение изображения 1
procedure TF_ImageForm.P_postr_1;
begin
  with aImageRecord[irec1] do
begin
  G1.mashtab:=amashtab[m1];
  G1.Xo:=Xo1;
  G1.Yo:=Yo1;
end;
  G1.Start;
  P_Image_1; //построение
изображений
  P_objects_1; //построение объектов
  if L_tochki then P_tochki_1; //точки
  P_tochki_color;
end;
procedure TF_ImageForm.P_postr_2;
begin
  with aImageRecord[irec1] do
begin
  G2.mashtab:=amashtab[m2];
  G2.Xo:=Xo2;
  G2.Yo:=Yo2;
end;
  G2.Start; //построение объектов
  if aImageRecord[irec1].Lp then P_
objects_2;
  if ChB_12.Checked then G2.Koordinat_
L(clgreen,1,1,8,true,1);
end;
procedure TF_
ImageForm.B_20Click(Sender: TObject);
begin
  Lkadr2:=true;
  Cursor:=crCross;
end;
procedure TF_ImageForm.
FormMouseDown(Sender: TObject;
Button: TMouseButton;
Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
var
  i: integer;
  v2: вектор2;
begin
  if Lkadr1 then
begin
    Lkadr1:=false;
    Cursor:=crArrow;
    G1.P_TC_to_вектор2(X,Y,v2);
    aImageRecord[irec1].Xo1:=v2[1];
    aImageRecord[irec1].Yo1:=v2[2];
    P_postr_0;
    exit;
  end;
  if Lkadr2 then
begin

```

```

Lkadr2:=false;
Cursor:=crArrow;
G2.P_TC_to_vektor2(X,Y,v2);
aImageRecord[irec1].Xo2:=v2[1];
aImageRecord[irec1].Yo2:=v2[2];
P_postr;
exit;
end;
if CLB_11.Checked[1]
and (button=mbRight)
and (nrec>0)
and CLB_rec.Checked[nrec]
and G1.F_prov_P(point(x,y),dgr)
then
begin
aImageRecord[irec1].Lg:=false;
with aImageRecord[irec1].AB[nrec] do
//вставка новой точки
begin
G1.P_TC_to_vektor2(x,y,v2);
if m<0 then m:=0;
if m>=nv2 then m:=nv2-1;
if m<(nv2-1) then
for i:=nv2-1 downto m+1 do
av2[i+1]:=av2[i];
av2[m+1]:=v2;
nv2:=nv2+1;
m:=m+1;
P_Postr;
end;
end;
end;
procedure TF_ImageForm.B_31Click(Sender: TObject);
begin
// P_Sortirovka(irec1);
P_Sortirovka(aImageRecord[irec1]);
P_raschetDoli;
P_start;
P_postr;
end;
procedure TF_ImageForm.B_obnovitClick(Sender: TObject);
begin
P_postr_0;
end;
procedure TF_ImageForm.P_razmetka; //
разметка размеров кадров
var w,h: integer;
begin
w:=clientwidth;

if PC_1.Visible then h:=clientHeight-
PC_1.Height else h:=clientHeight;
case RG_11.ItemIndex of
0: begin
G1.xi1 :=0; G1.yi1 :=0; G1.xi2 :=w-
6; G1.yi2 :=h-1;
end;
1: begin
G1.xi1 :=0; G1.yi1 :=0; G1.xi2 :=w
div 2-6; G1.yi2 :=h-1;
G2.xi1 :=G1.xi2+10; G2.yi1 :=0;
G2.xi2 :=w-1; G2.yi2 :=h-1;
end;
else
G2.xi1 :=0; G2.yi1 :=0; G2.xi2 :=w-
1; G2.yi2 :=h-1;
end;
end;
procedure TF_ImageForm.
FormDragDrop(Sender, Source: TObject;
X,
Y: Integer);
var v2: vektor2;
begin
if (Source is TShape) then
begin
if G1.F_prov_P(point(x,y),dgr) then
with (Source as Tshape) do
begin
left:=x-3;
top:=y-3;
G1.P_TC_to_vektor2(x,y,v2);
m:=Tag;
aImageRecord[irec1].AB[nrec].
av2[m]:=v2;
LL:=false;
SB_12.Position:=m;
LL:=true;
L_tochki:=false;
aImageRecord[irec1].Lg:=false;
P_Postr; //без уничтожения и
образования точек
L_tochki:=true;
end;
end;
end;
procedure TF_ImageForm.
FormDragOver(Sender, Source: TObject;
X, Y: Integer;
State: TDragState; var Accept: Boolean);
begin

```

```

Accept:=true;
end;
procedure TF_
ImageForm.B_22Click(Sender: TObject);
var
  i,j,k: integer;
  L: boolean;
  v: TA4Vektor2;
begin
  L:=true;
  for i:=0 to 3 do
    for j:=1 to 2 do
      begin
        val(SG_22.Cells[j,i+1],v[i,j],k);
        if k<>0 then L:=false;
      end;
    end;
  end;
  If L then
    begin
      L_22.Visible:=false;
      for i:=0 to 3 do
        aImageRecord[i].AB[0].
ar2[i]:=v[i];
        aImageRecord[i].Lg:=false;
        P_postr;
      end else L_22.Visible:=true;
    end;
end;
procedure TF_
ImageForm.B_11Click(Sender: TObject);
begin
  P_postr_0;
end;
procedure TF_ImageForm.
RG_11Click(Sender: TObject);
begin
  if LL then exit;
  P_postr_0;
end;
procedure TF_ImageForm.P_postr_0;
begin
  L_image:=true;
  P_postr;
end;
procedure TF_
ImageForm.B_12Click(Sender: TObject);
begin
  if aImageRecord[i].no=200 then
    exit;
  nrec:=aImageRecord[i].no;
  if nrec>2 then
    aImageRecord[i].
    AB[nrec]:=aImageRecord[i].
    AB[nrec-1]
    else
      with aImageRecord[i].AB[nrec] do
        begin
          izo:=3;
          cp:=F_ColorTo3byte(clBlack);
          cb:=F_ColorTo3byte(clYellow);
          wl:=3;
        end;
      with aImageRecord[i].AB[nrec] do
        begin
          so:=intostr(nrec-1);
          Lv:=true;
          nv2:=0;
        end;
    aImageRecord[i].
    no:=aImageRecord[i].no+1;
    LL:=true;
    CLB_11.Checked[1]:=true;
    LL:=false;
    P_start;
    P_postr;
  end;
end;
procedure TF_
ImageForm.B_13Click(Sender: TObject);
var i: integer;
begin
  nrec:=CLB_rec.ItemIndex;
  if (nrec<0) or
(nrec>aImageRecord[i].no-1) then
    exit;
  if nrec<aImageRecord[i].no-1 then
    for i:=nrec+1 to aImageRecord[i].
    no--1 do
      aImageRecord[i].AB[i-
1]:=aImageRecord[i].AB[i];
    aImageRecord[i].
    no:=aImageRecord[i].no-1;
    aImageRecord[i].Lg:=false;
    P_start;
    P_postr;
  end;
end;
procedure TF_ImageForm.CLB_
recClick(Sender: TObject);
begin
  if LL then exit;
  nrec:=CLB_rec.ItemIndex;
  aImageRecord[i].AB[nrec].
  Lv:=CLB_rec.Checked[nrec];

```

```

P_postr;
end;
procedure TF_ImageForm.m_
trueClick(Sender: TObject);
var i: integer;
begin
  for i:=0 to aImageRecord[irec1].no-1 do
    aImageRecord[irec1].AB[i].Lv:=true;
    P_start;
    P_postr;
  end;
procedure TF_ImageForm.m_
falseClick(Sender: TObject);
var i: integer;
begin
  for i:=0 to aImageRecord[irec1].no-1 do
    aImageRecord[irec1].AB[i].Lv:=false;
    P_start;
    P_postr;
  end;
procedure TF_ImageForm.P_panel;
var
  i,n: integer;
  L: boolean;
  s: string;
begin
  LL:=true; //отключение обработки
  событий
  //режим просмотра
  case RG_11.ItemIndex of
    0: begin
      GB_11.Visible:=true;
      GB_12.Visible:=false;
    end;
    1: begin
      GB_11.Visible:=true;
      GB_12.Visible:=true;
    end;
  else
    GB_11.Visible:=false;
    GB_12.Visible:=true;
  end;
  str(amashtab[aImageRecord[irec1].
m1]:6:0,s);
  L_113.Caption:='масштаб '+ s;
  str(amashtab[aImageRecord[irec1].
m2]:6:0,s);
  L_123.Caption:='масштаб 1 :'+ s;
  //удаление объектов
  if nrec<2 then B_13.Visible:=false else
  begin

```

```

    B_13.Visible:=true;
    B_13.Caption:='удалить объект
'+aImageRecord[irec1].AB[nrec].So;
  end;
  n:=aImageRecord[irec1].AB[nrec].nv2;
  L:=aImageRecord[irec1].AB[nrec].Lv;
  if CLB_11.Checked[1] and (nrec>=0)
  and L and (n>0) then //координаты точек
  begin
    GB_21.Visible:=true;
    SG_21.RowCount:=n+1;
    for i:=0 to n-1 do
      with SG_21 do
        begin
          cells[0,i+1]:=inttostr(i);
          str(aImageRecord[irec1].AB[nrec].
          av2[i,1]:8:2,s);
          cells[1,i+1]:=s;
          str(aImageRecord[irec1].AB[nrec].
          av2[i,2]:8:2,s);
          cells[2,i+1]:=s;
        end;
    L_21.Visible:=false;
    end else GB_21.Visible:=false;
    if (nrec=0) and L then //координаты
    объектов
    begin
      GB_22.Visible:=true;
      SG_22.RowCount:=n+1;
      for i:=0 to n-1 do
        with SG_22 do
          begin
            cells[0,i+1]:=inttostr(i);
            str(aImageRecord[irec1].AB[nrec].
            ar2[i,1]:8:2,s);
            cells[1,i+1]:=s;
            str(aImageRecord[irec1].AB[nrec].
            ar2[i,2]:8:2,s);
            cells[2,i+1]:=s;
          end;
      L_22.Visible:=false;
      end else GB_22.Visible:=false;
      if CLB_11.Checked[1] //удаление точки
      and (nrec>0)
      and L
      and (n>0)
      then
        begin
          B_14.Visible:=true;
          B_14.Caption:='удалить точку
          '+inttostr(m);

```

```

end else B_14.Visible:=false;
if CLB_11.Checked[1] //указатель
выделенной точки
  and (nrec>0)
  and L
  and (n>1) then
begin
  SB_12.Visible:=true;
  SB_12.Max:=n-1;
  SB_12.Position:=m;
end else SB_12.Visible:=false;
with aImageRecord[irec1].AB[nrec] do
begin
  if (nrec>1) and L then //вид
изображения
  begin
    RG_12.Visible:=true;
    if (izo>0) and (izo<=4) then
      RG_12.ItemIndex:=izo-1 else
RG_12.ItemIndex:=3;
    end else RG_12.Visible:=false;
    if L then //цвет пера и заливки
    begin
      P_11.Color:=F_3byteToColor(cp);
      P_12.Color:=F_3byteToColor(cb);
      P_11.Visible:=true;
      P_12.Visible:=true;
    end else
    begin
      P_11.Visible:=false;
      P_12.Visible:=false;
    end;
    if L then //толщина линии
    begin
      L_11.Caption:='толщина линии
'+inttostr(wl);
      L_11.Visible:=true;
      SB_11.Position:=wl;
      SB_11.Visible:=true;
    end else
    begin
      L_11.Visible:=false;
      SB_11.Visible:=false;
    end;
  end;
//максимальный размер
if (nrec>0)
  and aImageRecord[irec1].Lp
  and aImageRecord[irec1].AB[nrec].Lv
  then with aImageRecord[irec1] do
begin
  str(AB[nrec].Dmax:4:2,s);
  L_12.Caption:='Dmax, m = '+s;
  L_12.Visible:=true;
end else
begin
  L_12.Visible:=false;
end;
//информация на страницу size на
GB_31
with aImageRecord[irec1],SG_31 do
if Lp and (no>2) then
begin
  RowCount:=no-1;
  for i:=0 to no-3 do
  begin
    cells[0,i+1]:=inttostr(i+1);
    str(AB[i+2].Dmax:3:2,s);
    cells[1,i+1]:=s;
  end;
  GB_31.Visible:=true;
  if no>3 then B_31.Visible:=true
    else B_31.Visible:=false;
end else
begin
  GB_31.Visible:=false;
end;
//информация на GB_32, GB_41
GB_42
with aImageRecord[irec1],SG_32 do
if Lp and Lg then
begin
  GB_32.Visible:=true;
  RowCount:=no-1;
  for i:=0 to no-3 do
  begin
    cells[0,i+1]:=inttostr(i+1);
    str(AB[i+2].S2:5:3,s);
    cells[1,i+1]:=s;
    str(100*AB[i+2].dol:4:3,s);
    cells[2,i+1]:=s;
  end;
  GB_41.Visible:=true;
  SB_41.Position:=ngran;
  L_41.Visible:=false;
  GB_42.Visible:=true;
  L_31.Visible:=true;
  str(AB[1].S2:5:3,s);
  L_31.Caption:='S контура, m2 = '+s;
  P_panel_1;
  P_panel_2;
end else

```

```

begin
  GB_32.Visible:=false;
  GB_41.Visible:=false;
  GB_42.Visible:=false;
  L_31.Visible:=false;
end;
LL:=false;
end;
procedure TF_ImageForm.
ChB_12Click(Sender: TObject);
begin
  P_postr;
end;
procedure TF_ImageForm.
CLB_11Click(Sender: TObject);
begin
  if LL then exit;
  P_postr;
end;
procedure TF_
ImageForm.B_21Click(Sender: TObject);
var
  i,j,k,n: integer;
  a: array of array[1..2] of real;
begin
  n:=SG_21.RowCount-1;
  setlength(a,n);
  L_21.Visible:=false;
  for i:=0 to n-1 do
    for j:=1 to 2 do with SG_21 do
      begin
        val(Cells[j,i+1],a[i,j],k);
        if K<>0 then
          begin
            L_21.Visible:=true;
            row:=i+1;
            col:=j;
            exit;
          end;
        end;
      end;
    for i:=0 to n-1 do
      for j:=1 to 2 do aImageRecord[irec1].
AB[nrec].av2[i,j]:=a[i,j]
      P_postr;
    end;
  procedure TF_
ImageForm.P_11Click(Sender: TObject);
  begin
    colordialog1.Color:=P_11.Color;
    if colordialog1.Execute then
      P_11.Color:= colordialog1.Color;
    aImageRecord[irec1].AB[nrec].cp:=F_
    ColorTo3byte(colordialog1.Color);
    P_Postr;
  end;
end;
procedure TF_
ImageForm.P_12Click(Sender: TObject);
  begin
    colordialog1.Color:=P_12.Color;
    if colordialog1.Execute then
      begin
        P_12.Color:= colordialog1.Color;
        aImageRecord[irec1].AB[nrec].cb:=F_
        ColorTo3byte(colordialog1.Color);
        P_Postr;
      end;
    end;
  procedure TF_ImageForm.
  RG_12Click(Sender: TObject);
  begin
    if LL then exit aImageRecord[irec1].
    AB[nrec].izo:=RG_12.ItemIndex+1; //вид
    изображения
    P_Postr;
  end;
  procedure TF_ImageForm.
  SB_11Change(Sender: TObject);
  begin
    if LL then exit;
    aImageRecord[irec1].AB[nrec].
    wl:=SB_11.Position;
    P_Postr;
  end;
  procedure TF_ImageForm.
  ChB_11Click(Sender: TObject);
  begin
    P_postr_0;
  end;
  procedure TF_ImageForm.P_Image_1;
  var
    rectF: TRect;
    bb: Tbitmap;
  begin
    if not CLB_11.Checked[0] then exit;
    rectf:=rect(G1.xi1,G1.yi1,G1.xi2,G1.
    yi2);
    if L_image then
      begin
        bb:=Tbitmap.Create; bb.LoadFromFile
        (aImageRecord[irec1].fname

```



```

G1.bitmap:=bb;
G1.bv:=0;
G1.bp[0,1]:=0;    G1.bp[0,2]:=bb.
Height div 2;
G1.bp[1,1]:=bb.Width;
G1.bp[1,2]:=bb.Height div 2;
G1.br[0,1]:=-5;  G1.br[0,2]:=0;
G1.br[1,1]:= 5;  G1.br[1,2]:=0;
G1.P_copyBitmap;
Sbitmap.Width:= G1.xi2-G1.xi1+1;
Sbitmap.Height:=G1.
yi2-G1.yi1+1; Sbitmap.canvas.
CopyRect(RectF,Canvas,Rectf);
L_image:=false;
bb.Free;
end else canvas.
CopyRect(Rectf,Sbitmap.Canvas,Rectf);
end;
procedure TF_ImageForm.P_objects_1;
var
  i,j: integer;
  cp1,cb1: Tcolor;
begin
  for i:=0 to aImageRecord[irec1].no-1 do
    with aImageRecord[irec1].AB[i] do
      if Lv then
        begin
          cp1:=F_3byteToColor(cp);
          cb1:=F_3byteToColor(cb);
          setlength(G1.a,nv2);
          setlength(G1.sa,nv2);
          for j:=0 to nv2-1 do
            begin
              G1.a[j]:=av2[j];
              G1.sa[j]:=inttostr(j);
            end;
          case aImageRecord[irec1].AB[i].izo of
            1: G1.P_polygon(cp1,cb1,wl,0,0);
            2: G1.P_polygon(cp1,cb1,wl,0,1);
            3: G1.P_polygon(cp1,cb1,wl,0,2);
            4: G1.P_polygon(cp1,cb1,wl,0,3);
            5: G1.P_polygon(cp1,cb1,wl,0,7);
            6: G1.P_polygon(cp1,cb1,wl,0,6);
            7: G1.P_polygon(cp1,cb1,wl,0,4);
            8: G1.P_polygon(cp1,cb1,wl,0,5);
            9: G1.P_point(cp1,cb1,wl,20,1);
            10: G1.P_point(cp1,cb1,wl,20,2);
            11: G1.P_point(cp1,cb1,wl,20,3);
          else
            G1.P_PolyLine(cp1,wl,0);
          end;
          if CB_10.Checked then G1.P_
            NameObject(clBlack,10,5,So);
            if CLB_11.Checked[2] and (i=nrec)
              then G1.P_string(clBlack,8,-10);
            end;
          end;
        procedure TF_
          ImageForm.B_14Click(Sender: TObject);
          var i: integer;
          begin
            with aImageRecord[irec1].AB[nrec] do
              begin
                if (m<0) or (m>nv2-1) then exit;
                if m<nv2-1 then
                  for i:=m to nv2-2 do
                    begin
                      av2[i]:=av2[i+1];
                      ar2[i]:=ar2[i+1];
                    end;
                    nv2:=nv2-1;
                  end;
                  P_postr;
                end;
              procedure TF_ImageForm.
                SB_12Change(Sender: TObject);
                begin
                  if LL then exit;
                  m:=SB_12.Position;
                  P_tochki_color;
                end;
              procedure TF_ImageForm.P_tochki_
                color;
                var i,n: integer;
                begin
                  B_14.Caption:='удалить точку
                    '+inttostr(m);
                  n:=length(AShape);
                  for i:=0 to n-1 do
                    begin
                      if i=m then AShape[i].Brush.
                        Color:=clBlue
                        else AShape[i].Brush.
                        Color:=clRed;
                      AShape[i].BringToFront;
                    end;
                  end;
                procedure TF_ImageForm.P_tochki_1;
                var
                  i,k: integer;
                  p: Tpoint;
                  begin

```

```

with aImageRecord[iRec1].AB[nrec] do
if CLB_11.Checked[1] and (nrec>=0)
and Lv then
begin
if m<0 then m:=0;
if m>nv2-1 then m:=nv2-1; //номер
выделенной точки
setlength(AShape,nv2);
k:=0;
for i:=0 to nv2-1 do
if G1.F_вектор2_to_point(av2[i],dgr,p)
then
begin
AShape[k]:=Tshape.Create(Owner);
with AShape[k] do
begin
visible:=false;
parent:=self;
width:=6; height:=6;
shape:=stCircle;
dragmode:=dmAutomatic;
showhint:=true;
hint:=inttostr(i);
left:=p.X-3;
top :=p.Y-3;
tag:=i;
if i=m then Brush.Color:=clBlue else
Brush.Color:=clRed;
Show;
end;
k:=k+1;
end;
AShape:=copy(AShape,0,k);
end;
end;

procedure TF_ImageForm.P_objects_2;
var
i,j: integer;
cp1,cb1: tColor;
begin
for i:=0 to aImageRecord[iRec1].no-1 do
with aImageRecord[iRec1].AB[i] do
if Lv then
begin
cp1:=F_3byteToColor(cp);
cb1:=F_3byteToColor(cb);
setlength(G2.a,nv2);
setlength(G2.sa,nv2);
for j:=0 to nv2-1 do
begin
G2.a[j]:=ar2[j];
G2.sa[j]:=inttostr(j);
end;
case aImageRecord[iRec1].AB[i].izo of
1: G2.P_polygon(cp1,cb1,wl,0,0);
2: G2.P_polygon(cp1,cb1,wl,0,1);
3: G2.P_polygon(cp1,cb1,wl,0,2);
4: G2.P_polygon(cp1,cb1,wl,0,3);
5: G2.P_polygon(cp1,cb1,wl,0,7);
6: G2.P_polygon(cp1,cb1,wl,0,6);
7: G2.P_polygon(cp1,cb1,wl,0,4);
8: G2.P_polygon(cp1,cb1,wl,0,5);
9: G2.P_point(cp1,cb1,wl,20,1);
10: G2.P_point(cp1,cb1,wl,20,2);
11: G2.P_point(cp1,cb1,wl,20,3);
else
G2.P_PolyLine(cp1,wl,0);
end;
if CB_10.Checked then G2.P_
NameObject(clBlack,10,5,So);
if CLB_11.Checked[2] and (i=nrec)
then G2.P_string(clBlack,8,-10);
end;
end;
procedure TF_ImageForm.
CB_21Click(Sender: TObject);
begin
P_postr;
end;
procedure TF_ImageForm.
FormActivate(Sender: TObject);
begin
P_postr;
end
procedure TF_ImageForm.P_start;
var
i,n: integer;
begin
LL:=true;
caption:=aImageRecord[iRec1].name;
n:=aImageRecord[iRec1].no;
if n>2 then
for i:=2 to n-1 do
aImageRecord[iRec1].AB[i].
So:=inttostr(i-1);
CLB_rec.Clear;
for i:=0 to n-1 do
begin CLB_rec.Items.
Add(aImageRecord[iRec1].
AB[i].So); CLB_rec.

```

```

Checked[i]:=aImageRecord[i].AB[i].
Lv;
end;
if nrec<0 then nrec:=0;
if nrec>=n then nrec:=n-1;
CLB_rec.ItemIndex:=nrec;
LL:=false;
end;
procedure TF_ImageForm.
FormResize(Sender: TObject);
begin
  L_image:=true;
end;
procedure TF_
ImageForm.B_111Click(Sender:
TObject);
begin
  Lkadr1:=true;
  Cursor:=crCross;
end;
procedure TF_
ImageForm.B_121Click(Sender:
TObject);
begin
  Lkadr2:=true;
  Cursor:=crCross;
end;
procedure TF_ImageForm.
CB_10Click(Sender: TObject);
begin
  P_postr;
end;
procedure TF_ImageForm.P_raschetDoli;
const kol=256;
var
  i,j,k,m: integer;
  dx,dy,xmin,xmax,ymin,ymax,ds,ds1:
real;
  v: вектор2;
  se: set of byte;
  ap: array of TPlosk;
begin
  P_Sortirovka(aImageRecord[i].AB[i]);
  with aImageRecord[i] do
  begin
    Lg:=false;
    if (no<3) or not Lp then exit;
    setlength(ap,no);
    for i:=1 to no-1 do
      with AB[i] do
        ap[i]:=TPlosk.Create;
        setlength(ap[i].K,nv2);
        for j:=0 to nv2-1 do
          ap[i].K[j]:=ar2[j];
          S2:=0;
          Dol:=0;
        end;
        Lg:=true;
        xmin:= 100000000; ymin:= 100000000;
        xmax:=-100000000; ymax:=-
100000000;
        with AB[1] do
          for i:=0 to nv2-1 do
            begin
              if xmin>ar2[i,1] then xmin:=ar2[i,1];
              if ymin>ar2[i,2] then ymin:=ar2[i,2];
              if xmax<ar2[i,1] then xmax:=ar2[i,1];
              if ymax<ar2[i,2] then ymax:=ar2[i,2];
            end;
            dx:=(xmax-xmin)/kol;
            dy:=(ymax-ymin)/kol;
            ds:=dx*dy;
            PB_41.Visible:=true;
            PB_41.Min:=0;
            PB_41.Max:=kol-1;
            for i:=0 to kol-1 do
              for j:=0 to kol-1 do
                begin
                  PB_41.Position:=i;
                  v[1]:=xmin+dx*i+dx/2;
                  v[2]:=ymin+dy*j+dy/2;
                  se:=[]; m:=0;
                  if ap[1].Fprinad(v) then
                    begin
                      AB[1].S2 :=AB[1].S2+ds;
                      AB[1].dol:=AB[1].dol+ds;
                      for k:=2 to no-1 do
                        if ap[k].Fprinad(v) then
                          begin
                            se:=se+[k];
                            m:=m+1;
                            AB[k].S2:=AB[k].S2+ds;
                          end;
                        if m>0 then
                          begin
                            ds1:=ds/m;
                            for k:=2 to no-1 do
                              if k in se then AB[k].dol:=AB[k].
dol+ds1;
                            end;
                          end;
                    end;
                end;
              end;
            end;
          end;
        end;
      end;
    end;
  end;
end;

```

```

end;
if (AB[1].S2=0) or (AB[2].S2=0) then
Lg:=false;
for i:=1 to no-1 do
begin
ap[i].Free;
if Lg then
AB[i].dol:=AB[i].dol/AB[1].S2;
end;
if Lg then
for i:=1 to no-1 do P_ploshad(AB[i]);
PB_41.Visible:=false;
end;
end;
procedure TF_ImageForm.B_41Click(Sender: TObject);
var
i,j,n: integer;
g: array[1..10] of real;
L: boolean;
begin
n:=SB_41.Position;
L:=true;
for i:=1 to n do
begin
val(SG_41.Cells[1,i],g[i],j);
if (j<0)
or (g[i]<=0)
or (g[i]>3000)
then L:=false;
if (i>1) and (g[i]<=g[i-1]) then
L:=false;
end;
if L then
with aImageRecord[i] do
begin
ngran:=n;
for i:=1 to ngran do gran[i]:=g[i]/1000;
L_41.Visible:=false;
P_panel;
end else L_41.Visible:=true;
end;
end;
procedure TF_ImageForm.SB_41Change(Sender: TObject);
var
i,n: integer;
s: string;
begin
if LL then exit;
n:=SB_41.Position;
GB_42.Visible:=false;
with aImageRecord[i],SG_41 do
begin
L_43.Caption:='границ диапазонов
'+inttostr(n);
RowCount:=n+1;
for i:=1 to n do
begin
Cells[0,i]:=inttostr(i);
str(1000*gran[i]:3:0,s);
Cells[1,i]:=s;
end;
end;
end;
procedure TF_ImageForm.P_panel_1;
var
i: integer;
s: string;
begin
with aImageRecord[i],SG_41 do
begin
L_43.Caption:='границ диапазонов
'+inttostr(ngran);
RowCount:=ngran+1;
for i:=1 to ngran do
begin
Cells[0,i]:=inttostr(i);
str(1000*gran[i]:3:0,s);
Cells[1,i]:=s;
end;
end;
end;
procedure TF_ImageForm.P_panel_2;
var
i: integer;
s,s1: string;
F,F1: real;
Ra: Traspred;
begin
Ra:=TRaspred.Create;
Ra.P_preobrG(aImageRecord[i],Ra.dF);
with aImageRecord[i],SG_42 do
begin
RowCount:=ngran+2;
for i:=0 to ngran do
begin
if i=0 then
begin
str(1000*gran[1]:3:0,s);
Cells[0,i+1]:=' < '+s;

```

```

F:=Ra.F_kom(gran[1]); // P_kom
ulata(aImageRecord[irec1],gran[1],L,F
// if L then str(100*F:3:1,s) else s:="";
if Ra.L then str(100*F:3:1,s) else
s:="";
Cells[1,i+1]:=s;
end else if i=ngran then
begin
str(1000*gran[ngran]:3:0,s);
Cells[0,i+1]:=' >= '+s;
F:=Ra.F_kom(gran[ngran]); // P_
komulata(aImageRecord[irec1],gran[ng
an],L,F);
// if L then str(100*(1-F):3:1,s) else
s:="";
if Ra.L then str(100*(1-F):3:1,s)
else s:="";
Cells[1,i+1]:=s;
end else
begin
str(1000*gran[i]:3:0,s);
str(1000*gran[i+1]:3:0,s1);
Cells[0,i+1]:=' '+s+' - '+s1;
F:=Ra.F_kom(gran[i+1]);
F1:=Ra.F_kom(gran[i]); // P_ko
mulata(aImageRecord[irec1],gran[i+1],L
,F); // P_komulata(aImageRecord[ire
c1],gran[i],L,F1);// if L then str(100*(F-
F1):3:1,s) else s:="";
if Ra.L then str(100*(F-F1):3:1,s)
else s:="";
Cells[1,i+1]:=s;
end;
end;
end;
Ra.Free;
end;
procedure TF_ImageForm.
SB_123Change(Sender: TObject);
begin
if LL then exit;
aImageRecord[irec1].m2:=SB_123.
Position;
P_postr;
end;
procedure TF_ImageForm.
SB_113Change(Sender: TObject);
begin
if LL then exit;
aImageRecord[irec1].m1:=SB_113.
Position;
P_postr_0;
end;
end.

```

Компьютерная программа «Энергия-1»

Распределение по площадям плотности энергии
разрушения камуфлетной фазы взрыва.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ
№ 2009612165, 2009, авторы: Викторов С.Д., Казаков Н.Н., Шляпин А.В.

unit Unit1; //Программа «Энергия-1». Рассчитывается распределение по площадям плотности энергии разрушения камуфлетной фазы взрыва.

interface uses
 {Windows, Messages, SysUtils,
 Variants, Classes, Graphics, Controls,
 Forms,
 Dialogs, ComCtrls, ExtCtrls,
 ImgList, Spin, StdCtrls, Buttons,
 Menus, Math,
 Grids, Mask; }
 Windows, Messages, SysUtils,
 Variants, Classes, Graphics, Controls,
 Forms,
 Dialogs, ComCtrls, ExtCtrls,
 ImgList, Spin, StdCtrls, Buttons,
 Menus, Math,
 Grids;

type

 TMenu1 = class(TForm)
 Button1: TButton; //Кнопка

вычисление

 StringGrid1: TStringGrid; //

Таблица результатов 1 на форме 1

 Button2: TButton; // Матрица 1

 Button3: TButton; // Матрица 2

 Button4: TButton; // Матрица 3

Итоговая

 Button5: TButton; // Выход из

программы

 Button6: TButton; // Планограмма

1

 Button7: TButton; // Планограмма

2

 Button8: TButton;

 Button9: TButton;

 LabeledEdit1: TLabeledEdit;

 BitBtn1: TBitBtn; // Планограмма

3 Итоговая

 //procedure UpdateData;

 function

 GetDjColor(Dj:integer):TColor; //

Функция преобразования чисел в цвет

 procedure Button1Click(Sender: TObject); //Объявление процедуры
Вычисления

 procedure

 Button2Click(Sender:TObject); //

Объявление процедуры Матрица

1procedure Button3Click(Sender: TObject); //Объявление процедуры

Матрица 2

 procedure Button4Click(Sender: TObject); //Объявление процедуры

Матрица 3

 procedure Button5Click(Sender: TObject); //Объявление процедуры

Выход из прог.

 procedure Button6Click(Sender: TObject); //Объявление процедуры

Планограмма 1

 procedure Button7Click(Sender: TObject); //Объявление процедуры

Планограмма 2

 procedure Button8Click(Sender: TObject);

 procedure Button9Click(Sender: TObject); //Объявление процедуры

Планограмма 3

private

 { Private declarations }

public

```

    { Public declarations }
end;
var
    Menu1: TMenu1;
//ЗАДАВАЕМЫЕ ИСХОДНЫЕ
ДАННЫЕ
const
    W=70; //ЛНС, дм.
    r0=0.125; //радиус скважинного
    заряда
    kE=1; //энергетический коэф. в
    сравнении с эталонным
    p0=900; // плотность заряжения
    q=0.9; //удельный расход
    dr=0.1; // шаг по радиусу м.
    L=1; //Толщина слоя, м.
    RMS=70; // расстояние между
    скважин, м.
    PLZ=900; //плотность заряжения
    TVvv=1000; //Теплота взрыва
    SkPrV=4000; //скорость
    продольной волны в породе
    MassPor=2700; //масса породы
    PrPr=160000000; //Предел
    прочности на сжатие
    SkD=4800; //скорость детонации
    g=9.81; //ускорение свободного
    падения
    mm=1; //кг.
    //V1=0.171;
    B=70;
//РАССЧИТЫВАЕМЫЕ
ВЕЛИЧИНЫ
var
    Vd, //Объем дробления
    dk,
    //Emdk,
    M, //Масса заряда
    //B, //Полуширина воронки выброса
    fn,
    n,
    F,
    V0, //Объем зарядной полости
    Pcr, // - давление в зарядной полости
    N1,
    Vc,
    rc, // - радиус полости в момент
    сопряжения
    Pc,
    Rd, //Радиус дробления
    P1,
    Ez, //Энергия заряда
    Eo1,
    Elz, //Энергия, переданная в
    породе
    r, //Радиус газовой полости к концу
    первой стадии расш.
    rr,
    SkPrV2, //Скорость продольной
    волны в породе в квадрате
    P11,
    P12,
    Eo11,
    Eo12,
    E1, A, V1, KKK,
    Ev: real;
    i, j, k: integer;
    Vk: array of real; //объемы
    PE: array of real; //плотность
    энергии в цилиндрическом объеме
    r1, r2: array of real; //радиус
    цилиндрических поверхностей
    m1, m2, m3: array of real; //
    Объявление матриц
    implementation
    //Используемые юниты
    uses Mat1, Tab11, Mat2, Mat3, Plan1,
    Plan2, Plan3;
    procedure TMenu1.
    Button9Click(Sender: TObject);
    begin
        Ev:=StrToFloat(LabeledEdit1.Text);
    end;
    //Массив конвертации числовых
    значений плотности энергии в
    цвета
    function TMenu1.GetDjColor(Dj:
    integer): TColor; //оператор
    заполнения цветом
    begin
        case dj of

```

```

-10000000..-2: result:=clBlack;
//Цвет которым отображается
скважина
-1: result:=clBlack; //Цвет которым
отображается полость
0: result:=clWhite; //Цвет которым
заполняется ячейка с нулевым
значением
422955..30000000: result:=ClRed;
//1..30000000: result:=ClRed;
end;
end;
{$R *.dfm} //ВЫПОЛНЕНИЕ
РАСЧЕТА
procedure TMenu1.
Button1Click(Sender: TObject);
var
i,j,k:integer;
begin //объявление массивов
SetLength(Vk,i);
SetLength(PE,i);
SetLength(r1,i);
SetLength(r2,i); // for j:=0 to 100 do
for j:=1 to 100 do
begin
//Определение полуширины
воронки по W
F:=StrToFloat(FormatFloat('0.000',(
M*kE)/(L*q*(w/10)*(w/10))));
n:=0.001;
fn:=0;
while F>fn do
begin fn:=StrToFloat(FormatFloat(
'0.000',((1+n)*
(1+n)/4*n)));
n:=n+0.001;
end; // B:=StrToFloat(FormatFloat('0
.0',n*(w/10))); //0.000 Полуширина
воронки выброса
// B:=B*10;
V0:=Pi*r0*r0*L; //Объем зарядной
полости
M:=StrToFloat(FormatFloat('0.000',
V0*p0)); //масса заряда
Ez:=M*TVvv*1000*4.1868;
//энергия заряда

```

```

SkPrV2:=SkPrV*SkPrV; //Скорость
продольной волны в породе в
квадрате
A:=(MassPor*SkPrV2)/250;
A:=A/PrPr;
A:=power((A),2/3);
V1:=((38*Ez)/
(MassPor*SkPrV2))*A;
// - объем газовой полости к
концу первой стадии расширения
r:=sqrt(V1/(pi*L)); //радиус
газовой полости к концу первой
стадии расш.
Pcr:=PIZ*((SkD*SkD)/8);
//давление в зарядной полости
N1:=(((3-1)*(1.3-1))/
(3-1.3))*(427*TVvv*g-
((SkD*SkD)/16));
Vc:=V0*sqrt((mm*Pcr)/
(N1*p0)); //объем газовой полости
в момент сопряжения
//изентроп
rc:=sqrt(Vc/(pi*L)); // радиус
полости в момент сопряжения
Pc:=Pcr*(V0/Vc)*(V0/Vc)*(V0/
Vc); //давление полости в момент
сопряжения
P11:=Pcr*(V0/V1)*(V0/V1)*(V0/
V1);
P12:=Pc*power((Vc/V1),13/10);
if (Vc>V1) then
P1:=P11;
if (Vc<=V1) then
P1:=P12;
Eo11:=((P1*V1)/2)
-((Pc*Vc)/2)+((Pc*Vc)/0.3);
Eo12:=(P1*V1)/0.3;
if (V1<Vc) then
Eo1:=Eo11; // - остаточная
энергия в полости к концу первой
стадии расшир.
if (V1>=Vc) then
Eo1:=Eo12;
Elz:=Ez-Eo1; //Энергия,
переданная в породу
//Rd:=r*sqrt((MassPor*SkPrV2)/
(4*PrPr)); //Радиус дробления

```



```

Rd:=StrToFloat(FormatFloat('0.',r*sq
rt((MassPor*SkPrV2)/(4*PrPr))));
Vd:=pi*L*(Rd*Rd-r0*r0);//Объем
дробления
P1:=Pc*power((Vc/V1),13/10);//-
давлен. в газовой полости к концу
первой
//стадии расширения
//- остаточная энергия в полости к
концу первой стадии расшир.
E1z:=Ez-Eo1;//- энергия,
переданная в породу
E1:=E1z-Ev;
r1[j]:=(j)/10; //
r1[j]:=r0+((j-1)/10); Menu1.
StringGrid1.Cells[1,j+1]:=FloatTo
Str(r1[j]);//занесение результата в
табл.
Menu1.StringGrid1.
Cells[1,0]:='Радиусы м.';//занесение
заголовка колонки
if (r1[j]>=r0) and (r1[j]<=(Rd))
then
//if (r1[j]>r0) and
(r1[j]<=(Rd+0.1)) then
// Мои правки
PE[j]:=StrToFloat(FormatFloat('0.'
,E1*0.1/(Rd-r0)));
KKK:=3.14*((r1[j]*(r1[j])-(r1[j]-
1))*(r1[j]-1)));
// KKK:=3.14*((r1[j]*(r1[j])-(
r1[j]-1))*(r1[j]-1))); PE[j]:=StrT
oFloat(FormatFloat('0.',PE[j]/KKK));
//PE[j]:=StrToFloat(FormatFloat(
'0.',E1/Vd)); Menu1.StringGrid1.
Cells[2,j]:=FloatToStr(PE[j]);//
занесение результата в
табл. Menu1.StringGrid1.
Cells[2,0]:='Плот.Энер.Дж/м^3';//
занесение заголовка колонки
Tabl1.StringGrid1.Cells[1,j+1]:
=FloatToStr(PE[j]);//занесение
результата в табл. Tabl1.
StringGrid1.Cells[1,0]:='Плот.Энер.
Дж/м^3';//занесение заголовка
колонки

```

```

r2[j]:=0+j; Tabl1.StringGrid1.
Cells[0,j+1]:=FloatToStr(r2[j]);//
занесение результата в табл.
Tabl1.StringGrid1.
Cells[0,0]:='Радиус дм.';//занесение
заголовка колонки
Menu1.Show;//вывод основной
формы
//Tabl1.show;//вывод первой
таблицы
end;
end;
//МАТРИЦА 1
procedure TMenu1.
Button2Click(Sender: TObject);
var
W1,b1,a,i,x,y,radN: integer;
radius, plot: real;
begin //Инициирование матрицы 1
SetLength(m1,Round(b+RMS+1));
for i:=0 to (Round(b+RMS)) do
begin
SetLength(m1[i],Round(w+200
*r0)+1);
end;
//размеры матрицы
for y:=1 to (Round(w+200*r0)+1)
do
for x:=1 to (Round(RMS+B)+1) do
begin
if ((W+1)-y)>0 then
//Блок заполнения
координатных осей
Matr1.SG1.
ColCount:=Round(B+RMS+2);
Matr1.SG1.
RowCount:=Round(w+200*r0)+2
for i:=0 to Round(B+RMS+1) do
for j:=0 to Round(w+200*r0)+1 do
begin
if i=0 then Matr1.SG1.
Cells[0,j]:=Inttostr(j-1);
if j=0 then Matr1.SG1.
Cells[i,0]:=Inttostr(i-1);
end;
Matr1.SG1.Cells[0,0]:='дм.\дм.';

```

//ЗАПОЛНЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ
ПЛОТНОСТИ ЭНЕРГИИ В
МАТРИЦУ 1

```
begin //ЗАПОЛНЕНИЕ ОТ 0 ДО
90
    w1:=((W+1)-y); b1:=x-1;
    radius:=strtofloat(FormatFloat('0.',sqrt(
t((w1*w1)+(b1*b1)))));
    //определение расстояния от
центра взрыва до точки
    with Tabl11.StringGrid1 do //
используется таблица 1
    begin
        for radN:=1 to RowCount-1 do
        if Cells[0,radN]=FloatToStr(rad
ius) then
            plot:=StrToFloat(Cells[1,radN]);
            end;
            m1[x-1,y-1]:=plot;
            Matr1.SG1.
Cells[x,y]:=FloatToStr(plot);//
За-несение значений в matr. 1
Plann1.Image1.Canvas.Pixels[x,y]:
=GetDjColor(Round(StrToFloat(Ma
tr1.SG1.Cells[x,y])))
            end;
```

```
//ЗАПОЛНЕНИЕ ПРИ 90
if ((W+1)-y)=0 then
begin
    b1:=x-1;
    radius:=strtofloat(FormatFloat('0.'
,b1)); // радиус
    with Tabl11.StringGrid1 do
    begin
        for radN:=1 to RowCount-1 do
        if Cells[0,radN]=FloatToStr(rad
ius) then
            plot:=StrToFloat(Cells[1,radN]);
            end;
            m1[x-1,y-1]:=plot;
            Matr1.SG1.Cells[x-1,y-
1]:=FloatToStr(plot); //Занесение
значений в matr. 1 Plann1.Image1.
Canvas.Pixels[x,y]:=GetDjColo
r(Round(StrToFloat(Matr1.SG1.
Cells[x,y])))
            end;
```

```
//ЗАПОЛНЕНИЕ БОЛЕЕ 90
if (((W+1)-y)<0) and ((x-1)<0)
then
begin
    w1:=y-(W+1); b1:=x-1; radius:=
strtofloat(FormatFloat('0.',sqrt((w1*
w1)+(b1*b1)))));
    with Tabl11.StringGrid1 do
    begin
        for radN:=1 to RowCount-1 do
        if Cells[0,radN]=FloatToStr(rad
ius) then
            plot:=StrToFloat(Cells[1,radN]);
            end;
            m1[x-1,y-1]:=plot; Matr1.
SG1.Cells[x,y]:=FloatToStr(plot);//
За-несение значений в matr. 1
Plann1.Image1.Canvas.Pixels[x,y]:
=GetDjColor(Round(StrToFloat(Ma
tr1.SG1.Cells[x,y])))
            end;
```

```
//ЗАПОЛНЕНИЕ ПРИ 180
if (((W+1)-y)<0) and ((x-1)=0)
then
begin
    w1:=y-(W+1);
    radius:=strtofloat(FormatFloat('0.'
,w1)); // радиус
    with Tabl11.StringGrid1 do
    begin
        for radN:=1 to RowCount-1 do
        if Cells[0,radN]=FloatToStr(rad
ius) then
            plot:=StrToFloat(Cells[1,radN]);
            end;
            m1[x-1,y-1]:=plot; Matr1.SG1.
Cells[x,y]:=FloatToStr(plot);//За-
несение значений в matr. 1 Plann1.
Image1.Canvas.Pixels[x,y]:=GetDj
Coor(Round(StrToFloat(Matr1.SG1.
Cells[x,y])))
            //Конвертация матрицы 1 в
планограмму 1
            //Прорисовка линий на
планограмме 1
            //Нижняя линия (рамка
планограммы)
```

```

Matr1.SG1.Cells[0,0]:='Объем
м^3';
Plann1.Image1.Canvas.
Pen.Style:=psSolid;
Plann1.Image1.Canvas.
MoveTo(0, Round(w+r0*200));
Plann1.Image1.Canvas.LineTo(Round
(B+RMS+1), Round(w+r0*200));
//Верхняя линия (рамка
планограммы)
Plann1.Image1.Canvas.
Pen.Style:=psSolid;
Plann1.Image1.Canvas.
MoveTo(Round(B+RMS+1), 0);
Plann1.Image1.Canvas.LineTo(Round
(B+RMS+1), Round(w+r0*200+1));
//Вертикальная линия разделяет
1 и 2 участки Plann1.Image1.
Canvas.LineTo(Round(B+RMS+1
), Round(w+1)); Plann1.Image1.
Canvas.MoveTo(Round(RMS+1), 0);
Plann1.Image1.Canvas.LineTo(Round
(RMS+1), Round(w+r0*200+1));
Matr1.Show; //вывод матрицы 1
end;
end;
end;
//МАТРИЦА 2
procedure TMenu1.
Button3Click(Sender: TObject);
var
w1, b1, a, i, x, y, radN: integer;
radius, plot: real;
begin //Инициирование матрицы 2
SetLength(m2, Round(b+RMS+1));
for i:=0 to (Round(b+RMS)) do
begin SetLength(m2[i], Round(w
*10+200*r0+1));
end;
//размеры матрицы
for y:=1 to (Round(w+200*r0+1)
do
for x:=1 to (Round(B+RMS+1)) do
begin
if (y)>0 then
//Блок заполнения координатных
осей матрицы 2

```

```

Matr2.SG1.
ColCount:=Round(B+RMS+2);
Matr2.SG1.
RowCount:=Round(w+200*r0)+2
for i:=0 to Round(b+RMS+1) do
for j:=0 to Round(w+200*r0)+1 do
begin
if i=0 then Matr2.SG1.
Cells[0,j]:=Inttostr(j1);
if j=0 then Matr2.SG1.
Cells[i,0]:=Inttostr(i1);
end;
Matr2.SG1.Cells[0,0]:='дм.\дм.';
//ЗАПОЛНЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ
ПЛОТНОСТИ ЭНЕРГИИ В
МАТРИЦУ 2
begin
w1:=(W+1)-y;
b1:=(RMS+1)-x;
//b1:=(RMS+1)-x; radius:=strtofloa
t(FormatFloat('0.', sqrt((w1*w1)+(b1
*b1))))); // *2
//определение радиуса
with Tabl11.StringGrid1 do
begin
for radN:=1 to RowCount-1 do
if Cells[0,radN]=FloatToStr(rad
ius) then
plot:=StrToFloat(Cells[1,radN]);
end;
m2[x-1,y-1]:=plot; //
заносятся 0
Matr2.SG1.
Cells[x,y]:=FloatToStr(plot); Plann2.
Image1.Canvas.Pixels[x,y]:=GetDj
Cor(Round(StrToFloat(Matr2.SG1.
Cells[x,y])));
end;
if ((W+1)-y)>0 then
begin
w1:=(W+1)-y;
b1:=(RMS+1)-x; radius:=strtof
loat(FormatFloat('0.', sqrt((w1*w1)+(
b1*b1))))); //
//определение радиуса
with Tabl11.StringGrid1 do
begin

```

```

        for radN:=1 to RowCount-1 do
        if Cells[0,radN]=FloatToStr(radius) then
            plot:=StrToFloat(Cells[1,radN]);
            end;
            m2[x-1,y-1]:=plot; //
            заносится 0
            Matr2.SG1.
            Cells[x,y]:=FloatToStr(plot); Plann2.
            Image1.Canvas.Pixels[x,y]:=GetDj
            Cor(Round(StrToFloat(Matr2.SG1.
            Cells[x,y]]));
            end;
            //ЗАПОЛНЕНИЕ ПРИ 90
            if (((W+1)-y)=0) and
            ((x-(RMS))>0) then
            begin
                b1:=x-(RMS+1);
                radius:=strtofloat(FormatFloat('0.'
                ,b1)); // радиус
                with Tabl1.StringGrid1 do
                begin
                    for radN:=1 to RowCount-1 do
                    if Cells[0,radN]=FloatToStr(radius) then
                        plot:=StrToFloat(Cells[1,radN]);
                        end;
                        m2[x-1,y-1]:=plot;
                        Matr2.SG1.
                        Cells[x,y]:=FloatToStr(plot); Plann2.
                        Image1.Canvas.Pixels[x,y]:=GetDj
                        Cor(Round(StrToFloat(Matr2.SG1.
                        Cells[x,y]]));
                        end;
                        //ЗАПОЛНЕНИЕ БОЛЕЕ 90
                        if (((W+1)-y)<0)and
                        (((RMS+1)-x)>0) then
                        begin
                            w1:=y-(W+1);
                            b1:=x-(RMS+1); radius:=strtoflo
                            at(FormatFloat('0.',sqrt((w1*w1)+(b1
                            *b1)))); // радиус
                            with Tabl1.StringGrid1 do
                            begin
                                for radN:=1 to RowCount-1 do
                                if Cells[0,radN]=FloatToStr(radius) then

```

```

                            plot:=StrToFloat(Cells[1,radN]);
                            end;
                            //if radius<1 then plot:=0;
                            m2[x-1,y-1]:=plot;
                            Matr2.SG1.Cells[x,y]:=FloatToStr(
                            plot); Plann2.Image1.Canvas.Pixels[
                            x,y]:=GetDjCor(Round(StrToFloat(M
                            atr2.SG1.Cells[x,y]]));
                            end;
                            //ЗАПОЛНЕНИЕ ПРИ 180
                            if (((W+1)-y)<0) and
                            (((RMS+1)-x)=0) then
                            begin
                                w1:=y-(W+1);
                                radius:=strtofloat(FormatFloat('0.'
                                ,w1)); // радиус
                                with Tabl1.StringGrid1 do
                                begin
                                    for radN:=1 to RowCount-1 do
                                    if Cells[0,radN]=FloatToStr(radius) then
                                        plot:=StrToFloat(Cells[1,radN]);
                                        end;
                                        m2[x-1,y-1]:=plot;
                                        Matr2.SG1.
                                        Cells[x,y]:=FloatToStr(plot); Plann2.
                                        Image1.Canvas.Pixels[x,y]:=GetDjC
                                        olor(Round(StrToFloat(Matr2.SG1.
                                        Cells[x,y]]))
                                        Plann2.Image1.Canvas.
                                        Pen.Style:=psSolid;
                                        Plann2.Image1.Canvas.
                                        MoveTo(0,Round(w+r0*200));
                                        Plann2.Image1.Canvas.LineTo(Round
                                        (B+RMS+1),Round(w+r0*200));
                                        Plann2.Image1.Canvas.
                                        Pen.Style:=psSolid;
                                        Plann2.Image1.Canvas.
                                        MoveTo(Round(B+RMS+1),0);
                                        Plann2.Image1.Canvas.LineTo
                                        (Round(B+RMS+1),Round(w
                                        +r0*200+1)); Plann2.Image1.Canvas.
                                        LineTo(Round(B+RMS+1),Round
                                        (w+1)); Plann2.Image1.Canvas.
                                        MoveTo(Round(RMS+1),0); //
                                        вертикальная линия Plann2.Image1.

```

```

Canvas.LineTo(Round(RMS+1),Round
d(w+r0*200+1));
  Matr2.show; //вывод матрицы 2
end;
end;
//Матрица 3 Итоговая
procedure TMenu1.
Button4Click(Sender: TObject);
var
  b1,W1,a,i,x,y,z: integer;
begin //Инициирование матрицы
  SetLength(m3,Round(b+RMS+1));
  for i:=0 to (Round(b+RMS)) do
    SetLength(m3[i],Round(w+200
*r0)+1);
  //Блок занесения координатных
осей матрицы 3 Matr3.SG1.
ColCount:=Round(B+RMS+2);Matr3.
SG1.
RowCount:=Round(w+200*r0)+2;
  for i:=0 to Round(b+RMS+1) do
    for j:=0 to Round(w+200*r0)+1 do
      begin
        if i=0 then Matr3.SG1.
Cells[0,j]:=Inttostr(j-1);
        if j=0 then Matr3.SG1.
Cells[i,0]:=Inttostr(i-1);
      end;
      Matr3.SG1.Cells[0,0]:='дм.\дм.';
      //Размеры матрицы
      for y:=0 to (Round(w+200*r0)) do
        for x:=0 to (Round(b+RMS)) do
          begin //Сложение матриц
            for z:=0 to (Round(b+RMS)) do
              m3[z,y]:=m1[z,y]; //матр 3 + matr
1
              for z:=0 to (Round(b+RMS)) do
                m3[z,y]:=m3[z,y]+m2[z,y]; //матр3
+ matr2 Matr3.SG1.Cells[x+1,y+1]
:=FloatToStr(m3[x,y]); //Занесение
значений в matr Plann3.Image1.
Canvas.Pixels[x+1,y+1]:=GetDjColor
(Round(m3[x,y]));
//Конвертация матрицы 3 в
планограмму 3

```

```

//Прорисовка линий по
планограмме
  Plann3.Image1.Canvas.
Pen.Style:=psSolid;
Plann3.Image1.Canvas.
MoveTo(0,Round(w+r0*200));
Plann3.Image1.Canvas.LineTo(Round
(B+RMS+1),Round(w+r0*200));
  Plann3.Image1.Canvas.
Pen.Style:=psSolid;
Plann3.Image1.Canvas.
MoveTo(Round(B+RMS+1),0);
Plann3.Image1.Canvas.LineTo
(Round(B+RMS+1),Round(w
+r0*200+1)); Plann3.Image1.Canvas.
LineTo(Round(B+RMS+1),Roun
d(w+1)); Plann3.Image1.Canvas.
MoveTo(Round(RMS+1),0); //
вертикальная линия Plann3.Image1.
Canvas.LineTo(Round(RMS+1),Roun
d(w+r0*200+1));
  Matr3.show; //вывод матрицы 3
end;
end;
// Процедура вывода планограммы
1
procedure TMenu1.
Button6Click(Sender: TObject); //
Кнопка «Планограмма 1»
begin
  Plann1.Show;
end;
// Процедура вывода планограммы
2
procedure TMenu1.
Button7Click(Sender: TObject); //
Кнопка «Планограмма 2»
begin
  Plann2.Show;
end;
//Процедура вывода планограммы 3
procedure TMenu1.
Button8Click(Sender: TObject); //
Кнопка «Планограмма 3»
begin
  Plann3.Show;
end;

```

```
// Процедура выхода из программы
Кнопка «Выход»
procedure TMenu1.
Button5Click(Sender: TObject);
begin
    r1:=nil; PE:=nil; Vk:=nil; m1:=nil;
    m2:=nil; m3:=nil;//Обнуление
    данных
    Close;//Закрытие программы
end;
end.
```

Приложение 3

Компьютерная программа «Энергия-2»

Распределение по площадям плотности энергии
разрушения волновой фазы взрыва.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ
№ 2010612825, 2010, авторы: Викторов С.Д., Казаков Н.Н., Шляпин А.В.

По компьютерной программе «Энергия-2» выполняется расчет распределения плотности энергии разрушения волновой фазы процесса по площади в сечении, перпендикулярном скважинному заряду.

Учитывается энергия разрушения падающей и отраженной волн.

```
unit uEnergy;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils,
  Variants, Classes, Graphics, Controls,
  Forms,
  Dialogs, ComCtrls, ExtCtrls,
  ImgList, Spin, StdCtrls, Buttons,
  Menus;
type
  TfmEnergy = class(TForm)
    pcPage: TPageControl;
    TabSheet1: TTabSheet;
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;
    LabeledEdit5: TLabeledEdit;
    LabeledEdit8: TLabeledEdit;
    LabeledEdit9: TLabeledEdit;
    LabeledEdit10: TLabeledEdit;
    LabeledEdit11: TLabeledEdit;
    LabeledEdit12: TLabeledEdit;
    LabeledEdit13: TLabeledEdit;
    LabeledEdit14: TLabeledEdit;
    LabeledEdit16: TLabeledEdit;
    SpinEdit1: TSpinEdit;
    SpinEdit2: TSpinEdit;
    LabeledEdit7: TLabeledEdit;
    LabeledEdit6: TLabeledEdit;
    LabeledEdit4: TLabeledEdit;
```

```
LabeledEdit1: TLabeledEdit;
LabeledEdit2: TLabeledEdit;
LabeledEdit3: TLabeledEdit;
TabSheet5: TTabSheet;
BitBtn1: TBitBtn;
BitBtn7: TBitBtn;
Button3: TButton;
Bevel3: TBevel;
GroupBox1: TGroupBox;
cb1: TCheckBox;
cb2: TCheckBox;
cb3: TCheckBox;
cb4: TCheckBox;
Memo1: TMemo;
Button5: TButton;
LabeledEdit17: TEdit;
Label3: TLabel;
procedure UpdateData;
procedure pcPageChange(Sender:
  TObject);
procedure
  LabeledEdit1Exit(Sender: TObject);
procedure btCountClick(Sender:
  TObject);
procedure ViewResult(Sender:
  TObject);
procedure ImagingMatrix;
procedure GridingMatrix;
procedure ShowMatrixGrid(Sender:
  TObject);
procedure
  ShowMatrixImage(Sender: TObject);
procedure Button4Click(Sender:
  TObject);
private
public
  { Public declarations }
end;
```

```

var
  fmEnergy: TfmEnergy;
  flag: word; // номер страницы
  //Исходные данные
  SkD, //SkD — скорость детонации
  RSkv, //RSkv — радиус скважины
  PlZ, //PlZ — Плотность заряжания
  MassPor, //MassPor — Объемный
вес (масса) породы
  PrPr, //PrPr — Проедел прочности
породы на сжатие
  URvv, //URvv — Удельный расход
BB
  TVvv: real; //TVvv — Теплота
взрыва BB
  SkPrV, //SkPrv — Скорость
продольной волны в породе
  LNS, //LNS — ЛНС (расстояние
между рядами скважин)
  G, //g — ускорение силы тяжести
  DIZ, //DIZ — Принятая в расчете
часть длины заряда
  EKvv, //EKvv — Энергетический
коэффициент BB в сравнение с
эталонным BB
  MU, //MU — Модуль упругости
  kPuas, //kPuas — Коэффициент
пуассона
  B,
  PrPrs: real;
  RMS, RMRS: Byte;
  matr: array of array of integer; //
обрезанная матрица
implementation
  //ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ЮНИТЫ
uses Raschet, Mat45678, Plan45678,
Result;
{$R *.dfm}
//Присваивание значений в окнах
исходных данных переменным
procedure TfmEnergy.UpdateData;
begin
  SkD:=StrToFloat(LabeledEdit1.
Text);
  RSkv:=StrToFloat(LabeledEdit2.
Text);
  PlZ:=StrToFloat(LabeledEdit3.Text);
  MassPor:=StrToFloat(LabeledEdit4.
Text);
  PrPr:=StrToFloat(LabeledEdit5.
Text);
  URvv:=StrToFloat(LabeledEdit6.
Text);
  TVvv:=StrToFloat(LabeledEdit7.
Text);
  SkPrV:=StrToFloat(LabeledEdit8.
Text);
  LNS:=StrToFloat(LabeledEdit9.
Text);
  g:=StrToFloat(LabeledEdit10.Text);
  DIZ:=StrToFloat(LabeledEdit11.
Text);
  EKvv:=StrToFloat(LabeledEdit12.
Text);
  MU:=StrToFloat(LabeledEdit13.
Text);
  kPuas:=StrToFloat(LabeledEdit14.
Text);
  B:=StrToFloat(LabeledEdit16.Text);
  RMS:=StrToInt(SpinEdit1.Text);
  RMRS:=StrToInt(SpinEdit2.Text);
  PrPrS:=StrToFloat(LabeledEdit17.
Text);
end;
procedure TfmEnergy.
pcPageChange(Sender: TObject);
begin
  UpdateData;
end;
procedure TfmEnergy.
LabeledEdit1Exit(Sender: TObject);
begin
  if ((Sender as TLabelEdit).Text =
") or
    (StrToFloat((Sender as
TLabelEdit).Text) < 0)
  then
    begin
      (Sender as TLabelEdit).Color :=
clRed;
    end else
      (Sender as TLabelEdit).Color :=
clWindow;
    end;
end;

```



```

procedure TfmEnergy.
btCountClick(Sender: TObject);
var
  x,y: integer;
begin
  Screen.Cursor:=crHourGlass;
  FillData(Sender);
  UpdateData;
  CreateMatrix(Sender);
  DrawSkv(Sender);
  flag:=pcPage.TabIndex;
  case (Sender as TBitBtn).Tag of
    3: begin
      Resh1(Sender);
      Resh2(Sender);
      Volna(Sender);
      // удаление слоя
      for x:=0 to High(matrix0) do
        for y:=0 to High(matrix0) do
          if matrix0[x,y]=RE1 then
matrix0[x,y]:=0;
        end;
      end;
      ViewResult(Sender);
      CopyMatrix(Sender);
      CutMatrix(Sender);
      Screen.Cursor:=crDefault;
    end;
  procedure TfmEnergy.
  ViewResult(Sender: TObject);
  var
    x,y: integer;
    cx,cy: integer;
  begin
    cx:=Round(High(matrix0)/2); //
    Координаты центра взрыва
    cy:=Round(High(matrix0)/2);
    with fmResult.StGr do
      begin
        RowCount:=Round(High(matrix0)/2)+2;
        Cells[0,0]:='Радиус (м)';
        Cells[1,0]:='Дж';
        for x:=0 to RowCount-2 do
          begin
            Cells[0,x+1]:=FloatToStr(x/10);

```

```

        Cells[1,x+1]:=IntToStr(matrix0[cx
+ x,cy]);
        end;
      end;
      fmResult.Show; //Вывод таблицы
      результатов вычислений
    end;
  procedure TfmEnergy.ImagingMatrix;
  var
    v1,h1: integer; //высота и ширина
    матрицы обрезанной
    i,j: integer;
  begin
    v1:=Round(LNS+RSkv*2*100);
    h1:=Round(B+RMS);
    fmImage:=TfmImage.Create(self);
    fmImage.Show;
    fmImage.pbMatrix.Hide;
    fmImage.pbMatrix.Height:=v1;
    fmImage.pbMatrix.Width:=h1;
    i:=0;
    while i<=h1-1 do
      begin
        j:=0;
        while j<=v1-1 do
          begin
            matrix[i,j]:=matrixbig[i,j+Round(LNS)-1];
            fmImage.pbMatrix.Canvas.Pixels[i,j]:=GetDjColor(StrToInt(FloatToStr(int(matrix[i,j]))));
            j:=j+1;
          end;
          i:=i+1;
        end; //Выборка цвета
        fmImage.pbMatrix.Show;
      end;
    procedure TfmEnergy.GridingMatrix;
    var
      v1,h1: integer; //высота и ширина
      матрицы обрезанной
      i,j: integer;
    begin
      v1:=Round(LNS+RSkv*2*100)+1;
      h1:=Round(B+RMS)+1;
      fmGrid:=TfmGrid.Create(self);
      fmGrid.StGr.ColCount:=h1+1;
      fmGrid.StGr.RowCount:=v1+1;

```

```

fmGrid.StGrCreate(Self);
i:=0;
while i<=h1-1 do
begin
j:=0;
while j<=v1-1 do
begin
matrix[i,j]:=matrixbig[i,j+Round(
LNS)-1];
matr[i,j]:=matrixbig[i,j+Round(L
NS)-1];
fmGrid.StGr.Cells[i+1,j+1]:=Float
ToStr(int(matrix[i,j]));
Application.ProcessMessages;
j:=j+1;
end;
i:=i+1;
end; //Выборка цвета
fmGrid.Show;
end;
procedure TfmEnergy.
ShowMatrixGrid(Sender: TObject);
begin
GridingMatrix;
end;
procedure TfmEnergy.
ShowMatrixImage(Sender: TObject);
begin
ImagingMatrix;
end;
//Вывод результатов вычислений в
диалоговое окно
procedure TfmEnergy.
Button4Click(Sender: TObject);
begin
with Memo1.Lines do
begin
Clear;//Очистка экрана
Add(""); //Отступ в окне перед
надписью
Add("");
Add('Объем зарядной полости:
'+formatfloat('0.###',V0)+' м3');
Add('Масса заряда:
'+formatfloat('#.###',M)+' кг');
Add('Энергия заряда:
'+formatfloat('#.',Ez)+' Дж');

```

```

Add("");
Add('В полости первичного
расширения. ');
Add("");
Add('Объем газовой полости к
концу первой стадии расширения: '
+formatfloat('0.###',V1)+' м3');
Add('Радиус газовой полости к
концу первой стадии расширения: '
+formatfloat('0.###',r1)+' м');
Add('Радиус дробления:
'+formatfloat('#.###',Rd)+' м. ');
Add("");
Add('Остаточная энергия в
полости к концу первой стадии
расширения : '
+formatfloat('#.',Eo1)+' Дж');
Add('Остаточная энергия в
полости к концу первой стадии
расширения : '
+formatfloat('#.###',Eo1pr)+' %');
Add("");
Add('Энергия, переданная в
породу: '+formatfloat('#.',E1z)+' Дж');
Add('Энергия,
переданная в породу: '+
formatfloat('#.###',E1pr)+'%');
Add("");
Add('Максимальная массовая
скорость на границе зоны
измельчения породы: '
+formatfloat('#.###',UF)+' м/с');
Add("");
Add('Энергия, переданная в волну
напряжений: '+formatfloat('#.',Ev)+'
Дж');
Add('Энергия, переданная
в волну напряжений:
'+formatfloat('#.#',Evpr)+' %');
Add("");
Add('Энергия камуфлетной зоне:
'+formatfloat('#.',E1)+' Дж');
Add('Энергия дробления
в камуфлетной зоне:
'+formatfloat('#.#',E1pr)+' %');
Add("");

```

```
Add('Средняя плотность энергии  
дробления в камуфлетной зоне: '  
    +formatfloat('#.#',RE1)+' Дж');  
Add("");  
Add("");  
Add('Давление :  
' +formatfloat('#.',P1)+' Па');
```

```
Add('Длина волны:  
' +formatfloat('#.##',uV));  
Add('Период волны:  
' +formatfloat('0.#####',T));  
end;  
end;  
end.
```

Компьютерная программа «Энергия-3»

Распределение по площадям плотности энергии
разрушения квазистатической фазы взрыва.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ
№ 2013613239, 2013, авторы патента: Казаков Н.Н., Шляпин А.В.

По компьютерной программе «Энергия-3» выполняет расчет распределения плотности энергии разрушения квазистатической фазы процесса по площади в сечении, перпендикулярном скважинному ряду.

```
unit
interface
//Описание используемых в
программе процедур
uses
  Windows, Messages, SysUtils,
  Variants, Classes, Graphics, Controls,
  Forms,
  Dialogs, StdCtrls, Buttons, ExtCtrls,
  Math;
//Описание окон ввода данных,
кнопок и их процедур
type
  TForm1 = class(TForm)//кнопка
обновление данных
    BitBtn2: TBitBtn;//кнопка
выполнения расчета
    BitBtn3: TBitBtn;//кнопка выхода
из программы
    Button1: TButton;
    Button3: TButton;
    Button4: TButton;
    Button5: TButton;
    Button6: TButton;
    Button2: TButton;
    Button7: TButton;
    Button8: TButton;
    Button9: TButton;
    Button11: TButton;
    Button10: TButton;
```

```
Label2: TLabel;
Label3: TLabel;
Label4: TLabel;
Label5: TLabel;
Label6: TLabel;
Label7: TLabel;
Label8: TLabel;
Label9: TLabel;
Label10: TLabel;
Label1: TLabel;
//кнопка вывода числовой
матрицы
function GetDjColor(Dj:
integer):TColor;
//Выполняемые процедуры при
нажатии кнопок
procedure BitBtn2Click(Sender:
TObject);//Передача данных при
нажатии
procedure BitBtn3Click(Sender:
TObject);//Передача данных при
нажатии
procedure Button1Click(Sender:
TObject);//Передача данных при
нажатии
procedure Button3Click(Sender:
TObject);
procedure Button4Click(Sender:
TObject);
procedure Button5Click(Sender:
TObject);
procedure Button6Click(Sender:
TObject);
procedure Button2Click(Sender:
TObject);
procedure Button7Click(Sender:
TObject);
```

```

procedure Button8Click(Sender:
TObject);
procedure Button9Click(Sender:
TObject);
procedure Button11Click(Sender:
TObject);
procedure FormClose(Sender:
TObject; var Action: TCloseAction);
procedure Button10Click(Sender:
TObject);
//procedure Button10Click(Sender:
TObject);
//Передача данных при нажатии
private //описание переменных и
процедур и т. д. только для этого
модуля
{ Private declarations }
public//описание переменных и
процедур и т. д. доступных другим
модулям
{ Public declarations }
end;
var //Объявление типов констант и
переменных
Form1: TForm1;
br: real;
//ПОЛУЧАЕМЫЕ ДАННЫЕ
gr,
M, //масса заряда F,fn,n, //
определение ширины воронки по W
B, //ширина воронки
bt,bt0,bt1,bt2,dbt, //углы воронок
al1, //предельный угол
dal1,dal2,
Bb, //большое полуоснование
трапеции
h1, //большая часть высоты
трапеции
h2, //малая часть высоты трапеции
hv, //высота трапеции
bv, //малое полуоснование
трапеции
Vt, //объем трапецииидальной части
полости
Vsb, //объем большого сегмента
Vsm, //объем малого сегмента

```

```

Vn, //объем полости к моменту
прорыва продуктов детонации в
атмосферу
Pn, //давление в газовой полости
к моменту прорыва продуктов
детонации в атмос
Eo2, //остаточная энергия в
полости к моменту прорыва
продуктов детонации в атмосфере
Ep, //энергия, переданная в породу
за время второй стадии расширения
полости
al,gm1,gm2,gm3,gm4: real;
A,SL, //сумма всех выбранных
направлений
Rs,
Bs,
EL,dw, A1: real; //Энергия на метр
смещения границы
//переменный радиус
//плотность энергии в объеме
//элементарный объем вдоль
сектора
Rk: real; // конечный радиус по
сектору
s: string;
RRR: array of real;
dV1: array of real;
Rn: array of real; //массив
расстояние до границы воронки
L1: array of real; //массив величина
смещения по направлениям
Rc: array of real; //массив
определение радиусов каждого
сектора
dV: array of real; //массив объем
каждого сектора
En: array of real; //массив Энергия
по каждому направлению
dEn: array of real; //массив
плотность энергии по каждому
направлению
Rv: array of real; //расстояние
от границы полости до границы
участка
ESR1: array of real; //энергия на
длину dR в секторе

```

```

PPE: array of real;
Rc1: array of real;
m31,m32,m33,m34,m40: array of
array of real; //описание матрицы
//ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ
const
{ W=70; //ЛНС
r1=0.233; //Радиус камуфлетной
полости
dAl=1; //Шаг по углу (1 градус)
L=1; //Принятая в расчете часть
длины заряда
// E=24209144; //Энергия в газовой
полости к концу первой стадии ее
расширения
V1=0.171; //Объем полости к концу
первой стадии ее расширения
P1=45576199; //Давление в
полости к концу первой стадии ее
расширения
kE=1; //Энергетический
коэффициент ВВ в сравнении с
эталонным ВВ
q=0.9; //Удельный расход ВВ
p0=900; //Плотность заряжания
r0=0.125; //Радиус скважины
RMS=70; //Расстояние между
скважинами
p=2700; //Объемный вес породы кг/
м3
с=4000; //Скорость продольной
волны м/с
Sg=160000000; //Предел
прочности на сжатие Па }
//Ер=27056353;
W=70; //ЛНС
r1=0.233; //Радиус камуфлетной
полости
dAl=1; //Шаг по углу (1 градус)
L=1; //Принятая в расчете часть
длины заряда
E=115615471; //Энергия в газовой
полости к концу первой стадии ее
расширения
V1=0.171; //Объем полости к концу
первой стадии ее расширения

```

```

P1=176400000; //Давление в
полости к концу первой стадии ее
расширения
kE=1; //Энергетический
коэффициент ВВ в сравнении с
эталонным ВВ
q=0.9; //Удельный расход ВВ
p0=900; //Плотность заряжания
r0=0.125; //Диаметр скважины
RMS=70; //Расстояние между
скважинами
p=2700; //Объемный вес породы кг/
м3
с=4000; //Скорость продольной
волны м/с
Sg=160000000; //Предел прочности
на сжатие
implementation
uses Mat9,Mat10,Mat11,Mat13, Plan
9,Plan10,Plan11,Plan13,Tab31,Tab32
,Tab33,
Unit16, Zr;
//используемые юниты
{$R *.dfm}
function TForm1.GetDjColor(Dj:
integer):TColor; //оператор
заполнения цветом
begin //Массив конвертации
числовых значений плотности
энергии в цвета
case dj of
-10: result:=clBlack; //Цвет,
которым отображается скважина
-1: result:=clBlack; //Цвет, которым
отображается полость
0: result:=clWhite; //Цвет, которым
заполняется ячейка с нулевым
значением
1..414072: result:=ClGray;
414073..538011: result:=ClYellow;
538012..800000: result:=ClGreen;
800001..1000000: result:=ClBlue;
1000001..1200000:
result:=ClMaroon;
1200001..1500000: result:=ClNavy;
1500001..25000000: result:=ClRed;
end;

```

```

end;
procedure TForm1.
BitBtn2Click(Sender: TObject);//
Выполнение процедуры, форма 1,
//кнопка «Вычисления»
const
  dR=0.1;//шаг по радиусу
  var//Объявление типов констант и
переменных
  j,i: integer;
begin
  //Расчет величин, осуществляется
путем преобразования строк в
вещественные
  //числа с форматированием до
тысячных
  rr:=0.934; //
  r1:=power(p*(c*c/4*Sg),13/10);
  M:=StrToFloat(FormatFloat('0.000',pi
*r0*r0*L*p0));//масса заряда
  //Определение ширины воронки
по W
F:=StrToFloat(FormatFloat('0.000',(M
*kE)/(L*q*(w/10)*(w/10)));
  n:=1;
  fn:=0;
  while F>fn do
  begin fn:=StrToFloat(FormatFloat('0.
000',(((1+n*n)*(1+n*n))/(4*n)));
    n:=n+0.001;
  end;
  //Определение углов воронки
  B:=StrToFloat(FormatFloat('0.0',n*
(w/10))); //0.000
  //Вспомогательные углы гамма
делят зону на участки
gm1:=StrToFloat(FormatFloat('0.000',
(Arctan(b/(w/10)))*(180/pi)));
  gm2:=StrToFloat(FormatF
loat('0.000',180-((Arctan(b/
(w/10)))*(180/pi))););
  gm3:=StrToFloat(For
matFloat('0.000',270-
((Arctan((w/10)/b))*(180/pi))););
  gm4:=StrToFloat(FormatF
loat('0.000',360-(Arctan(b/
(w/10)))*(180/pi)));
  bt0:=StrToFloat(FormatFloat('0.000
',gm1));
  bt1:=StrToFloat(FormatFloat('0.000',a
rccos(rr/sqrt(b*b+
(w/10)*(w/10)))*(180/pi)));; bt2:=Str
ToFloat(FormatFloat('0.000',arccos(rr
/b)*(180/pi)));;
  dbt:=StrToFloat(FormatFloat('0.00
0',bt1-bt2));; bt:=StrToFloat(FormatF
loat('0.000',bt0+dbt));; al1:=StrToFl
oat(FormatFloat('0.000',bt0+bt1));//
предельный угол
  dal1:=StrToFloat(FormatFlo
at('0.000',180-al1));; dal2:=StrToFloat
(FormatFloat('0.000',180+dal1));;
  Bb:=StrToFloat(FormatFloat('0.0
00',b*sin(bt*pi/180)));//большое
полуоснование
  // высоты трапеции h1:=StrToFlea
t(FormatFloat('0.000',(w/10)*cos(bt*
pi/180)));//большая часть
//трапеции
  h2:=StrToFloat(FormatFloat('0.000'
,rr*cos((180-al1)*pi/180)));//малая
часть
  //высоты трапеции r1 hv:=StrTo
Float(FormatFloat('0.000',h1+h2));//
высота трапеции
  bv:=StrToFloat(FormatFloat('0.000'
,rr*sin((
80-al1)*pi/180)));//малое
полуоснование трапеции r1 Vt:=Str
ToFloat(FormatFloat('0.000',L*hv*(B
b+bv)));//объем трапециидальной
//части полости
  if w<B then
  Vsb:=StrToFloat(FormatFloat('0.000',
(pi*b*b*L*bt*2)/360-(h1+
(b-(w/10))*Bb*L)) else Vsb:=StrTo
Float(FormatFloat('0.000',(pi*b*b*L*
bt*2)/360-h1*Bb*L));//объем
//большого сегмента
  Vsm:=StrToFloat(FormatFloat('0.0
00',((pi*rr*rr/360)*(180-al1)*2)*L-
h2*bv*L));
  //объем малого сегмента r1

```

```

Vn:=StrToFloat(FormatFloat('0.000'
,Vt+Vsm+Vsb));//объем полости к
моменту
//прорыва продуктов детонации в
атмосферу Pn:=StrToFloat(FormatFl
oat('0.000',P1*power(V1/Vn,1.3)));//
давление в газовой
//полости к моменту прорыва
продуктов детонации в атмосферу
Eo2:=StrToFloat(FormatFloat('0.000',
Pn*Vn/0.3));//энергия, переданная в
атмосферу
Form2.StGr1.
Cells[9,0]:=FloatToStr(Eo2);
Ep:=StrToFloat(FormatFloat('0.000
',E-Eo2)); //энергия, переданная в
породу за
//время второй стадии ее
расширения A1:=StrToFloat(Format
Float('0.000',B*(sin(45))));
//организация цикла по расчету
расстояния смещения по каждому
направлению
al:=0;
Sl:=0;
//расчет длины массивов
for i:=0 to 359 do //new
//инициация массивов заданной
длины
SetLength(Rn,i); SetLength(L1,i);
SetLength(Rc,i); SetLength(dV,i);
SetLength(En,i); SetLength(dEn,i);
SetLength(Rv,i); SetLength(ESR1,i);
SetLength(dV1,i);
SetLength(RRR,i); SetLength(PPE,i);
SetLength(Rc1,i);
Form2.Show; //Вывод формы 2 -
таблицы с результатом расчетов
dw:=StrToFloat(FormatFloat('0.000',(
20*r0)))
for j:=0 to i-1 do //1
begin
Form2.StGr1.
Cells[0,j+1]:=FloatToStr(al);//
форма 2,форма 5 занесение
значения Form5.StringGrid1.
Cells[j+1,0]:=FloatToStr(al);//

```

```

РАССТОЯНИЕ ДО ГРАНИЦЫ
ПОЛОСТИ
if al<=bt0 then
Rn[j]:=StrToFloat(FormatFloat('0.000'
,Sqrt(((w/10)-b)*((w/10)-b)+b*b+
2*((w/10)-b)*b*cos(al*pi/180))));
if (al>bt0) and (al<=bt) then Rn[j]:
=StrToFloat(FormatFloat('0.000',B*co
s((bt0)*pi/180)/(sin((al)*pi/180))));
if (al>bt) and (al<=al1) then Rn[
j]:=StrToFloat(FormatFloat('0.000',rr/
cos((al1-al)*pi/180))));
if (al>al1) and (al<=(360-al1)) then
Rn[j]:=StrToFloat(FormatFloat('0.00
0',rr));
if (al>(360-al1)) and (al<=(360-
bt)) then Rn[j]:=StrToFloat(For
matFloat('0.000',rr/cos((al-(360-
al1))*pi/180))));
if (al>(360-bt)) and (al<=(360-bt0))
then Rn[j]:=StrToFloat(FormatFl
oat('0.000',B*cos((360-bt0)*pi/180)/
(sin((360-
al)*pi/180))));
if (al>(360-bt0)) and (al<=360)
then Rn[j]:=StrToFloat(FormatFlo
at('0.000',Sqrt(((w/10)-b)*((w/10)-b)+
b*b+2*((w/10)-b)*b*(cos((360-
al)*pi/180)))); Form2.StGr1.Cell
s[5,j+1]:=FloatToStr(Rn[j]); L1[j]
:=StrToFloat(FormatFloat('0.000',R
n[j]-r1));//+величина смещений по
Form2.StGr1.Cells[2,j+1]:
=FloatToStr(L1[j]);//+направлениям,
записывается в 3
//столбец таблицы 1, формы 2
путем преобразования строки в
вещественное
//число//РАССТОЯНИЕ ДО
ГРАНИЦЫ СЕКТОРА Rs:=StrT
oFloat(FormatFloat('0.000',(w/10)/
cos((bt)*(pi/180)))); Bs:=StrToFl
oat(FormatFloat('0.000',Rs*sin((bt)*(
pi/180))));
if al<=bt then Rc[j]:=StrTo
Float(FormatFloat('0.0',(w/10)/
cos((al)*(pi/180))+0.1));

```



```

    if (al>bt) and (al<90) then
Rc[j]:=StrToFloat(FormatFloat('0.0',
Bs/cos((90-al)*(pi/180))+0.1));
    if (al=90) then
    Rc[j]:=Bs;
    if (al>90) and (al<=al1) then Rc[j]
]:=StrToFloat(FormatFloat('0.000',Bs/
cos((al-90)*(pi/180))));
    if (al>al1) and (al<180) then Rc
[j]:=StrToFloat(FormatFloat('0.000',
(w/10)/cos((180-al1)*(pi/180))));
    if (al=180) then
Rc[j]:=StrToFloat(FormatFloat('0.000'
,(w/10)/cos((180-al1)*(pi/180))));
    if (al>180) and (al<=dal2) then
Rc[j]:=StrToFloat(FormatFloat('0.000'
,(w/10)/cos((al1-180)*(pi/180))));
    if (al>dal2) and (al<=270) then
Rc[j]:=StrToFloat(FormatFloat('0.000'
,(Bs)/cos((270-al)*(pi/180))));
    if (al=270) then
    Rc[j]:=Bs;
    if (al>270) and (al<=gm4) then
Rc[j]:=StrToFloat(FormatFloat('0.000'
,(Bs)/cos((al-270)*(pi/180))));
    if (al>gm4) and (al<360) then Rc
[j]:=StrToFloat(FormatFloat('0.000',
(w/10)/cos((360-al)*(pi/180))));
    if (al=360) then
    Rc[j]=(w/10); Form2.StGr1.
Cells[1,j+1]:=FloatToStr(Rc[j]); //
Определение радиусов каждого
//сектора заносится во 2-й
столбец таблицы 1, формы 2 путем
преобразования
//строки в вещественное число
//ОБЪЕМ СЕКТОРОВ
dV[j]:=StrToFloat(FormatFlo
at('0.000',((pi*1*1*(Rc[j]*Rc
[j]-r1*r1))/360));Form2.StGr1.
Cells[3,j+1]:=Float
ToStr(dV[j]);//замена //
СУММА ВСЕХ ВЫБРАННЫХ
НАПРАВЛЕНИЙSL:
:=StrToFloat(FormatFloat('0.000',SL+
L1[j]));

```

```

    al:=(al+dal);//сумма всех
выбранных направлений}
    Form2.StGr1.
Cells[8,j+1]:=FloatToStr(SL);
    Form2.StGr1.
Cells[8,0]:=FloatToStr(SL);
end;
El:=StrToFloat(FormatFloat('0.000',
Ep/SL));//энергия на метр смещения
границы
    Form2.StGr1.
Cells[7,0]:=FloatToStr(El);
    for j:=0 to i-1 do
    begin En[j]:=StrToFloat(FormatF
loat('0.',El*L1[j])); //Emk Form2.
StGr1.Cells[4,j+1]:=FloatToStr
(En[j]); //энергии по каждому
направлению
//заносится в 5-й столбец
таблицы 1, формы 2 путем
преобразования строки в
//вещественное число ESR1[j]
:=StrToFloat(FormatFloat('0.',En[j]/
(10*(Rc[j]-r1)))); Form2.StGr1.Cells[
6,j+1]:=FloatToStr(ESR1[j]);
end;
end;
procedure TForm1.
Button3Click(Sender: TObject);
var
j,k,i: integer;
al: array of real;
RRR: array of real;
R: array of real;
begin
    SetLength(al,361);
    SetLength(RRR,Form5.StringGrid1.
RowCount+1);
begin
    for j:=0 to 359 do
    for k:=0 to 109 do
    begin
        al[j]:=1*j; Rc1[j]:=StrToFloat(For
matFloat('#.',(Rc[j]*10))); RRR[k]:
:=StrToFloat(FormatFloat('0.0',1*k));
dV1[k]:=StrToFloat(FormatFloat('0.0

```

```

000000',(pi*dA1*L*((RRR[k]/10)*(R
RR[k]/10)
-((RRR[k]/10)-1/10))*((RRR
[k]/10)-1/10))/360));
if RRR[k]<=rr then PPE[k]:=0;
// Моя правка
if (RRR[k]>rr) and
(RRR[k]<=(Rc1[j])) then PPE[k]:=
StrToFloat(FormatFloat('0.',ESR1[j]/
dV1[k]));
// if RRR[k]<rr then // Моя
правка
//PPE[k]:=-(StrToFloat(Forma
tFloat('0.',ESR1[j]/dV1[k])); //Моя
правка
if (RRR[k]==(Rc1[j])) then
PPE[k]:=PPE[k];
if (RRR[k]>(Rc1[j])) then
PPE[k]:=0; Form5.StringGrid1.Ce
lls[0,k+1]:=FloatToStr(RRR[k]);//
занесение радиуса таб.2 Form5.
StringGrid1.Cells[j+1,k+1]:=FloatToS
tr(PPE[k]);//занесение плотности
//энергии табл. 2
end;
Form5.StringGrid1.
Cells[0,0]:='дм.\альфа';
Form5.Show;
end;
end;
//ОРГАНИЗАЦИЯ И ВЫВОД
ЧИСЛОВОЙ МАТРИЦЫ
//Матрица 9,
точнее, таблицы 9 по матрице 31 ?
procedure TForm1.
Button1Click(Sender:TObject);
//Выполнение процедуры, форма 1
// (меню) кнопка «Матрица»
var//Объявление типов констант и
переменных
w1,//высота для цикла матрицы
b1,//ширина матрицы для цикла
a1:integer;//угол альфа для цикла
выбора из таблицы
radius: real; // радиус
plot: real; //плотность энергии
берется из таблицы формы 5

```

```

i,x,y,m,radN:integer; //переменные
AA1,AA2,BB1,BB2: real;
s: string;
begin //инициирование матриц 1 и
2
B:=B*10;
// Формирование матрицы 31,
32 ( но не таблицы по матрице 9)
SetLength(m31,Round(b)+1); //
SetLength(m32,Round(b)+1);
for i:=0 to (Round(b)) do
begin
SetLength(m31[i],Round(w
+r0*200)+1);
SetLength(m32[i],Round(w
+r0*200)+1);
end;
//размеры матрицы
for y:=1 to (Round(w+r0*200)+1)
do
for x:=1 to (Round(B)) do
begin
if ((W)-y)>0 then
//УСЛОВИЯ
ЗАПОЛНЕНИЕ МАТРИЦЫ ОТ 0
ДО 180 ГР.
//ЗАПОЛНЕНИЕ
МАТРИЦЫ ОТ 0 ДО 90
begin
w1:=(w)-y;
b1:=x-1; a1:=Round((arctan(b1/
w1))*(180/pi));//определение угла
radius:=strtofloat(FormatFloat('0.',sqrt
((w1*w1)+(b1*b1))));//определение
// радиуса
with Form5.StringGrid1 do
begin
for radN:=1 to RowCount-1 do
if Cells[0,radN]=FloatToStr(radi
us) then
plot:=StrToFloat(Cells[a1+1,rad
N]);
end;
m31[x-1,y-1]:=plot;
Form3.SG1.
Cells[x,y]:=FloatToStr(plot);
Form4.Image1.Canvas.Pixels[x,y]:=

```

```
GetDjColor(Round(StrToFloat(form3.
SG1.Cells[x,y])));
end;
```

//ЗАПОНЕНИЕ

```
ПРИ 90
if ((W)-y)=0 then
begin
a1:=90;//определение угла
b1:=x-1;
radius:=strtofloat(FormatFloat('0.'
,b1)); // радиус
with Form5.StringGrid1 do
begin
for radN:=0 to RowCount-1 do
if Cells[0,radN]=FloatToStr(radi
us) then
plot:=StrToFloat(Cells[a1+1,rad
N]);
end;
m31[x-1,y-1]:=plot;
form3.SG1.
Cells[x,y]:=FloatToStr(plot);
Form4.Image1.Canvas.
Pixels[x,y]:= GetDjColor(Round(Str
ToFloat(form3.SG1.Cells[x,y])));
//преобразование в цвет
end;
```

//ЗАПОЛНЕНИЕ

```
БОЛЕЕ 90
if (((W)-y)<0)and ((x-1)>0) then
begin
w1:=y-(W);
b1:=x-1;
a1:=90+Round(arctan(w1/
b1)*(180/pi)); //определение угла
radius:=strtofloat(FormatFloat('0.',sqrt
((w1*w1)+(b1*b1)))); // радиус
with Form5.StringGrid1 do
begin
for radN:=0 to RowCount-1 do
if Cells[0,radN]=FloatToStr(radi
us) then
plot:=StrToFloat(Cells[a1+1,rad
N]);
end;
m31[x-1,y-1]:=plot;
```

```
form3.SG1.
Cells[x,y]:=FloatToStr(plot);
Form4.Image1.Canvas.
Pixels[x,y]:=
GetDjColor(Round(StrToFloat(for
m3.SG1.Cells[x,y])));
//преобразование в цвет
end;
```

//ЗАПОЛНЕНИЕ ПРИ

```
180
if (((W)-y)<0) and ((x-1)=0) then
begin
a1:=180;//определение угла
w1:=y-(W);
radius:=strtofloat(FormatFloat('0.'
,w1)); // радиус
with Form5.StringGrid1 do
begin
for radN:=0 to RowCount-1 do
if Cells[0,radN]=FloatToStr(radi
us) then
plot:=StrToFloat(Cells[a1+1,rad
N]);
end;
m31[x-1,y-1]:=plot;
form3.SG1.
Cells[x,y]:=FloatToStr(plot);
Form4.Image1.Canvas.
Pixels[x,y]:= GetDjColor(Round(Str
ToFloat(form3.SG1.Cells[x,y])));
end;
end;
```

//ФОРМИРОВАНИЕ
ОТРАЖЕННОЙ ПОЛОВИНЫ
МАТРИЦЫ

//

```
Матрица 10?
for x:=0 to (Round(B)) do //
размеры матрицы
for y:=0 to (Round(w+r0*200)) do
begin
m32[x,y]:=m31[(Round(B))-x,y];//
перенос данных из матрицы 1 в
матрицу 2
form7.SG1.Cells[x,y+1]:=FloatToStr(
m32[x,y]);
end;
```

```

form3.Show; //матрица
закомментировать при разкомментир
форм 7
end;
procedure TForm1.
Button7Click(Sender: TObject);
begin
form4.Show;
end;
procedure TForm1.
Button4Click(Sender: TObject); //
перевернутая матрица M2
var
x,y: integer;
begin
for x:=0 to Round(B)) do
for y:=0 to Round(w+r0*200)) do
begin form10.Image1.Canvas.Pixe
ls[x+1,y+1]:=GetDjColor(Round(m3
2[x,y]));
end;
form7.Show; form10.
Image1.Canvas.Pen.
Style:=psDot;form10.Image1.
Canvas.MoveTo(0,Round(W));
form10.Image1.Canvas.
LineTo(Round(RMS+2),Round(w));
end;
procedure TForm1.
Button6Click(Sender: TObject);
var
x,y: integer;
begin
for x:=1 to Round(B-rms))-1 do
for y:=1 to Round(w+r0*200)) do
begin form11.Image1.Canvas.Pixe
ls[x+1,y+1]:=GetDjColor(Round(m3
3[x,y]));
end;
form6.Show;
If RMS<=B then
end;
//ОРГАНИЗАЦИЯ И ВЫВОД
ИТОГОВОЙ МАТРИЦЫ Матрицы
11 ?

```

```

procedure TForm1.
Button5Click(Sender: TObject); //
кнопка итоговая матрица
// на форме 1 (меню)
var
AA1,AA2,v:real;
a,i,x,y,z: integer;
begin //инициирование 4 итоговой
матрицы
SetLength(m34,Round(B+RMS)+2);
for i:=0 to (Round(B+rms))+1 do
SetLength(m34[i],Round(w
+r0*200)+1);
a:=round(B-RMS)-1; //определение
вырезаемого участка (уголка)
if a>0 then
begin
SetLength(m33,round(B-rms));
for i:=0 to (round(B-rms)-1) do
SetLength(m33[i],Round(w
+r0*200)+1);
for x:=0 to (Round(B-rms))-1 do
for y:=0 to (Round(w+r0*200)) do
begin
m33[x,y]:=m31[(Round(rms))+x
,y]; form6.SG1.Cells[x+1,y+1]:=Flo
atToStr(m33[x,y]);
end;
for y:=0 to (Round(w+r0*200)) do
begin
for z:=0 to (Round(b)) do
m34[z,y]:=m31[z,y];
for z:=0 to (round(B-rms)) do
m34[z,y]:=m34[z,y]+m33[z,y];
for z:=0 to (Round(RMS)) do
m34[z,y]:=m34[z,y]+m32[z+a,y];
for z:=0 to (Round(b)) do m34[z+R
ound(RMS),y]:=m34[z+Round(RMS)
,y]+m31[z,y];
end;
end else
begin
a:=a*(-1);
for y:=0 to (Round(w+r0*200))+1
do
begin

```

```

for z:=0 to (Round(b)) do m34[z+1,y]
:=m34[z+1,y]+m31[z,y];//прямая 1
участок
for z:=a to (Round(RMS+1)) do
m34[z-1,y]:=m34[z-1,y]+m32[z-a,y];
// отраженная
for z:=0 to (Round(b)) do m34[z+Round(RMS+1),y]:=m34[z+Round(RMS+1),y]+m31[z,y];
//прямая 2 участок
end;
end;
for x:=0 to (Round(B+rms))+1 do
for y:=0 to (Round(w+r0*200)) do
begin form8.SG1.Cells[x,y+1]:=FloatToStr(m34[x,y]); form9.Image1.Canvas.Pixels[x+1,y+1]:=GetDjColor(Round(m34[x,y]));
end;
form8.Show; form9.Image1.Canvas.MoveTo(Round(RMS+2),0); form9.Image1.Canvas.LineTo(Round(RMS+2),Round(w+r0*200+1));
end;
procedure TForm1.
Button8Click(Sender: TObject);
begin
form9.Show;
end;
procedure TForm1.
Button9Click(Sender: TObject);
begin
form10.Show;
end;
procedure TForm1.
Button11Click(Sender: TObject);
begin
form11.Show;
end;
procedure TForm1.
Button2Click(Sender: TObject);
const B=70;
var x,y,alf,R: real;
i,j,k:integer;
s: string;
begin
for i:=0 to 90 do

```

```

for j:=0 to (W+1) do
begin
y:=1*i;
x:=1*j;
if x=0 then
alf:=0;
if (x>0) and (x<70) and (y<70) then
alf:=(Arctan(x/(w-y)))*(180/pi);
if (y=70) and (x>0) then
alf:=90;
if (y>70) and (x>0) then
alf:=90+(Arctan((y-w)/x))*(180/pi);
if (x<71) and (y<70) then
R:=Round(Sqrt(x*x+(w-y)*(w-y)));
if (y=70) then
R:=x;
if (y>70) then
R:=Sqrt(x*x+(y-w)*(y-w));
str(y:3:0,s); Form12.StringGrid1.Cells[0,i+1]:=s;
str(x:3:0,s); Form12.StringGrid1.Cells[j+1,0]:=s;
str(y:3:0,s); Form12.StringGrid2.Cells[0,i+1]:=s;
str(x:3:0,s); Form12.StringGrid2.Cells[j+1,0]:=s;
str(alf:3:0,s); Form12.StringGrid1.Cells[j+1,i+1]:=s;
str(R:3:0,s); Form12.StringGrid2.Cells[j+1,i+1]:=s;
form12.show;
end;
end;
procedure TForm1.
BitBtn3Click(Sender: TObject);//
Процедура, кнопка 3 выход из
//программы
begin
Close;//Заккрытие программы
end;
procedure TForm1.
FormClose(Sender: TObject; var
Action: TCloseAction);
begin
Rn:=nil; L1:=nil; Rc:=nil; dV:=nil;
En:=nil; dEn:=nil; Rv:=nil;
ESR1:=nil;

```

```

PPE:=nil; RRR:=nil; m31:=nil;
m32:=nil; m33:=nil; m34:=nil; //
Обнуление данных
end;
procedure TForm1.
Button10Click(Sender: TObject);
var
  AA1,AA2,v:real;
  a,i,j,x,y,z: integer;
begin
  SetLength(m40,Round(B+RMS)+2);
  for i:=0 to (Round(B+rms))+1 do
    SetLength(m40[i],Round(w
+r0*200)+1); Form133.StringGrid1.
ColCount:=Round((B+RMS)+1);
//2 Form133.StringGrid1.
RowCount:=Round(w+200*r0)+1; //2
  for i:=0 to Round((b+RMS)+1) do
    for j:=0 to Round(w+200*r0)+1 do
      begin

```

```

        if i=0 then Form133.StringGrid1.
Cells[0,j]:=Inttostr(j);
        if j=0 then Form133.StringGrid1.
Cells[i,0]:=Inttostr(i);
        Form133.StringGrid1.
Cells[0,0]:='ДМ.\ДМ.';
        end;
        for y:=0 to (Round(w+r0*200)) do
          begin
            for z:=0 to (Round(b)) do
              m40[z,y]:=m31[z,y];
            end;
            for x:=0 to (Round(B+rms))+1 do
              for y:=0 to (Round(w+r0*200)) do
                begin form133.StringGrid1.Cells[x
+1,y+1]:=FloatToStr(m40[x,y]);
              end;
            end;
          form133.show;
        end

```

Приложение 5

Компьютерная программа «Энергия-10»

Распределение по площадям плотности суммарной энергии
разрушения трех фаз процесса взрыва.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ
№2013613221, 2011, авторы: Казаков Н.Н., Шляпин А.В.

По компьютерной программе «Энергия-10» выполняется расчет суммарного распределения плотности энергии разрушения трех фаз процесса по площади в сечении, перпендикулярном скважинному заряду. Осуществляется сложение матриц всех трех фаз и выводится итоговая матрица.

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils,
Variants, Classes, Graphics, Controls,
Forms,

Dialogs, StdCtrls;

type

TMenue10 = class(TForm)

Button1: TButton;

Button2: TButton;

Button3: TButton;

Button4: TButton;

Button5: TButton;

Button6: TButton;

Button7: TButton;

Button8: TButton;

Edit1: TEdit;

Edit2: TEdit;

Edit3: TEdit;

StaticText1: TStaticText;

StaticText2: TStaticText;

StaticText3: TStaticText;

Button9: TButton;

Edit4: TEdit;

Edit5: TEdit;

Label1: TLabel;

Edit6: TEdit;

Label2: TLabel;

Edit7: TEdit;

Label4: TLabel;

Label5: TLabel;

Edit8: TEdit;

Edit9: TEdit;

Edit10: TEdit;

Edit11: TEdit;

Edit12: TEdit;

Label3: TLabel;

Label6: TLabel;

Label7: TLabel;

Label8: TLabel;

Label9: TLabel;

Label10: TLabel;

Edit13: TEdit;

Edit14: TEdit;

Label11: TLabel;

Label12: TLabel;

Button10: TButton;

Button11: TButton;

function GetDjColor(Dj:

integer):TColor;

procedure Button14Click(Sender:
TObject);

procedure Button2Click(Sender:
TObject);

procedure Button3Click(Sender:
TObject);

procedure Button4Click(Sender:
TObject);

procedure Button5Click(Sender:
TObject);

procedure Button6Click(Sender:
TObject);

procedure Button7Click(Sender:
TObject);

procedure Button8Click(Sender:
TObject);

```

procedure Button9Click(Sender:
TObject);
procedure Button11Click(Sender:
TObject);
procedure Button12Click(Sender:
TObject);
private
{ Private declarations }
public
{ Public declarations }
end;
var
Menue10: TMenue10;
m12: array of array of real;
m14: array of array of real;
a,i,x,y,z: integer;
implementation
//Используемые юниты
uses Unit1, Energy4, Mat12, Plan12,
Help, uEnergy, Unit13, Mat1, Unit15;
//Блок заполнения цветом
function TMenue10.GetDjColor(Dj:
integer):TColor; //оператор
заполнения цветом
begin //Массив конвертации
числовых значений плотности
энергии в цвета
case dj of
-10: result:=clBlack; //Цвет,
которым отображается скважина
-1: result:=clBlack; //Цвет, которым
отображается полость
0: result:=clWhite; //Цвет, которым
заполняется ячейка с нулевым
значением
1..226781: result:=ClGray;
//1..361410: result:=ClGray;
226782..422955: result:=ClYellow;
//361411..737460:
result:=ClYellow;
422956..1000000: result:=ClBlue;
//737461..1000000:
result:=ClBlue;
1000001..1200000:
result:=ClMaroon;
1200001..1500000: result:=ClNavy;
1500001..25000000: result:=ClRed;

end;
end;
{$R *.dfm}
//Вывод основного меню
программы Энергия-1
procedure TMenue10.
Button14Click(Sender: TObject);
begin
Menu1.Show;
end;
//Вывод основного меню
программы Энергия-2
procedure TMenue10.
Button7Click(Sender: TObject);
begin
fmEnergy.Show; //Временно, пока
не присоединена Энергия-2
end;
//Вывод основного меню
программы Энергия-3
procedure TMenue10.
Button2Click(Sender: TObject);
begin
form1.show;
end;
//Формирование итоговой матрицы
12
procedure TMenue10.
Button4Click(Sender: TObject);
var
i,x,y,j: integer;
begin //Инициирование матрицы
SetLength(m12,Round(b+RMS+1));
for i:=0 to (Round((b+RMS))) do
SetLength(m12[i],Round(w+200
*r0)+1);
//Блок занесения координатных
осей матрицы 3
Matr12.SG12.
ColCount:=Round((B+RMS)+1);
//2Matr12.SG12.
RowCount:=Round(w+200*r0)+1; //2
for i:=0 to Round((b+RMS)+1) do
for j:=0 to Round(w+200*r0)+1 do
begin
if i=0 then Matr12.SG12.
Cells[0,j]:=Inttostr(j-1);

```



```

if j=0 then Matr12.SG12.
Cells[i,0]:=Inttostr(i-1);
end;
//Размеры матрицы
for y:=0 to (Round(w+200*r0)) do
for x:=0 to (Round(b+RMS)) do
begin //Сложение
матриц
//for z:=0 to (Round((b+RMS)*10))
do
m12[x,y]:=m12[x,y]+m3[x,y];
//+ matr12 + matr3;
m12[x,y]:=m12[x,y]+matr[x,y];
m12[x,y]:=m12[x,y]+m34[x+1
,y]; //+ matr12 + matr34; Matr12.
SG12.Cells[x+1,y+1]:=FloatToStr
(m12[x,y]); //Занесение значений
в матрицу Plann12.Image12.
Canvas.Pixels[x+1,y+1]:=GetDjCo
lor(Round(m12[x,y])); Plann12.
Image12.Canvas.Pen.Style:=psSolid;
Plann12.Image12.Canvas.
MoveTo(0, Round(w+r0*200));
Plann12.Image12.Canvas.LineT
o(Round((B+RMS)+1), Round(w
+r0*200)); Plann12.Image12.
Canvas.Pen.Style:=psSolid;
Plann12.Image12.Canvas.
MoveTo(Round((B+RMS)+1), 0);
Plann12.Image12.Canvas.LineT
o(Round((B+RMS)+1), Round(w
+r0*200+1)); Plann12.Image12.
Canvas.LineTo(Round((B+RMS)+1)
, Round(w+1)); Plann12.Image12.
Canvas.MoveTo(Round(RMS+1), 0);
Plann12.Image12.Canvas.LineTo(Ro
und(RMS+1), Round(w+r0*200+1));
Plann12.Image12.Canvas.Pen.
Style:=psDot; Plann12.Image12.
Canvas.MoveTo(0, Round(w));
Plann12.Image12.Canvas.LineTo(Rou
nd((B+RMS)+1), Round(w));
Matr12.show;
end;
end;
//Вывод 12 планограммы итоговой

```

```

procedure TMenue10.
Button5Click(Sender: TObject);
begin
Plann12.show;
end;
//Вывод окна помощи
procedure TMenue10.
Button6Click(Sender: TObject);
begin
help1.show;
end;
//Определение критериев зон
регуляр. и нерегуляр. дробления
procedure TMenue10.
Button8Click(Sender: TObject);
var
Znr, Zr, Vz, Vtd, Vy1, Vy2: real;
x, y: integer;
begin //размеры матрицы
for x:=0 to Round((B+RMS)) do
for y:=0 to Round(w+200*r0) do
begin
Zr:=737460;
Znr:=361410;
//Zr:=m12[0,0]; //критерий зоны
регулируемого дробления
//Znr:=m12[90,0]; //критерий зоны
нерегулируемого дробления
Edit1.Text:=FloatToStr(Zr); //
занесение критерия в окно
Edit2.Text:=FloatToStr(Znr); //
занесение критерия в окно
Vtd:=(B+RMS)*w; //Объем
рассматриваемой части массива
Vtd:=Vtd/100;
Edit3.Text:=FloatToStr(Vtd);
Vy1:=RMS*W; //Объем участка 1
Vy1:=Vy1/100;
Edit5.Text:=FloatToStr(Vy1);
Vy2:=B*W; //Объем участка 2
Vy2:=Vy2/100;
Edit6.Text:=FloatToStr(Vy2);
end;
end;
procedure TMenue10.
Button9Click(Sender: TObject);
var

```

```

q11,q12,Vrd,Vnrd,Zr,Znr,Vrdpr,Vnrdpr,Vrd2,Vnrd2,Vtd,Vmv,Vo2,Vrd2pr,Vnrd2pr:real;
i,j,x,y:integer;
begin
  //Zr:=m12[0,0];
  //Znr:=m12[140,0];
  Vtd:=(RMS)*w;//Объем
  рассматриваемой части массива
  Vtd:=Vtd/100;
  Zr:=737460;
  Znr:=361410;
begin
  for x:=0 to Round(RMS-1) do
begin
  for y:=0 to Round(W-1) do
begin
  q11:=m12[x,y];
  if (q11>=Zr) then
  Vrd:=Vrd+1;
begin
  if (q11<=Zr) then
  Vnrd:=Vnrd+1;
  end;
end;
end;
begin
  for x:=RMS to Round(B+RMS-1)
do
begin
  for y:=0 to Round(W-1) do
begin
  q12:=m12[x,y];
  if (q12>=Zr) then
  Vrd2:=Vrd2+1;
begin
  if (q12<=Zr) and (q12>=Znr) then
  Vnrd2:=Vnrd2+1;
  if (q12<=Znr) then
  Vmv:=Vmv+1;
  end;
end;
end;
Vrd:=Vrd/100;
Vnrd:=Vnrd/100;
Edit4.Text:=FloatToStr(Vrd);

```

```

Edit7.Text:=FloatToStr(Vnrd); Vrd
pr:=StrToFloat(FormatFloat('0.',((V
rd*100)/Vtd)));
Edit8.Text:=FloatToStr(Vrdpr);
Vnrdpr:=StrToFloat(FormatFloat('0.',
((Vnrd*100)/Vtd)));
Edit9.Text:=FloatToStr(Vnrdpr);
Vo2:=Vrd2+Vnrd2;
Vo2:=Vo2/100;
Vrd2:=Vrd2/100;
Vnrd2:=Vnrd2/100;
Vmv:=Vmv/100;
Vrd2pr:=StrToFloat(FormatFloat('0.',(
(Vrd2*100)/Vo2))); //
Edit13.Text:=FloatToStr(Vrd2pr);
Vnrd2pr:=StrToFloat(FormatFloat('0.'
,((Vnrd2*100)/Vo2))); ////
Edit14.Text:=FloatToStr(Vnrd2pr);
Edit10.Text:=FloatToStr(Vrd2);
Edit11.Text:=FloatToStr(Vnrd2);
Edit12.Text:=FloatToStr(Vmv);
  end;
  end;
end;
//Выход из программы
procedure TMenue10.
Button3Click(Sender: TObject);
begin
  close;
  end;
procedure TMenue10.
Button11Click(Sender: TObject);
var
  i,x,y,j,z: integer;
begin //Инициирование матрицы
  SetLength(m14,Round(b+RMS+1));
  for i:=0 to (Round((b+RMS))) do
    SetLength(m14[i],Round(w+200
*r0)+1);
  //Блок занесения координатных
  осей матрицы 3 Form13.SG14.
  ColCount:=Round((B+RMS)+2);
  //2 Form13.SG14.
  RowCount:=Round(w+200*r0)+2; //2
  for i:=0 to Round((b+RMS)+1) do
    for j:=0 to Round(w+200*r0)+1 do
      begin

```

```

if i=0 then Form13.SG14.
Cells[0,j]:=Inttostr(j-1);
if j=0 then Form13.SG14.
Cells[i,0]:=Inttostr(i-1);
Form13.SG14.Cells[0,0]:='дм.\дм.';
end;
//Размеры матрицы
for y:=0 to (Round(w+200*r0)) do
for x:=0 to (Round(b+RMS)) do
//for y:=0 to (Round(w)) do
//for x:=0 to (Round(b)) do
begin //Сложение матриц
m14[x,y]:=m14[x,y]+m1[x,y];
m14[x,y]:=m14[x,y]+matr[x,y];
m14[x,y]:=m14[x,y]+m40[x,y];
Form13.SG14.Cells[x+1,y+1]:=F
loatToStr(m14[x,y]); //Занесение
значений в матрицу Form15.
Image1.Canvas.Pixels[x+1,y+1]:=Get
DjColor(Round(m14[x,y]));
Form15.Image1.Canvas.
Pen.Style:=psSolid;
Form15.Image1.Canvas.
MoveTo(0,Round(w+r0*200));
Form15.Image1.Canvas.LineTo(Roun
d((B+RMS)+1),Round(w+r0*200));
Form15.Image1.Canvas.
Pen.Style:=psSolid;
Form15.Image1.Canvas.

```

```

MoveTo(Round((B+RMS)+1),0);
Form15.Image1.Canvas.LineTo
(Round((B+RMS)+1),Round(w
+r0*200+1)); Form15.Image1.
Canvas.LineTo(Round((B+RMS)+
1),Round(w+1)); Form15.Image1.
Canvas.MoveTo(Round(RMS+1),0);
Form15.Image1.Canvas.LineTo(Roun
d(RMS+1),Round(w+r0*200+1));
Form15.Image1.Canvas.Pen.
Style:=psDot; Form15.Image1.
Canvas.MoveTo(0,Round(w)
Form15.Image1.Canvas.LineTo(Roun
d((B+RMS)+1),Round(w));
Form13.show;
end;
end;
procedure TMenue10.
Button12Click(Sender: TObject);
begin
form15.show;
end;
end.
procedure TMenue10.
Button10Click(Sender: TObject);
begin
close;
end;
end;

```

Компьютерная программа «Взрывдезинтеграция»

Распределение крупности рассчитанных кусков породы по площадям.

Расчет грансостава. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2011615598, 2011, авторы патента: Викторов С.Д., Казаков Н.Н., Шляпин А.В., Лапиков И.Н.

По компьютерной программе «Взрывдезинтеграция» по суммарному полю распределения плотности энергии разрушения выполняется расчет распределения по площади сечения кусков по крупности и ожидаемый грансостав отбитой горной массы.

```
unit MainFrame;
//«Взрывдезинтеграция»
//Вариант для W = 7м, a = 7м, b = 7м.
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils,
  Variants, Classes, Graphics, Controls,
  Forms,
  Dialogs, XPMan, StdCtrls, Menus,
  ComCtrls, Grids, ExtCtrls, OleCtrls,
  Math, Jpeg,
  ExtDlgs, OleCntrs, Comobj,
  CommDlg, PrnGridUnit;
//объявления имен используемых
модулей
type
  TOkno1 = class(TForm)
    XPManifest1: TXPManifest;
    MainMenu1: TMainMenu;
    File1: TMenuItem;
    A1: TMenuItem;
    N1: TMenuItem;
    N2: TMenuItem;
    N3: TMenuItem;
    N4: TMenuItem;
    N5: TMenuItem;
    N6: TMenuItem;
    PageControl1: TPageControl;
    TabSheet1: TTabSheet;
```

```
TabSheet2: TTabSheet;
N101: TMenuItem;
N7: TMenuItem;
StatusBar1: TStatusBar;
Memo1: TMemo;
TabSheet3: TTabSheet;
PageControl2: TPageControl;
TabSheet4: TTabSheet;
TabSheet6: TTabSheet;
TabSheet7: TTabSheet;
SGDES2: TStringGrid;
SGDES4: TStringGrid;
SGDES5: TStringGrid;
SGTABPTab_1: TPageControl;
TabSheet8: TTabSheet;
TabSheet9: TTabSheet;
TabSheet10: TTabSheet;
PageControl4: TPageControl;
TabSheet12: TTabSheet;
TabSheet13: TTabSheet;
TabSheet14: TTabSheet;
SGDES: TStringGrid;
SGDES1_1: TStringGrid;
SGDES1_2: TStringGrid;
PageControl5: TPageControl;
TabSheet15: TTabSheet;
TabSheet17: TTabSheet;
PageControl6: TPageControl;
TabSheet18: TTabSheet;
TabSheet20: TTabSheet;
TabSheet24: TTabSheet;
PageControl8: TPageControl;
TabSheet25: TTabSheet;
TabSheet26: TTabSheet;
N8: TMenuItem;
TabSheet28: TTabSheet;
SGTABPK: TStringGrid;
TabSheet29: TTabSheet;
```

SGTABPT: TStringGrid;
 TabSheet31: TTabSheet;
 SGTABPK_1: TStringGrid;
 TabSheet32: TTabSheet;
 SGTABPT_1: TStringGrid;
 PageControl3: TPageControl;
 TabSheet34: TTabSheet;
 TabSheet35: TTabSheet;
 TabSheet36: TTabSheet;
 SGTABALL_END: TStringGrid;
 SGTABALL_2: TStringGrid;
 SGTABALL_1: TStringGrid;
 Memo2: TMemo;
 ColorDialog1: TColorDialog;
 ColorDialog2: TColorDialog;
 ColorDialog3: TColorDialog;
 ColorDialog4: TColorDialog;
 ColorDialog5: TColorDialog;
 ColorDialog6: TColorDialog;
 ColorDialog7: TColorDialog;
 ColorDialog8: TColorDialog;
 ColorDialog9: TColorDialog;
 N9: TMenuItem;
 N10: TMenuItem;
 N11: TMenuItem;
 N12: TMenuItem;
 N31: TMenuItem;
 N41: TMenuItem;
 N51: TMenuItem;
 N61: TMenuItem;
 N71: TMenuItem;
 N81: TMenuItem;
 N91: TMenuItem;
 N13: TMenuItem;
 N14: TMenuItem;
 TabSheet37: TTabSheet;
 StringGrid1: TStringGrid;
 N15: TMenuItem;
 TabSheet38: TTabSheet;
 Image5: TImage;
 GroupBox1: TGroupBox;
 SGDES2_1: TStringGrid;
 GroupBox2: TGroupBox;
 SGDES2_1_1: TStringGrid;
 GroupBox3: TGroupBox;
 SGDES2_3: TStringGrid;
 GroupBox4: TGroupBox;

SGDES2_3_1: TStringGrid;
 GroupBox5: TGroupBox;
 GroupBox6: TGroupBox;
 SGDES3_1: TStringGrid;
 SGDES3_3: TStringGrid;
 GroupBox7: TGroupBox;
 SGDES3_1_1: TStringGrid;
 GroupBox8: TGroupBox;
 SGDES3_3_1: TStringGrid;
 PageControl7: TPageControl;
 TabSheet5: TTabSheet;
 TabSheet11: TTabSheet;
 PageControl9: TPageControl;
 TabSheet16: TTabSheet;
 TabSheet19: TTabSheet;
 GroupBox9: TGroupBox;
 Image2: TImage;
 GroupBox10: TGroupBox;
 Image4: TImage;
 GroupBox11: TGroupBox;
 Image6: TImage;
 GroupBox13: TGroupBox;
 Image7: TImage;
 GroupBox14: TGroupBox;
 Image3: TImage;
 GroupBox12: TGroupBox;
 Image8: TImage;
 GroupBox15: TGroupBox;
 Image9: TImage;
 GroupBox16: TGroupBox;
 Image10: TImage;
 Panel1: TPanel;
 Image1: TImage;
 N16: TMenuItem;
 N17: TMenuItem;
 N18: TMenuItem;
 SavePictureDialog1:
 TSavePictureDialog;
 OpenDialog1: TOpenDialog;
 SaveDialog1: TSaveDialog;
 PopupMenu1: TPopupMenu;
 G1: TMenuItem;
 N19: TMenuItem;
 N20: TMenuItem;
 procedure N6Click(Sender:
 TObject); //объявления имен
 процедур.

```

procedure FormShow(Sender:
TObject);
procedure N4Click(Sender:
TObject);
procedure N101Click(Sender:
TObject);
procedure N7Click(Sender:
TObject);
procedure
SGDESSelectCell(Sender: TObject;
ACol, ARow: Integer;
var CanSelect: Boolean);
procedure FormActivate(Sender:
TObject);
procedure N1Click(Sender:
TObject);
function GetDjColor(Dj: Integer):
TColor;
procedure
SGDESDrawCell(Sender: TObject;
ACol, ARow: Integer; Rect: TRect;
State: TGridDrawState);
procedure
SGDES1_1DrawCell(Sender:
TObject; ACol, ARow: Integer;
Rect: TRect; State:
TGridDrawState);
procedure
SGDES1_2DrawCell(Sender:
TObject; ACol, ARow: Integer;
Rect: TRect; State:
TGridDrawState);
procedure
SGDES2_3DrawCell(Sender:
TObject; ACol, ARow: Integer;
Rect: TRect; State:
TGridDrawState);
procedure
SGDES2_1DrawCell(Sender:
TObject; ACol, ARow: Integer;
Rect: TRect; State:
TGridDrawState);
procedure
SGDES2_1_1DrawCell(Sender:
TObject; ACol, ARow: Integer;
Rect: TRect; State:
TGridDrawState);

```

```

procedure
SGDES3_3DrawCell(Sender:
TObject; ACol, ARow: Integer;
Rect: TRect; State:
TGridDrawState);
procedure FormCreate(Sender:
TObject);
procedure
SGDES3_1DrawCell(Sender:
TObject; ACol, ARow: Integer;
Rect: TRect; State:
TGridDrawState);
procedure N8Click(Sender:
TObject);
procedure
ColorDialog1Close(Sender: TObject);
procedure
ColorDialog2Close(Sender: TObject);
procedure
ColorDialog3Close(Sender: TObject);
procedure
ColorDialog4Close(Sender: TObject);
procedure
ColorDialog5Close(Sender: TObject);
procedure
ColorDialog6Close(Sender: TObject);
procedure
ColorDialog7Close(Sender: TObject);
procedure
ColorDialog8Close(Sender: TObject);
procedure
ColorDialog9Close(Sender: TObject);
procedure N11Click(Sender:
TObject);
procedure N12Click(Sender:
TObject);
procedure N31Click(Sender:
TObject);
procedure N41Click(Sender:
TObject);
procedure N51Click(Sender:
TObject);
procedure N61Click(Sender:
TObject);
procedure N71Click(Sender:
TObject);

```

```

    procedure N81Click(Sender:
TObject);
    procedure N91Click(Sender:
TObject);
    procedure N14Click(Sender:
TObject);
    procedure N15Click(Sender:
TObject);
    procedure FormResize(Sender:
TObject);
    procedure
SGDES2_1SelectCell(Sender:
TObject; ACol, ARow: Integer;
    var CanSelect: Boolean);
    procedure
FormCloseQuery(Sender: TObject;
var CanClose: Boolean);
    procedure
SGDES2_3_1DrawCell(Sender:
TObject; ACol, ARow: Integer;
    Rect: TRect; State:
TGridDrawState);
    procedure
SGDES3_1_1DrawCell(Sender:
TObject; ACol, ARow: Integer;
    Rect: TRect; State:
TGridDrawState);
    procedure
SGDES3_3_1DrawCell(Sender:
TObject; ACol, ARow: Integer;
    Rect: TRect; State:
TGridDrawState);
    procedure
SGDES2_1_1SelectCell(Sender:
TObject; ACol, ARow: Integer;
    var CanSelect: Boolean);
    procedure
SGDES2_3SelectCell(Sender:
TObject; ACol, ARow: Integer;
    var CanSelect: Boolean);
    procedure
SGDES2_3_1SelectCell(Sender:
TObject; ACol, ARow: Integer;
    var CanSelect: Boolean);
    procedure
SGDES3_1SelectCell(Sender:
TObject; ACol, ARow: Integer;

```

```

    var CanSelect: Boolean);
    procedure
SGDES3_1_1SelectCell(Sender:
TObject; ACol, ARow: Integer;
    var CanSelect: Boolean);
    procedure
SGDES3_3SelectCell(Sender:
TObject; ACol, ARow: Integer;
    var CanSelect: Boolean);
    procedure
SGDES3_3_1SelectCell(Sender:
TObject; ACol, ARow: Integer;
    var CanSelect: Boolean);
    procedure N16Click(Sender:
TObject);
    procedure
SaveDialog1TypeChange(Sender:
TObject);
    procedure
SGTABALL_1MouseDown(Sender:
TObject; Button: TMouseButton;
    Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
    procedure G1Click(Sender:
TObject);
    procedure
SGTABALL_2MouseDown(Sender:
TObject; Button: TMouseButton;
    Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
    procedure SGTABALL_
ENDMouseDown(Sender: TObject;
Button: TMouseButton;
    Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
    procedure
StringGrid1MouseDown(Sender:
TObject; Button: TMouseButton;
    Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
    procedure
SGDES1_2MouseDown(Sender:
TObject; Button: TMouseButton;
    Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
    procedure
SGDES1_1MouseDown(Sender:
TObject; Button: TMouseButton;
    Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
    procedure
SGDESMouseDown(Sender: TObject;
Button: TMouseButton;

```

```

    Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
procedure
SGDES2_1MouseDown(Sender:
TObject; Button: TMouseButton;
    Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
procedure
SGDES2_1_1MouseDown(Sender:
TObject; Button: TMouseButton;
    Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
procedure
SGDES2_3MouseDown(Sender:
TObject; Button: TMouseButton;
    Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
procedure
SGDES2_3_1MouseDown(Sender:
TObject; Button: TMouseButton;
    Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
procedure
SGTABPKMouseDown(Sender:
TObject; Button: TMouseButton;
    Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
procedure
SGTABPK_1MouseDown(Sender:
TObject; Button: TMouseButton;
    Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
procedure
SGDES3_1MouseDown(Sender:
TObject; Button: TMouseButton;
    Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
procedure
SGDES3_1_1MouseDown(Sender:
TObject; Button: TMouseButton;
    Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
procedure
SGDES3_3MouseDown(Sender:
TObject; Button: TMouseButton;
    Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
procedure
SGDES3_3_1MouseDown(Sender:
TObject; Button: TMouseButton;
    Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
procedure
SGTABPTMouseDown(Sender:
TObject; Button: TMouseButton;
    Shift: TShiftState; X, Y: Integer);

```

```

procedure
SGTABPT_1MouseDown(Sender:
TObject; Button: TMouseButton;
    Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
private
    { Private declarations }
    procedure MouseWheel(Sender:
TObject; Shift: TShiftState;
    WheelDelta: Integer;
    MousePos: TPoint; var Handled:
Boolean);
    // обработка прокрутки колеса
вниз
    // procedure
    MouseWheelDown(Sender: TObject;
    Shift: TShiftState;
    //MousePos: TPoint; var
Handled: Boolean);
    // обработка прокрутки колеса
вверх
    // procedure
    MouseWheelUp(Sender: TObject;
    Shift: TShiftState;
    // MousePos: TPoint; var
Handled: Boolean);
public
    { Public declarations }
    PrnGrid: TStringGrid;
    MCursor: TPoint;
    Color1, Color2, Color3, Color4,
    Color5, Color6, Color7, Color8,
    Color9: integer
    end;
const //Начальные данные
St=1; //Площадь свободной
поверхности трещин в 1 куб. м.
породы
Vrasc=0.001; //объем одной ячейки
//es1=116666; //Энергия
образования единицы новой
поверхности
PEs1=534116; //Плотность энергии
в точке пересечения ЛНС 1-го
заряда
    //с обн. пов-тью

```



```

PEs2=266782; //Плотность энергии
в точке пересечения боковой пов-ти
полости //обн. пов-тью
del=0.1;
var //объявление типов
переменных
Okno1: TOkno1; //имя главного
окна
Matrx1: array of array of
real; //Матрица пр-мы
"Взрывдезинтеграция"
Matrx1_1: array of array of real;
Matrx1_2: array of array of real;
Matrx2_1: array of array of real;
Matrx2_3: array of array of real;
Matrx3_1: array of array of real;
Matrx3_3: array of array of real;
Matrx2_1_1: array of array of real;
Matrx2_3_1: array of array of real;
Matrx3_1_1: array of array of real;
Matrx3_3_1: array of array of real;
m11: array of array of real; //
Матрица 1 - левая половина между
зарядами
m22: array of array of real; //
Матрица 2 - между зарядами
m33: array of array of real; //
Матрица 3 - за крайним зарядом
sigL: real;
di: real;
li: real;
es1: real;
duk: real;
dik: real;
nm21: PAnsiChar;
filext: string;
Color1, Color2, Color3, Color4,
Color5, Color6, Color7, Color8,
Color9: integer;
nm0, nr0, nm2, n24, n46, n68, n810,
n1012, n1214, n1416, nb16: integer;
nm0_1, nr0_1, nm2_1, n24_1,
n46_1, n68_1, n810_1, n1012_1,
n1214_1, n1416_1, nb16_1: integer;
nm0_2, nr0_2, nm2_2, n24_2,
n46_2, n68_2, n810_2, n1012_2,
n1214_2, n1416_2, nb16_2: integer;

```

```

nm0_3, nr0_3, nm2_3, n24_3,
n46_3, n68_3, n810_3, n1012_3,
n1214_3, n1416_3, nb16_3: integer;
nm0_4, nr0_4, nm2_4, n24_4,
n46_4, n68_4, n810_4, n1012_4,
n1214_4, n1416_4, nb16_4: integer;
nm0_5, nr0_5, nm2_5, n24_5,
n46_5, n68_5, n810_5, n1012_5,
n1214_5, n1416_5, nb16_5: integer;
v1m2, v124, v146, v168, v1810,
v11012, v11214, v11416: real;
v2m2, v224, v246, v268, v2810,
v21012, v21214, v21416: real;
v3m2, v324, v346, v368, v3810,
v31012, v31214, v31416: real;
v4m2, v424, v446, v468, v4810,
v41012, v41214, v41416: real;
v5m2, v524, v546, v568, v5810,
v51012, v51214, v51416: real;
v6m2, v624, v646, v668, v6810,
v61012, v61214, v61416: real;
v7m2, v724, v746, v768, v7810,
v71012, v71214, v71416: real;
v8m2, v824, v846, v868, v8810,
v81012, v81214, v81416: real;
v9m2, v924, v946, v968, v9810,
v91012, v91214, v91416: real;
p1m2, p124, p146, p168, p1810,
p11012, p11214, p11416: real;
p2m2, p224, p246, p268, p2810,
p21012, p21214, p21416: real;
p3m2, p324, p346, p368, p3810,
p31012, p31214, p31416: real;
p4m2, p424, p446, p468, p4810,
p41012, p41214, p41416: real;
p5m2, p524, p546, p568, p5810,
p51012, p51214, p51416: real;
p6m2, p624, p646, p668, p6810,
p61012, p61214, p61416: real;
p7m2, p724, p746, p768, p7810,
p71012, p71214, p71416: real;
p8m2, p824, p846, p868, p8810,
p81012, p81214, p81416: real;
p9m2, p924, p946, p968, p9810,
p91012, p91214, p91416: real;
vall1, vall2, vall3, vall4, vall5, vall6,
vall7, vall8, vall9:

```

```
implementation
uses Unit1, Energy4, Mat12,
Plan12, uEnergy, Menu10, Unit2,
Unit130, Result; //объявления имен
//используемых модулей
{$R *.dfm}
procedure TOkno1.G1Click(Sender:
TObject);
var
lbCaption: TLabel;
begin
ColMemo:= Memo2;
PrintGrid(PrnGrid, PrnGrid.Selection,
lbCaption);
end;
function Tokno1.GetDjColor(Dj:
Integer):TColor; //оператор
заполнения цветом
begin //Массив конвертации
числовых значений плотности
энергии в цветах
case Dj of
-10: result:=clBlack; //Цвет,
которым отображается скважина
-1: result:=clBlack; //Цвет, которым
отображается полость
0: result:=clWhite; //Цвет, которым
заполняется ячейка с нулевым
значением
1..19: result:=Color1;
20..39: result:=Color2;
40..59: result:=Color3;
60..79: result:=Color4;
80..99: result:=Color5;
100..119: result:=Color6;
120..139: result:=Color7;
140..159: result:=Color8;
160..10000: result:=Color9;
end;
end;
procedure TOkno1.
FormCloseQuery(Sender: TObject;
var CanClose: Boolean);
begin
CanClose:=(Application.
MessageBox(PCHAR('Вы
действительно хотите
```

```
выйти?'),pchar(Application.
Title),MB_YESNO)=ID_YES);
end;
procedure TOkno1.
FormCreate(Sender: TObject);
begin
// Назначаем обработчики для
событий:
// движение колеса мыши
Okno1.
OnMouseWheel:=MouseWheel;
// прокрутка колеса вниз
//Okno1.OnMouseWheelDown:=Mou
seWheelDown;
// прокрутка колеса вверх
//Okno1.
OnMouseWheelUp:=MouseWheelUp;
end;
procedure TOkno1.
FormResize(Sender: TObject);
begin
GroupBox1.
Width:=Round(TabSheet15.Width/2);
GroupBox3.
Width:=Round(TabSheet15.Width/2);
GroupBox5.
Width:=Round(TabSheet15.Width/2);
GroupBox6.
Width:=Round(TabSheet15.Width/2);
GroupBox9.
Width:=Round(TabSheet15.Width/2);
GroupBox10.
Width:=Round(TabSheet15.Width/2);
GroupBox11.
Width:=Round(TabSheet15.Width/2);
GroupBox12.
Width:=Round(TabSheet15.Width/2);
GroupBox13.
Width:=Round(TabSheet15.Width/2);
GroupBox14.
Width:=Round(TabSheet15.Width/2);
GroupBox15.
Width:=Round(TabSheet15.Width/2);
GroupBox16.
Width:=Round(TabSheet15.Width/2);
end;
```

```

function RefToCell(RowID, ColID:
Integer): string;
var
  ACount, APos: Integer;
begin
  ACount := ColID div 26;
  APos := ColID mod 26;
  if APos = 0 then
    begin
      ACount := ACount - 1;
      APos := 26;
    end;
  if ACount = 0 then
    Result := Chr(Ord('A') + ColID -
1) + IntToStr(RowID);
  if ACount = 1 then
    Result := 'A' + Chr(Ord('A') +
APos - 1) + IntToStr(RowID);
  if ACount > 1 then
    Result := Chr(Ord('A') + ACount
- 1) + Chr(Ord('A') + APos - 1) +
IntToStr(RowID);
end;
// StringGrid Inhalt in Excel
exportieren
// Export StringGrid contents to Excel
function
StringGridToExcelSheet(Grid:
TStringGrid; SheetName, FileName:
string;
  ShowExcel: Boolean): Boolean;
const
  xlWBATWorksheet = -4167;
var
  SheetCount, SheetColCount,
SheetRowCount, BookCount: Integer;
  XLApp, Sheet, Data: OLEVariant;
  I, J, N, M, jif, jis: Integer;
  SaveFileName: string;
  DataColor: integer;
  begin
    //notwendige Sheetanzahl feststellen
    SheetCount := (Grid.ColCount div
256) + 1;
    if Grid.ColCount mod 256 = 0 then
      SheetCount := SheetCount - 1;
    //notwendige Bookanzahl feststellen

```

```

    BookCount := (Grid.RowCount div
65536) + 1;
    if Grid.RowCount mod 65536 = 0
then
      BookCount := BookCount - 1;
    //Create Excel-OLE Object
    Result := False;
    XLApp := CreateOleObject('Excel.
Application');
    try
      //Excelsheet anzeigen
      if ShowExcel = False then
        XLApp.Visible := False
      else
        XLApp.Visible := True;
      //Workbook hinzufügen
      for M := 1 to BookCount do
        begin
          XLApp.Workbooks.
Add(xlWBATWorksheet);
          //Sheets anlegen
          for N := 1 to SheetCount - 1 do
            begin
              XLApp.Worksheets.Add;
            end;
          end;
          //Sheet ColAnzahl feststellen
          if Grid.ColCount <= 256 then
            SheetColCount := Grid.ColCount
          else
            SheetColCount := 256;
          //Sheet RowAnzahl feststellen
          if Grid.RowCount <= 65536 then
            SheetRowCount := Grid.
RowCount
          else
            SheetRowCount := 65536;
          //Sheets befüllen
          for M := 1 to BookCount do
            begin
              for N := 1 to SheetCount do
                begin
                  //Daten aus Grid holen
                  Data := VarArrayCreate([1,
Grid.RowCount, 1, SheetColCount],
varVariant);
                  for I := 0 to SheetColCount - 1
do

```

```

        for J := 0 to SheetRowCount -
1 do
    if ((I + 256 * (N - 1)) <= Grid.
ColCount) and
        ((J + 65536 * (M - 1)) <=
Grid.RowCount) then
        Data[J + 1, I + 1] := Grid.
Cells[I + 256 * (N - 1), J + 65536 *
(M - 1)];
        // ColorData[J + 1, I + 1] :=
Grid.Canvas.Pixels[I + (N - 1), J +
(M - 1)];
        //XLAApp.Worksheets[N].
Select; XLAApp.Workbooks[M].
Worksheets[N].Name := SheetName +
IntToStr(N);
        //Zellen als String Formatieren
XLAApp.Workbooks[M].
Worksheets[N].Range[RefToCell(1,
1),
        RefToCell(SheetRowCount,
SheetColCount)].Select;
        XLAApp.Selection.
NumberFormat := '@'; XLAApp.
Workbooks[M].Worksheets[N].
Range['A1'].Select;
        //Daten dem Excelsheet
ubergeben
        Sheet := XLAApp.Workbooks[M].
WorkSheets[N];
        for jif := 0 to grid.ColCount-2 do
        for jis := 0 to grid.RowCount-2
do
            begin
                case Round(strtfloat(grid.
Cells[jif+1, jis+1])*1000) of
                    -10:
DataColor:=clBlack;
                    -1: DataColor:=clBlack;
                    0: DataColor:=clWhite;
                    1..199:
DataColor:=Color1;
                    200..399:
DataColor:=Color2;
                    400..599:
DataColor:=Color3;
                    600..799:
DataColor:=Color4;
                    800..999:
DataColor:=Color5;
                    1000..1199:
DataColor:=Color6;
                    1200..1399:
DataColor:=Color7;
                    1400..1599:
DataColor:=Color8;
                    1600..10000:
DataColor:=Color9;
                    end;
                    Sheet.cells[jis+2, jif+2].
Interior.Color :=DataColor;
                    end;
                    Sheet.Range[RefToCell(1,
1), RefToCell(SheetRowCount,
SheetColCount)].Value := Data;
                    end;
                end;
                //Save Excel Worksheet
try
                for M := 1 to BookCount do
                begin
                    SaveFileName :=
Copy(FileName, 1,Pos('.', FileName)
- 1) +
                    Copy(FileName, Pos('.',
FileName),
                    Length(FileName)
- Pos('.', FileName) +
1); XLAApp.Workbooks[M].
SaveAs(SaveFileName);
                    end;
                    Result := True;
                except
                    // Error ?
                end;
                finally
                    //Excel Beenden
                    if (not VarIsEmpty(XLAApp)) and
(ShowExcel = False) then
                    begin
                        XLAApp.DisplayAlerts := False;
                        XLAApp.Quit;
                        XLAPP := Unassigned;

```

```

    Sheet := Unassigned;
end;
end;
end;
procedure SGridToHtml(SG:
TStringgrid; Dest: TMemo;
BorderSize: Integer);
Label
qr, vr;
var
    i, p, DataColor: integer;
    SStyle1, SStyle2, Text: string;
begin
    Dest.Clear;
    Dest.Lines.Add('<html>');
    Dest.Lines.Add('<body>');
    Dest.Lines.Add(' <table border=''' +
IntToStr(BorderSize) + ''' width=''' +
IntToStr(SG.Width) + ''' height='''
+ IntToStr(SG.Width) + '''>');
    for i := 0 to SG.RowCount-1 do
        begin
            Dest.Lines.Add(' <tr>');
            for p := 0 to SG.ColCount-1 do
                begin
                    SStyle1 := '';
                    SStyle2 := '';
                    if fsbold in SG.Font.Style then
                        begin
                            SStyle1 := SStyle1 + '<b>';
                            SStyle2 := SStyle2 + '</b>';
                        end;
                    if fsitalic in SG.Font.Style then
                        begin
                            SStyle1 := SStyle1 + '<i>';
                            SStyle2 := SStyle2 + '</i>';
                        end;
                    if fsunderline in SG.Font.Style
then
                        begin
                            SStyle1 := SStyle1 + '<u>';
                            SStyle2 := SStyle2 + '</u>';
                        end;
                    Text := sg.Cells[p, i];
                    if Text = '' then Text := ' ';
                    if Text = 'дм/дм' then goto vr;

```

```

                case Round(strtfloat(SG.
Cells[p, i])*1000) of
                    -100..-1:
                        DataColor:=clBlack;
                        0: DataColor:=clWhite;
                        1..199:
                            DataColor:=Color1;
                        200..399:
                            DataColor:=Color2;
                        400..599:
                            DataColor:=Color3;
                        600..799:
                            DataColor:=Color4;
                        800..999:
                            DataColor:=Color5;
                        1000..1199:
                            DataColor:=Color6;
                        1200..1399:
                            DataColor:=Color7;
                        1400..1599:
                            DataColor:=Color8;
                        1600..10000:
                            DataColor:=Color9;
                        end;
                    vr:
                        Dest.Lines.Add(' <td width='''
+ IntToStr(sg.ColWidths[p]) +
''' height=''' + IntToStr(sg.
RowHeights[p]) +
''' bgcolor='''+IntToStr(DataColo
r) + '''><font color='''# + IntToHex(sg.
Font.Color, 6) +
''' face=''' + SG.Font.Name + '''>'
+ SStyle1 +
Text + SStyle2 + '</font></td>');
                        end;
                    end;
                Dest.Lines.Add(' </table>');
                Dest.Lines.Add('</body>');
                Dest.Lines.Add('</html>');
            end;
        end;
    procedure TOkno1.
    FormShow(Sender: TObject); //
процедура загрузки значений
//итоговой матрицы пр-мы
//''Энергия-10'' из файла array.
base

```

```

//(если он имеется в папке с
программой)
var
{col: integer;
row: integer;}
i,x,y,j: integer;
begin
if fileexists('color.base')
then
begin
memo2.Lines.LoadFromFile('color.
base');
Color1:=Strtoint(Memo2.Lines.
Strings[0]);
Colordialog1.Color:=Color1;
Color2:=Strtoint(Memo2.Lines.
Strings[1]);
Colordialog2.Color:=Color2;
Color3:=Strtoint(Memo2.Lines.
Strings[2]);
Colordialog3.Color:=Color3;
Color4:=Strtoint(Memo2.Lines.
Strings[3]);
Colordialog4.Color:=Color4;
Color5:=Strtoint(Memo2.Lines.
Strings[4]);
Colordialog5.Color:=Color5;
Color6:=Strtoint(Memo2.Lines.
Strings[5]);
Colordialog6.Color:=Color6;
Color7:=Strtoint(Memo2.Lines.
Strings[6]);
Colordialog7.Color:=Color7;
Color8:=Strtoint(Memo2.Lines.
Strings[7]);
Colordialog8.Color:=Color8;
Color9:=Strtoint(Memo2.Lines.
Strings[8]);
Colordialog9.Color:=Color9;
end
else
begin
colordialog1.Execute();
Color1:=Colordialog1.Color;
Memo2.Lines.Add(Inttostr(Color1));
colordialog2.Execute();
Color2:=Colordialog2.Color;

```

```

Memo2.Lines.Add(Inttostr(Color2));
colordialog3.Execute();
Color3:=Colordialog3.Color;
Memo2.Lines.Add(Inttostr(Color3));
colordialog4.Execute();
Color4:=Colordialog4.Color;
Memo2.Lines.Add(Inttostr(Color4));
colordialog5.Execute();
Color5:=Colordialog5.Color;
Memo2.Lines.Add(Inttostr(Color5));
colordialog6.Execute();
Color6:=Colordialog6.Color;
Memo2.Lines.Add(Inttostr(Color6));
colordialog7.Execute();
Color7:=Colordialog7.Color;
Memo2.Lines.Add(Inttostr(Color7));
colordialog8.Execute();
Color8:=Colordialog8.Color;
Memo2.Lines.Add(Inttostr(Color8));
colordialog9.Execute();
Color9:=Colordialog9.Color;
Memo2.Lines.Add(Inttostr(Color9));
end;
if fileexists('array.base')
then
begin
Memo1.Lines.LoadFromFile('array.
base'); //загрузка значений итоговой
матрицы
//пр-мы "Энергия-10" из файла
array.
base
b:=Strtfloat(memo1.Lines.
Strings[0]);
RMS:= Strtoint(memo1.Lines.
Strings[1]);
Okno1.SGDES2.
ColCount:=Round(b+RMS)+1;
Okno1.SGDES2.
RowCount:=Round(w)+2;
Okno1.SGDES4.
ColCount:=Round(RMS)+1;
Okno1.SGDES4.
RowCount:=Round(w)+2;
Okno1.SGDES5.
ColCount:=Round(b)+1;

```

```

Okno1.SGDES5.
RowCount:=Round(w)+2;
SetLength(m12,Round(b+RMS+1));
SetLength(m11,Round(RMS/2+1));
SetLength(m22,Round(RMS+1));
SetLength(m33,Round(b+1));
  for i:=0 to (Round((b+RMS))) do
    SetLength(m12[i],Round(w+200
*r0)+1);
  for i:=0 to (Round((RMS/2))) do
    SetLength(m11[i],Round(w)+1);
  for i:=0 to (Round((RMS))) do
    SetLength(m22[i],Round(w)+1);
  for i:=0 to (Round((b))) do
    SetLength(m33[i],Round(w)+1);
  for i:=0 to Round((b+RMS)+1) do
  for j:=0 to Round(w+200*r0)+1 do
  begin
    if i=0 then SGDES2.
Cells[0,j]:=Inttostr(j-1);
    if j=0 then SGDES2.
Cells[i,0]:=Inttostr(i-1);
    if i=0 then SGDES4.
Cells[0,j]:=Inttostr(j-1);
    if j=0 then SGDES4.
Cells[i,0]:=Inttostr(i-1);
    if i=0 then SGDES5.
Cells[0,j]:=Inttostr(j-1);
    if j=0 then SGDES5.
Cells[i,0]:=Inttostr(70+i-1);
  end;
  SGDES2.Cells[0,0]:='дм/дм';
  SGDES4.Cells[0,0]:='дм/дм';
  SGDES5.Cells[0,0]:='дм/дм';
  for y:=0 to (Round(w+200*r0)) do
  for x:=0 to (Round(b+RMS)) do
  begin
m12[x,y]:=Strtofloat(memo1.
Lines.Strings[2+(141*y+1*x)]);
SGDES2.Cells[x+1,y+1]:=
floattostr(m12[x,y]); //
m11[x,y]:=Strtofloat(memo1.Lines.
Strings[2+(36*y+1*x)]);
// m22[x,y]:=m12[35+x,y];
// m33[x,y]:=m12[70+x,y];
end;
  for y:=0 to (Round(w)) do
    for x:=0 to (Round(RMS)) do
      begin
        m22[x,y]:=m12[x,y];//
Strtofloat(memo1.Lines.
Strings[2+(141*y+1*x)]);
SGDES4.Cells[x+1,y+1]:=floattostr(
m22[x,y]);
      end;
    for y:=0 to (Round(w)) do
      for x:=0 to (Round(b)) do
        begin
          m33[x,y]:=m12[70+x,y];//
Strtofloat(memo1.Lines.
Strings[2+(141*y+1*x)]);
SGDES5.Cells[x+1,y+1]:=floattostr(
m33[x,y]);
        end;
      end;
    {for col:=1 to SGDES.ColCount
do
  SGDES.Cells[0+col,0]:=
  inttostr(0+col);
  for row:=1 to SGDES.rowCount
do
    SGDES.Cells[0,0+row]:=
    inttostr(0+row); }
  end;
procedure TOkno1.
MouseWheel(Sender: TObject; Shift:
TShiftState; WheelDelta: Integer;
MousePos: TPoint; var Handled:
Boolean);
begin
  //WheelDelta:=5;
  // Процедура реакции на движение
  колеса мыши Image2.Picture.Bitmap.
Height:=Image2.Picture.Bitmap.
Height+Round(WheelDelta/25);
Image2.Picture.Bitmap.
Width:=Image2.Picture.Bitmap.
Width+Round(WheelDelta/25);
Image3.Picture.Bitmap.
Height:=Image3.Picture.Bitmap.
Height+Round(WheelDelta/25);
Image3.Picture.Bitmap.
Width:=Image3.Picture.Bitmap.
Width+Round(WheelDelta/25);
Image4.Picture.Bitmap.
Height:=Image4.Picture.Bitmap.

```

```

Height+Round(WheelDelta/25);
Image4.Picture.Bitmap.
Width:=Image4.Picture.Bitmap.
Width+Round(WheelDelta/25);
//ShowMessage('Обнаружено
движение колеса мыши...');
end;
procedure TOkno1.N41Click(Sender:
TObject);
begin
Colordialog4.Execute();
end;
procedure TOkno1.N4Click(Sender:
TObject); //процедура построения
планограммы
begin
//image1.Canvas.MoveTo(50,50);
//image1.Canvas.LineTo(60,100);
end;
procedure TOkno1.N51Click(Sender:
TObject);
begin
Colordialog5.Execute();
end;
procedure TOkno1.
N101Click(Sender: TObject); //
Процедура отображения окна //пр-
мы "Энергия-10"
Menue10.show;
end;
procedure TOkno1.N11Click(Sender:
TObject);
begin
Colordialog1.Execute();
end;
procedure TOkno1.N12Click(Sender:
TObject);
begin
Colordialog2.Execute();
end;
procedure TOkno1.N14Click(Sender:
TObject);
begin
SGDES1_1.Canvas.Refresh;
SGDES1_2.Canvas.Refresh;
SGDES2_1.Canvas.Refresh;
SGDES.Invalidate;
SGDES1_1.Invalidate;
SGDES1_2.Invalidate;
SGDES2_1.Invalidate;
SGDES1_1.Canvas.Refresh;
SGDES1_2.Canvas.Refresh;
SGDES2_1.Canvas.Refresh;
SGDES2_3.Canvas.Refresh;
SGDES3_1.Canvas.Refresh;
SGDES3_3.Canvas.Refresh;
end;
procedure TOkno1.N15Click(Sender:
TObject);
var
x,y: integer;
begin
for y:=0 to Round((w)/10) do
  for x:=0 to Round((b+RMS)/10)
  do
    begin
      Stringgrid1.
      RowCount:=Round(w/10)+2;
      Stringgrid1.
      ColCount:=Round((b+RMS)/10)+1;
      StringGrid1.
      Cells[1+x,0]:=floattostr(x*10);
      StringGrid1.
      Cells[0,1+y]:=floattostr(y*10);
      if Matrx1[10*x,10*y]<=1.4 then
        StringGrid1.Cells[1+x,1+y]:=Format('
        %7.3f',[Matrx1[10*x,10*y]])
      else StringGrid1.Cells[1+x,1+y]:='0';
      Image5.Canvas.Brush.Color:=Ge
      tDjColor(Round(Matrx1[10*x,10
      *y]*100));
      image5.Canvas.FillRect(Bounds(50*x
      +1,30*y+1,50,30));
    end;
  end;
end;
procedure TOkno1.N16Click(Sender:
TObject);
begin
if SaveDialog1.Execute()
then
begin
case savedialog1.FilterIndex of
1:begin

```



```

//SaveDialog1.DefaultExt:='xlsx';
//ChangeFileext(Savedialog1.
FileName,'xlsx')
StringGridToExcelSheet(SGDES,
'Экспортированная таблица',
Savedialog1.FileName, false)
end;
2:begin
//SaveDialog1.DefaultExt:='html'//
ChangeFileext(Savedialog1.
FileName,'html');
SGridToHtml(SGDES, Memo1, 1);
Memo1.Lines.
SaveToFile(Savedialog1.FileName);
end;
end;
end;
end;
procedure TOkno1.N71Click(Sender:
TObject);
begin
Colordialog7.Execute();
end;
procedure TOkno1.N7Click(Sender:
TObject); //основная процедура
расчета
label
at1, at2, qp, wp, rt;
var
i, j, x, y: integer;
begin
rt:
StatusBar1.Panels.Items[0].
Text:='Считаем...';
Form130.ShowModal;
if form130.Edit1.text='0' then begin
Application.MessageBoX(PChar('А
что вы собрались
взрывать?'),PChar('?????'), MB_OK);
goto rt;
end;
Screen.Cursor:=crHourGlass;
if not fileexists('array.base') then
begin
memo1.Lines.Add(Floattostr(b));
memo1.Lines.Add(Floattostr(RMS));
end; Okno1.SGDES.
ColCount:=Round(b+RMS)+1;//
количество столбцов
матрицы Okno1.SGDES.
RowCount:=Round(w)+2;//
количество строк матрицы
Okno1.SGDES1_1.
ColCount:=Round(b+RMS)+1;//
количество столбцов
матрицы Okno1.SGDES1_1.
RowCount:=Round(w)+2;
Okno1.SGDES1_2.
ColCount:=Round(b+RMS)+1;//
количество столбцов матрицы
Okno1.SGDES1_2.
RowCount:=Round(w)+2;
Okno1.SGDES2_1.
ColCount:=Round(RMS)+1;//
количество столбцов
матрицы Okno1.SGDES2_1.
RowCount:=Round(w)+2; Okno1.
SGDES2_3.ColCount:=Round(b)+1;//
количество столбцов
матрицы Okno1.SGDES2_3.
RowCount:=Round(w)+2;
Okno1.SGDES3_1.
ColCount:=Round(RMS)+1;//
количество столбцов
матрицы Okno1.SGDES3_1.
RowCount:=Round(w)+2; Okno1.
SGDES3_3.ColCount:=Round(b)+1;//
количество столбцов
матрицы Okno1.SGDES3_3.
RowCount:=Round(w)+2;
Okno1.SGDES2_1_1.
ColCount:=Round(RMS)+1;//
количество столбцов
матрицы Okno1.SGDES2_1_1.
RowCount:=Round(w)+2;
Okno1.SGDES2_3_1.
ColCount:=Round(b)+1;//
количество столбцов
матрицы Okno1.SGDES2_3_1.
RowCount:=Round(w)+2;
Okno1.SGDES3_1_1.
ColCount:=Round(RMS)+1;//
количество столбцов

```

```

матрицы Okno1.SGDES3_1_1.
RowCount:=Round(w)+2;
Okno1.SGDES3_3_1.
ColCount:=Round(b)+1;//
количество столбцов
матрицы Okno1.SGDES3_3_1.
RowCount:=Round(w)+2;
//for xe1:=0 to 4 do
//for ye1:=0 to 9 do
//begin
//es1+((m12[xe1,
ye1])*0.001*20)/4.4 Значение
величины
//end; количества энергии
для образования ед-цы новой
поверхности
SetLength(Matr1, Round(b+R
MS+1));
SetLength(Matr1_1, Round(b+R
MS+1));
SetLength(Matr1_2, Round(b+R
MS+1));
SetLength(Matr2_1, Round(R
MS+1));
SetLength(Matr2_3, Round(b+1));
SetLength(Matr3_1, Round(R
MS+1));
SetLength(Matr3_3, Round(b+1));
SetLength(Matr2_1_1, Round(R
MS+1));
SetLength(Matr2_3_1, Round(b+1));
SetLength(Matr3_1_1, Round(R
MS+1));
SetLength(Matr3_3_1, Round(b+1));
for i:=0 to (Round((b+RMS))) do
SetLength(Matr1[i], Round(w+200
*r0)+1);
for i:=0 to (Round((b+RMS))) do
SetLength(Matr1_1[i], Round(w+20
0*r0)+1)
for i:=0 to (Round((b+RMS))) do
SetLength(Matr1_2[i], Round(w+20
0*r0)+1)
for i:=0 to (Round((RMS))) do
SetLength(Matr2_1[i], Round(w+20
0*r0)+1)

```

```

for i:=0 to (Round((b))) do Set
Length(Matr2_3[i], Round(w+200
*r0)+1)
for i:=0 to (Round((RMS))) do
SetLength(Matr3_1[i], Round(w+20
0*r0)+1)
for i:=0 to (Round((b))) do
SetLength(Matr3_3[i], Round(w+20
0*r0)+1)
for i:=0 to (Round((RMS))) do
SetLength(Matr2_1_1[i], Round(w+2
00*r0)+1);
for i:=0 to (Round((b))) do
SetLength(Matr2_3_1[i], Round(w+2
00*r0)+1);
for i:=0 to (Round((RMS))) do
SetLength(Matr3_1_1[i], Round(w+2
00*r0)+1);
for i:=0 to (Round((b))) do SetL
ength(Matr3_3_1[i], Round(w+200
*r0)+1);
for i:=0 to Round((b+RMS)+1) do
for j:=0 to Round(w+200*r0)+1 do
begin
if i=0 then SGDES.
Cells[0,j]:=Inttostr(j-1);
if j=0 then SGDES.
Cells[i,0]:=Inttostr(i-1);
if i=0 then SGDES1_1.
Cells[0,j]:=Inttostr(j-1);
if j=0 then SGDES1_1.
Cells[i,0]:=Inttostr(i-1);
if i=0 then SGDES1_2.
Cells[0,j]:=Inttostr(j-1);
if j=0 then SGDES1_2.
Cells[i,0]:=Inttostr(i-1);
if i=0 then SGDES2_1.
Cells[0,j]:=Inttostr(j-1);
if j=0 then SGDES2_1.
Cells[i,0]:=Inttostr(i-1);
if i=0 then SGDES2_3.
Cells[0,j]:=Inttostr(j-1);
if j=0 then SGDES2_3.
Cells[i,0]:=Inttostr(70+i-1);
if i=0 then SGDES3_1.
Cells[0,j]:=Inttostr(j-1);

```

```

    if j=0 then SGDES3_1.
Cells[i,0]:=Inttostr(i-1);
    if i=0 then SGDES3_3.
Cells[0,j]:=Inttostr(j-1);
    if j=0 then SGDES3_3.
Cells[i,0]:=Inttostr(70+i-1);
    if i=0 then SGDES2_1_1.
Cells[0,j]:=Inttostr(j-1);
    if j=0 then SGDES2_1_1.
Cells[i,0]:=Inttostr(i-1);
    if i=0 then SGDES2_3_1.
Cells[0,j]:=Inttostr(j-1);
    if j=0 then SGDES2_3_1.
Cells[i,0]:=Inttostr(70+i-1);
    if i=0 then SGDES3_1_1.
Cells[0,j]:=Inttostr(j-1);
    if j=0 then SGDES3_1_1.
Cells[i,0]:=Inttostr(i-1);
    if i=0 then SGDES3_3_1.
Cells[0,j]:=Inttostr(j-1);
    if j=0 then SGDES3_3_1.
Cells[i,0]:=Inttostr(70+i-1);
end;
    li:=0.1;
    duk:=3*0.25;
    es1:=(PEs1*duk)/21.5;
    for y:=0 to Round(w+200*r0) do
    for x:=0 to Round(b+RMS) do
begin
at1:
//repeat begin
di:=li*sqrt((21.5*power(li,2)*es1)/
((m12[x,y])*power(li,3)+St*power(li
,3)*es1));
    if di<=li then
begin
        li:=0.1;
        goto at2;
end
    else
begin
        li:=li+del;
        goto at1;
    end ;
//end
// until di<=li;
at2:

```

```

Matrx1[x,y]:=di;
Matrx1_1[x,y]:=Matrx1[x,y]*0.5;
Matrx1_2[x,y]:=Matrx1[x,y]*0.2;
if m12[x,y]>=PEs2 then SGDES.Cell
s[x+1,y+1]:=Format('%7.3f',[Matrx1
[x,y]])
else SGDES.Cells[x+1,y+1]:='0';
if m12[x,y]>=PEs2 then SGDES1_1.
Cells[x+1,y+1]:=Format('%7.3f',[Mat
rx1_1[x,y]])
else SGDES1_1.Cells[x+1,y+1]:='0';
if m12[x,y]>=PEs2 then SGDES1_2.
Cells[x+1,y+1]:=Format('%7.3f',[Mat
rx1_2[x,y]])
else SGDES1_2.Cells[x+1,y+1]:='0';
if not fileexists('array.base') then
StatusBar1.Panels.Items[1].
Text:='Сохранение данных...';
memo1.Lines.
Add(Floattostr(m12[x,y])); //
сохранение матрицы пр-мы
«Энергия-10»
end;
for y:=0 to Round(w) do
for x:=0 to Round(RMS) do
begin
Matrx2_1[x,y]:=Matrx1[x,y];
Matrx2_1_1[x,y]:=power((0.147*pow
er(Matrx2_1[x,y],3))/12,1/3);
if m12[x,y]>=PEs2 then SGDES2_1.
Cells[x+1,y+1]:=Format('%7.3f',[Mat
rx2_1[x,y]])
else SGDES2_1.Cells[x+1,y+1]:='0';
if m12[x,y]>=PEs2 then
SGDES2_1_1.Cells[x+1,y+1]:=Form
at('%7.3f',[Matrx2_1_1[x,y]])
else SGDES2_1_1.
Cells[x+1,y+1]:='0';
end;
for y:=0 to Round(w) do
for x:=0 to Round(b) do
begin
Matrx2_3[x,y]:=Matrx1[70+x,y];
Matrx2_3_1[x,y]:=power((0.147*pow
er(Matrx2_3[x,y],3))/12,1/3);

```

```

if m12[70+x,y]>=PEs2 then
SGDES2_3.Cells[x+1,y+1]:=Format(
'%7.3f',[Matrx2_3[x,y]])
else SGDES2_3.Cells[x+1,y+1]:='0';
if m12[70+x,y]>=PEs2 then
SGDES2_3_1.Cells[x+1,y+1]:=Form
at('%7.3f',[Matrx2_3_1[x,y]])
else SGDES2_3_1.
Cells[x+1,y+1]:='0';
end;
for y:=0 to Round(w) do
for x:=0 to Round(RMS) do
begin
Matrx3_1[x,y]:=Matrx1_1[x,y];
Matrx3_1_1[x,y]:=0.5*Matrx2_1_1[
x,y];
if m12[x,y]>=PEs2 then SGDES3_1.
Cells[x+1,y+1]:=Format('%7.3f',[Mat
rx3_1[x,y]])
else SGDES3_1.Cells[x+1,y+1]:='0';
if m12[x,y]>=PEs2 then
SGDES3_1_1.Cells[x+1,y+1]:=Form
at('%7.3f',[Matrx3_1_1[x,y]])
else SGDES3_1_1.
Cells[x+1,y+1]:='0';
end;
for y:=0 to Round(w) do
for x:=0 to Round(b) do
begin
Matrx3_3[x,y]:=Matrx1_1[70+x,y];
Matrx3_3_1[x,y]:=Matrx2_3_1[x,y];
if m12[70+x,y]>=PEs2 then
SGDES3_3.Cells[x+1,y+1]:=Format(
'%7.3f',[Matrx3_3[x,y]])
else SGDES3_3.Cells[x+1,y+1]:='0';
if m12[70+x,y]>=PEs2 then
SGDES3_3_1.Cells[x+1,y+1]:=Form
at('%7.3f',[Matrx3_3_1[x,y]])
else SGDES3_3_1.
Cells[x+1,y+1]:='0';
end;
SGDES.Cells[0,0]:='дм/дм';
SGDES1_1.Cells[0,0]:='дм/дм';
SGDES1_2.Cells[0,0]:='дм/дм';
Image1.Canvas.Brush.Color:=Color1;
image1.Canvas.FillRect(Bounds(Rou
nd((b+RMS)-30),20,20,10));

```

```

Image1.Canvas.Brush.Color:=Color2;
image1.Canvas.FillRect(Bounds(Rou
nd((b+RMS)+70),20,20,10));
Image1.Canvas.Brush.Color:=Color3;
image1.Canvas.FillRect(Bounds(Rou
nd((b+RMS)+170),20,20,10));
Image1.Canvas.Brush.Color:=Color4;
image1.Canvas.FillRect(Bounds(Rou
nd((b+RMS)+270),20,20,10));
Image1.Canvas.Brush.Color:=Color5;
image1.Canvas.FillRect(Bounds(Rou
nd((b+RMS)+370),20,20,10));
Image1.Canvas.Brush.Color:=Color6;
image1.Canvas.FillRect(Bounds(Rou
nd((b+RMS)-30),50,20,10));
Image1.Canvas.Brush.Color:=Color7;
image1.Canvas.FillRect(Bounds(Rou
nd((b+RMS)+70),50,20,10));
Image1.Canvas.Brush.Color:=Color8;
image1.Canvas.FillRect(Bounds(Rou
nd((b+RMS)+170),50,20,10));
Image1.Canvas.Brush.Color:=Color9;
image1.Canvas.FillRect(Bounds(Rou
nd((b+RMS)+270),50,20,10));
image1.Canvas.
TextOut(Round(b+RMS),20,'менее
200');
image1.Canvas.TextOut(Round(b+R
MS)+100,20,'200-400');
image1.Canvas.TextOut(Round(b+R
MS)+200,20,'400-600');
image1.Canvas.TextOut(Round(b+R
MS)+300,20,'600-800');
image1.Canvas.TextOut(Round(b+R
MS)+400,20,'800-1000');
image1.Canvas.TextOut(Round(b+R
MS),50,'1000-1200');
image1.Canvas.TextOut(Round(b+R
MS)+100,50,'1200-1400');
image1.Canvas.TextOut(Round(b+R
MS)+200,50,'1400-1600');
image1.Canvas.
TextOut(Round(b+RMS)+300,50,
'Более 1600');
for y:=0 to Round(w) do
for x:=0 to Round(b) do
begin

```

```

//ПК между зарядами yp1
Image4.Canvas.Brush.Color:=GetDjC
olor(Round(Matr2_1_1[x,y]*100));
image4.Canvas.FillRect(Bounds(5*x+
1,3*y+1,5,3));
//ПК между зарядами yp2
Image2.Canvas.Brush.Color:=GetDjC
olor(Round(Matr2_1_1[x,y]*100));
image2.Canvas.FillRect(Bounds(5*x+
1,3*y+1,5,3));
//ПК за крайним yp1
Image6.Canvas.Brush.Color:=GetDjC
olor(Round(Matr2_3_1[x,y]*100));
image6.Canvas.FillRect(Bounds(5*x+
1,3*y+1,5,3));
//ПК за крайним yp2
Image8.Canvas.Brush.Color:=GetDjC
olor(Round(Matr2_3_1[x,y]*100));
image8.Canvas.FillRect(Bounds(5*x+
1,3*y+1,5,3));
//ПТ между зарядами yp1
Image7.Canvas.Brush.Color:=GetDjC
olor(Round(Matr3_1_1[x,y]*100));
image7.Canvas.FillRect(Bounds(5*x+
1,3*y+1,5,3));
//ПТ между зарядами yp2
Image9.Canvas.Brush.Color:=GetDjC
olor(Round(Matr3_1_1[x,y]*100));
image9.Canvas.FillRect(Bounds(5*x+
1,3*y+1,5,3));
//ПТ за крайним yp1
Image3.Canvas.Brush.Color:=GetDjC
olor(Round(Matr3_3_1[x,y]*100));
image3.Canvas.FillRect(Bounds(5*x+
1,3*y+1,5,3));
//ПТ за крайним yp2
Image10.Canvas.Brush.Color:=GetDj
Color(Round(Matr3_3_1[x,y]*100));
image10.Canvas.FillRect(Bounds(5*x
+1,3*y+1,5,3));
end;
if not fileexists('array.base') then
begin
memo1.Lines.SaveToFile('array.
base');
StatusBar1.Panels.Items[1].
Text:='Завершено
end;
if not fileexists('color.base') then
begin
Memo2.Lines.SaveToFile('color.
base');
end;
StatusBar1.Panels.Items[0].
Text:='OK!';
Screen.Cursor:=crDefault;
end;
procedure TOkno1.
SaveDialog1.TypeChange(Sender:
TObject);
begin
case savedialog1.FilterIndex of
1:begin
Savedialog1.DefaultExt:='xlsx';
fileext:=Savedialog1.DefaultExt;
end;
2:begin
Savedialog1.DefaultExt:='html';
fileext:=Savedialog1.DefaultExt;
end;
end;
end;
procedure TOkno1.
SGDES1_1DrawCell(Sender:
TObject; ACol, ARow: Integer;
Rect: TRect; State:
TGridDrawState);
label
bs, bt;
begin
if SGDES1_1.Cells[ACol, ARow]='
then goto bs
Else goto bt;
bt:
WITH SGDES1_1 DO
Begin
IF ACol>0 Then
if Arow>0 then
Case Strtoint(Floattostr(Strto
float(SGDES1_1.Cells[ACol,
ARow])*1000)) OF
1..199:begin
Canvas.Brush.Color := Color1;
Canvas.FillRect( Rect );

```

```

    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
200..399:begin
    Canvas.Brush.Color := Color2;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
400..599:begin
    Canvas.Brush.Color := Color3;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
600..799:begin
    Canvas.Brush.Color := Color4;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
800..999:begin
    Canvas.Brush.Color := Color5;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
1000..1199:begin
    Canvas.Brush.Color := Color6;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
1200..1399:begin
    Canvas.Brush.Color := Color7;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
1400..1599:begin
    Canvas.Brush.Color := Color8;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
1600..1000000:begin
    Canvas.Brush.Color := Color9;

```

```

    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
End;
End;
bs:
end;
procedure TOkno1.
SGDESDrawCell(Sender: TObject;
ACol, ARow: Integer;
Rect: TRect; State:
TGridDrawState);
label
bs, bt;
begin
if SGDES.Cells[ACol, ARow]=" then
goto bs
Else goto bt;
bt:
WITH SGDES DO
Begin
IF ACol>0 Then
if Arow>0 then
Case Strtoint(Floattostr(Strtfloat(S
GDES.Cells[ACol, ARow])*1000))
OF
1..199:begin
    Canvas.Brush.Color := Color1;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
200..399:begin
    Canvas.Brush.Color := Color2;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
400..599:begin
    Canvas.Brush.Color := Color3;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
600..799:begin
    Canvas.Brush.Color := Color4;

```

```

    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
800..999:begin
    Canvas.Brush.Color := Color5;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
1000..1199:begin
    Canvas.Brush.Color := Color6;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
1200..1399:begin
    Canvas.Brush.Color := Color7;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
1400..1599:begin
    Canvas.Brush.Color := Color8;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
1600..1000000:begin
    Canvas.Brush.Color := Color9;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
End;
End;
bs:
end;
procedure TOkno1.
SGDESelectCell(Sender: TObject;
ACol, ARow: Integer;
var CanSelect: Boolean);
var
    strng: string;
begin
    strng:=SGDES.Cells[ACol,ARow];

```

```

StatusBar1.Panels.Items[0].
Text:=floattostr(es1);
end;
procedure TOkno1.
SGTABALL_1MouseDown(Sender:
TObject; Button: TMouseButton;
    Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
Var
    MCursor: TPoint;
begin
    if button=mbRight
    then
    begin
        PrnGrid:=SGTABALL_1;
        Prngrid.PopupMenu:=PopupMenu1;
        Getcursorpos(MCursor);
        Prngrid.PopupMenu.
        Popup(Mcursor.X,Mcursor.Y);
    end;
end;
procedure TOkno1.
SGTABALL_2MouseDown(Sender:
TObject; Button: TMouseButton;
    Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
Var
    MCursor: TPoint;
begin
    if button=mbRight
    then
    begin
        Prngrid:=SGTABALL_2;
        Prngrid.PopupMenu:=PopupMenu1;
        Getcursorpos(MCursor);
        Prngrid.PopupMenu.
        Popup(Mcursor.X,Mcursor.Y);
    end;
end;
procedure TOkno1.SGTABALL_
ENDMouseDown(Sender: TObject;
Button: TMouseButton;
    Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
Var
    MCursor: TPoint;
begin
    if button=mbRight
    then
    begin

```

```

Prngrid:=SGTABALL_END;
Prngrid.PopupMenu:=PopupMenu1;
Getcursorpos(MCursor);
Prngrid.PopupMenu.
Popup(Mcursor.X,Mcursor.Y);
end;
end;
procedure TOkno1.
SGTABPKMouseDown(Sender:
TObject; Button: TMouseButton;
Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
Var
MCursor: TPoint;
begin
if button=mbRight
then
begin
Prngrid:=SGTABPK;
Prngrid.PopupMenu:=PopupMenu1;
Getcursorpos(MCursor);
Prngrid.PopupMenu.
Popup(Mcursor.X,Mcursor.Y);
end;
end;
procedure TOkno1.
SGTABPK_1MouseDown(Sender:
TObject; Button: TMouseButton;
Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
Var
MCursor: TPoint;
begin
if button=mbRight
then
begin
Prngrid:=SGTABPK_1;
Prngrid.PopupMenu:=PopupMenu1;
Getcursorpos(MCursor);
Prngrid.PopupMenu.
Popup(Mcursor.X,Mcursor.Y);
end;
end;
procedure TOkno1.
SGTABPTMouseDown(Sender:
TObject; Button: TMouseButton;
Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
Var
MCursor: TPoint;

```

```

begin
if button=mbRight
then
begin
Prngrid:=SGTABPT;
Prngrid.PopupMenu:=PopupMenu1;
Getcursorpos(MCursor);
Prngrid.PopupMenu.
Popup(Mcursor.X,Mcursor.Y);
end;
end;
procedure TOkno1.
SGTABPT_1MouseDown(Sender:
TObject; Button: TMouseButton;
Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
Var
MCursor: TPoint;
begin
if button=mbRight
then
begin
Prngrid:=SGTABPT_1;
Prngrid.PopupMenu:=PopupMenu1;
Getcursorpos(MCursor);
Prngrid.PopupMenu.
Popup(Mcursor.X,Mcursor.Y);
end;
end;
procedure TOkno1.
StringGrid1MouseDown(Sender:
TObject; Button: TMouseButton;
Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
Var
MCursor: TPoint;
begin
if button=mbRight
then
begin
Prngrid:=StringGrid1;
Prngrid.PopupMenu:=PopupMenu1;
Getcursorpos(MCursor);
Prngrid.PopupMenu.
Popup(Mcursor.X,Mcursor.Y);
end;
end;
procedure TOkno1.
ColorDialog1Close(Sender: TObject);

```



```

begin
Color1:=colordialog1.Color;
SGDES.Canvas.Refresh;
SGDES1_1.Canvas.Refresh;
SGDES1_2.Canvas.Refresh;
SGDES2_1.Canvas.Refresh;
SGDES2_3.Canvas.Refresh;
SGDES3_1.Canvas.Refresh;
SGDES3_3.Canvas.Refresh;
end;
procedure TOKno1.
ColorDialog2Close(Sender: TObject);
begin
Color2:=colordialog2.Color;
SGDES.Canvas.Refresh;
SGDES1_1.Canvas.Refresh;
SGDES1_2.Canvas.Refresh;
SGDES2_1.Canvas.Refresh;
SGDES2_3.Canvas.Refresh;
SGDES3_1.Canvas.Refresh;
SGDES3_3.Canvas.Refresh;
end;
procedure TOKno1.
ColorDialog3Close(Sender: TObject);
begin
Color3:=colordialog3.Color;
SGDES.Canvas.Refresh;
SGDES1_1.Canvas.Refresh;
SGDES1_2.Canvas.Refresh;
SGDES2_1.Canvas.Refresh;
SGDES2_3.Canvas.Refresh;
SGDES3_1.Canvas.Refresh;
SGDES3_3.Canvas.Refresh;
end;
procedure TOKno1.
ColorDialog4Close(Sender: TObject);
begin
Color4:=colordialog4.Color;
SGDES.Canvas.Refresh;
SGDES1_1.Canvas.Refresh;
SGDES1_2.Canvas.Refresh;
SGDES2_1.Canvas.Refresh;
SGDES2_3.Canvas.Refresh;
SGDES3_1.Canvas.Refresh;
SGDES3_3.Canvas.Refresh;
end;

```

```

procedure TOKno1.
ColorDialog5Close(Sender: TObject);
begin
Color5:=colordialog5.Color;
SGDES.Canvas.Refresh;
SGDES1_1.Canvas.Refresh;
SGDES1_2.Canvas.Refresh;
SGDES2_1.Canvas.Refresh;
SGDES2_3.Canvas.Refresh;
SGDES3_1.Canvas.Refresh;
SGDES3_3.Canvas.Refresh;
end;
procedure TOKno1.
ColorDialog6Close(Sender: TObject);
begin
Color6:=colordialog6.Color;
SGDES.Canvas.Refresh;
SGDES1_1.Canvas.Refresh;
SGDES1_2.Canvas.Refresh;
SGDES2_1.Canvas.Refresh;
SGDES2_3.Canvas.Refresh;
SGDES3_1.Canvas.Refresh;
SGDES3_3.Canvas.Refresh;
end;
procedure TOKno1.
ColorDialog7Close(Sender: TObject);
begin
Color7:=colordialog7.Color;
SGDES.Canvas.Refresh;
SGDES1_1.Canvas.Refresh;
SGDES1_2.Canvas.Refresh;
SGDES2_1.Canvas.Refresh;
SGDES2_3.Canvas.Refresh;
SGDES3_1.Canvas.Refresh;
SGDES3_3.Canvas.Refresh;
end;
procedure TOKno1.
ColorDialog8Close(Sender: TObject);
begin
Color8:=colordialog8.Color;
SGDES.Canvas.Refresh;
SGDES1_1.Canvas.Refresh;
SGDES1_2.Canvas.Refresh;
SGDES2_1.Canvas.Refresh;
SGDES2_3.Canvas.Refresh;
SGDES3_1.Canvas.Refresh;
SGDES3_3.Canvas.Refresh;
end;

```

```

end;
procedure TOkno1.
ColorDialog9Close(Sender: TObject);
begin
Color9:=colordialog9.Color;
SGDES.Canvas.Refresh;
SGDES1_1.Canvas.Refresh;
SGDES1_2.Canvas.Refresh;
SGDES2_1.Canvas.Refresh;
SGDES2_3.Canvas.Refresh;
SGDES3_1.Canvas.Refresh;
SGDES3_3.Canvas.Refresh;
end;
procedure TOkno1.
FormActivate(Sender: TObject); //
Процедура проверки при
// активации
программы наличия файла со
значениями
//итоговой матрицы пр-
мы «Энергия-10»
begin
if not fileexists('array.base') then begin
menue10.Show;
okno1.N101.Enabled:=true;
aboutbox.Label2.font.Color:=clRed;
aboutbox.Label2.
Caption:='Отсутствует';
StatusBar1.Panels.Items[0].
Text:='Данные матрицы
отсутствуют';
end
else begin
okno1.N101.Enabled:=false;
aboutbox.Label2.
Caption:='Загружен';
aboutbox.Label2.font.Color:=clGreen;
StatusBar1.Panels.Items[0].
Text:='Данные матрицы загружены';
end
end;
procedure TOkno1.N1Click(Sender:
TObject);
begin
Aboutbox.ShowModal;
end;

```

```

procedure TOkno1.N31Click(Sender:
TObject);
begin
Colordialog3.Execute();
end;

procedure TOkno1.N61Click(Sender:
TObject);
begin
Colordialog6.Execute();
end;
procedure TOkno1.N6Click(Sender:
TObject); // процедура закрытия
программы
//кнопкой "Выход" главного меню
begin
Unit1.Menu1.Destroy;
uenergy.fmEnergy.Destroy;
energy4.Form1.Destroy;
Menu10.Menue10.Destroy;
Application.Terminate;
end;
procedure TOkno1.
SGDES1_2DrawCell(Sender:
TObject; ACol, ARow: Integer;
Rect: TRect; State:
TGridDrawState);
label
bs, bt;
begin
if SGDES1_2.Cells[ACol, ARow]="
then goto bs
Else goto bt;
bt:
WITH SGDES1_2 DO
Begin
IF ACol>0 Then
if Arow>0 then
Case Strtoint(Floattostr(Strto
float(SGDES1_2.Cells[ACol,
ARow])*1000)) OF
1..199:begin
Canvas.Brush.Color := Color1;
Canvas.FillRect( Rect );
Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;

```

```

200..399:begin
    Canvas.Brush.Color := Color2;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
400..599:begin
    Canvas.Brush.Color := Color3;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
600..799:begin
    Canvas.Brush.Color := Color4;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
800..999:begin
    Canvas.Brush.Color := Color5;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
1000..1199:begin
    Canvas.Brush.Color := Color6;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
1200..1399:begin
    Canvas.Brush.Color := Color7;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
1400..1599:begin
    Canvas.Brush.Color := Color8;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
1600..1000000:begin
    Canvas.Brush.Color := Color9;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
end;
End;
End;
bs:
end;
procedure TOkno1.
SGDES2_1DrawCell(Sender:
TObject; ACol, ARow: Integer;
    Rect: TRect; State:
TGridDrawState);
label
bs, bt;
begin
if SGDES2_1.Cells[ACol, ARow]="
then goto bs
Else goto bt;
    bt:
WITH SGDES2_1 DO
    Begin
        IF ACol>0 Then
            if Arow>0 then
                Case Strtoint(Floattostr(Strto
float(SGDES2_1.Cells[ACol,
ARow])*1000)) OF
                    1..199:begin
                        Canvas.Brush.Color := Color1;
                        Canvas.FillRect( Rect );
                        Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
                    end;
                    200..399:begin
                        Canvas.Brush.Color := Color2;
                        Canvas.FillRect( Rect );
                        Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
                    end;
                    400..599:begin
                        Canvas.Brush.Color := Color3;
                        Canvas.FillRect( Rect );
                        Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
                    end;
                    600..799:begin
                        Canvas.Brush.Color := Color4;
                        Canvas.FillRect( Rect );
                        Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
                    end;

```

```

end;
800..999:begin
  Canvas.Brush.Color := Color5;
  Canvas.FillRect( Rect );
  Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
1000..1199:begin
  Canvas.Brush.Color := Color6;
  Canvas.FillRect( Rect );
  Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
1200..1399:begin
  Canvas.Brush.Color := Color7;
  Canvas.FillRect( Rect );
  Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
1400..1599:begin
  Canvas.Brush.Color := Color8;
  Canvas.FillRect( Rect );
  Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
1600..1000000:begin
  Canvas.Brush.Color := Color9;
  Canvas.FillRect( Rect );
  Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
End;
End;
bs:
end;
procedure TOKno1.
SGDES2_1_1DrawCell(Sender:
TObject; ACol, ARow: Integer;
  Rect: TRect; State:
TGridDrawState);
label
bs, bt;
begin
if SGDES2_1_1.Cells[ACol,
ARow]=" then goto bs
Else goto bt;
bt:

```

```

WITH SGDES2_1_1 DO
Begin
  IF ACol>0 Then
  if Arow>0 then
    Case Strtoint(Floattostr(Strtof
loat(SGDES2_1_1.Cells[ACol,
ARow])*1000)) OF
  1..199:begin
    Canvas.Brush.Color := Color1;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
  end;
  200..399:begin
    Canvas.Brush.Color := Color2;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
  end;
  400..599:begin
    Canvas.Brush.Color := Color3;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
  end;
  600..799:begin
    Canvas.Brush.Color := Color4;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
  end;
  800..999:begin
    Canvas.Brush.Color := Color5;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
  end;
  1000..1199:begin
    Canvas.Brush.Color := Color6;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
  end;
  1200..1399:begin
    Canvas.Brush.Color := Color7;
    Canvas.FillRect( Rect );

```

```

    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
1400..1599:begin
    Canvas.Brush.Color := Color8;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
1600..1000000:begin
    Canvas.Brush.Color := Color9;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
End;
bs:
end;
procedure TOKno1.
SGDES2_3DrawCell(Sender:
TObject; ACol, ARow: Integer;
    Rect: TRect; State:
TGridDrawState);
label
bs, bt;
begin
if SGDES2_3.Cells[ACol, ARow]="
then goto bs
Else goto bt;
bt:
WITH SGDES2_3 DO
Begin
    IF ACol>0 Then
    if Arow>0 then
    Case Strtoint(Floattostr(Strto
float(SGDES2_3.Cells[ACol,
ARow])*1000)) OF
1..199:begin
    Canvas.Brush.Color := Color1;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
200..399:begin
    Canvas.Brush.Color := Color2;
    Canvas.FillRect( Rect );

```

```

    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
400..599:begin
    Canvas.Brush.Color := Color3;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
600..799:begin
    Canvas.Brush.Color := Color4;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
800..999:begin
    Canvas.Brush.Color := Color5;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
1000..1199:begin
    Canvas.Brush.Color := Color6;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
1200..1399:begin
    Canvas.Brush.Color := Color7;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
1400..1599:begin
    Canvas.Brush.Color := Color8;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
1600..1000000:begin
    Canvas.Brush.Color := Color9;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
End;
End;

```

```

bs:
end;
procedure TOkno1.
SGDES3_1DrawCell(Sender:
TObject; ACol, ARow: Integer;
Rect: TRect; State:
TGridDrawState);
label
bs, bt;
begin
if SGDES3_1.Cells[ACol, ARow]="
then goto bs
Else goto bt;
bt:
WITH SGDES3_1 DO
Begin
IF ACol>0 Then
if Arow>0 then
Case Strtoint(Floattostr(Strto
float(SGDES3_1.Cells[ACol,
ARow])*1000)) OF
1..199:begin
Canvas.Brush.Color := Color1;
Canvas.FillRect( Rect );
Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
200..399:begin
Canvas.Brush.Color := Color2;
Canvas.FillRect( Rect );
Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
400..599:begin
Canvas.Brush.Color := Color3;
Canvas.FillRect( Rect );
Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
600..799:begin
Canvas.Brush.Color := Color4;
Canvas.FillRect( Rect );
Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
800..999:begin
Canvas.Brush.Color := Color5;

```

```

Canvas.FillRect( Rect );
Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
1000..1199:begin
Canvas.Brush.Color := Color6;
Canvas.FillRect( Rect );
Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
1200..1399:begin
Canvas.Brush.Color := Color7;
Canvas.FillRect( Rect );
Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
1400..1599:begin
Canvas.Brush.Color := Color8;
Canvas.FillRect( Rect );
Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
1600..1000000:begin
Canvas.Brush.Color := Color9;
Canvas.FillRect( Rect );
Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
End;
End;
bs:
end;
procedure TOkno1.
SGDES3_3DrawCell(Sender:
TObject; ACol, ARow: Integer;
Rect: TRect; State:
TGridDrawState);
label
bs, bt;
begin
if SGDES3_3.Cells[ACol, ARow]="
then goto bs
Else goto bt;
bt:
WITH SGDES3_3 DO
Begin
IF ACol>0 Then

```

```

if Arow>0 then

  Case Strtoint(Floattostr(Strto
float(SGDES3_3.Cells[ACol,
ARow])*1000)) OF
    1..199:begin
      Canvas.Brush.Color := Color1;
      Canvas.FillRect( Rect );
      Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
    end;
    200..399:begin
      Canvas.Brush.Color := Color2;
      Canvas.FillRect( Rect );
      Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
    end;
    400..599:begin
      Canvas.Brush.Color := Color3;
      Canvas.FillRect( Rect );
      Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
    end;
    600..799:begin
      Canvas.Brush.Color := Color4;
      Canvas.FillRect( Rect );
      Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
    end;
    800..999:begin
      Canvas.Brush.Color := Color5;
      Canvas.FillRect( Rect );
      Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
    end;
    1000..1199:begin
      Canvas.Brush.Color := Color6;
      Canvas.FillRect( Rect );
      Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
    end;
    1200..1399:begin
      Canvas.Brush.Color := Color7;
      Canvas.FillRect( Rect );
      Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
    end;
    1400..1599:begin
      Canvas.Brush.Color := Color8;
      Canvas.FillRect( Rect );
      Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
    end;
    1600..1000000:begin
      Canvas.Brush.Color := Color9;
      Canvas.FillRect( Rect );
      Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
    end;
  End;
End;
bs:
end;
procedure TOkno1.
SGDES2_3_1DrawCell(Sender:
TObject; ACol, ARow: Integer;
Rect: TRect; State:
TGridDrawState);
label
bs, bt;
begin
if SGDES2_3_1.Cells[ACol,
ARow]=" then goto bs
Else goto bt;
bt:
WITH SGDES2_3_1 DO
Begin
  IF ACol>0 Then
  if Arow>0 then
    Case Strtoint(Floattostr(Strtof
loat(SGDES2_3_1.Cells[ACol,
ARow])*1000)) OF
      1..199:begin
        Canvas.Brush.Color := Color1;
        Canvas.FillRect( Rect );
        Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
      end;
      200..399:begin
        Canvas.Brush.Color := Color2;
        Canvas.FillRect( Rect );
        Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
      end;

```

```

400..599:begin
  Canvas.Brush.Color := Color3;
  Canvas.FillRect( Rect );
  Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
600..799:begin
  Canvas.Brush.Color := Color4;
  Canvas.FillRect( Rect );
  Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
800..999:begin
  Canvas.Brush.Color := Color5;
  Canvas.FillRect( Rect );
  Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
1000..1199:begin
  Canvas.Brush.Color := Color6;
  Canvas.FillRect( Rect );
  Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
1200..1399:begin
  Canvas.Brush.Color := Color7;
  Canvas.FillRect( Rect );
  Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
1400..1599:begin
  Canvas.Brush.Color := Color8;
  Canvas.FillRect( Rect );
  Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
1600..1000000:begin
  Canvas.Brush.Color := Color9;
  Canvas.FillRect( Rect );
  Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
End;
End;
bs:
end;

```

```

procedure TOkno1.
SGDES3_1_1DrawCell(Sender:
TObject; ACol, ARow: Integer;
  Rect: TRect; State:
TGridDrawState);
label
bs, bt;
begin
if SGDES3_1_1.Cells[ACol,
ARow]=" then goto bs
Else goto bt;
  bt:
WITH SGDES3_1_1 DO
  Begin
    IF ACol>0 Then
      if Arow>0 then

        Case Strtoint(Floattostr(Strtof
loat(SGDES3_1_1.Cells[ACol,
ARow])*1000)) OF
          1..199:begin
            Canvas.Brush.Color := Color1;
            Canvas.FillRect( Rect );
            Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
          end;
          200..399:begin
            Canvas.Brush.Color := Color2;
            Canvas.FillRect( Rect );
            Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
          end;
          400..599:begin
            Canvas.Brush.Color := Color3;
            Canvas.FillRect( Rect );
            Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
          end;
          600..799:begin
            Canvas.Brush.Color := Color4;
            Canvas.FillRect( Rect );
            Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
          end;
          800..999:begin
            Canvas.Brush.Color := Color5;
            Canvas.FillRect( Rect );

```



```

    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
1000..1199:begin
    Canvas.Brush.Color := Color6;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
1200..1399:begin
    Canvas.Brush.Color := Color7;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
1400..1599:begin
    Canvas.Brush.Color := Color8;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
1600..1000000:begin
    Canvas.Brush.Color := Color9;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
End;
End;
bs:
end;
procedure TOKno1.
SGDES3_3_1DrawCell(Sender:
TObject; ACol, ARow: Integer;
Rect: TRect; State:
TGridDrawState);
label
bs, bt;
begin
if SGDES3_3_1.Cells[ACol,
ARow]=" then goto bs
Else goto bt;
bt:
WITH SGDES3_3_1 DO
Begin
IF ACol>0 Then
if Arow>0 then

```

```

    Case Strtoint(Floattostr(Strtof
loat(SGDES3_3_1.Cells[ACol,
ARow])*1000)) OF
1..199:begin
    Canvas.Brush.Color := Color1;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
200..399:begin
    Canvas.Brush.Color := Color2;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
400..599:begin
    Canvas.Brush.Color := Color3;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
600..799:begin
    Canvas.Brush.Color := Color4;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
800..999:begin
    Canvas.Brush.Color := Color5;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
1000..1199:begin
    Canvas.Brush.Color := Color6;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
1200..1399:begin
    Canvas.Brush.Color := Color7;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
1400..1599:begin
    Canvas.Brush.Color := Color8;

```

```

    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
1600..1000000:begin
    Canvas.Brush.Color := Color9;
    Canvas.FillRect( Rect );
    Canvas.TextOut(Rect.Left, Rect.
Top, Cells[ACol, ARow]);
end;
End;
End;
bs:
end;
procedure TOkno1.N81Click(Sender:
TObject);
begin
Colordialog8.Execute();
end;
procedure TOkno1.N8Click(Sender:
TObject);
label
wp, qp, qp1, wp1, qp2, wp2, qp3,
wp3, qp4, wp4, qp5, wp5;
var
x,y: integer;
begin
With SGDES2_1 do
begin
for x := 0 to (SGDES2_1.
ColCount-1) do
for y := 0 to (SGDES2_1.
RowCount-1) do
begin
if SGDES2_1.Cells[x+1,y+1]=" then
goto qp
else GOTO wp;
wp:
case Strtoint(Floattostr(Strtfloat(SG
DES2_1.Cells[x+1,y+1])*1000)) of
0: begin
inc(nr0)
end;
1..199: begin
inc(nm2)
end;
200..399: begin
inc(n24)
end;
400..599: begin
inc(n46)
end;
600..799: begin
inc(n68)
end;
800..999: begin
inc(n810)
end;
1000..1199: begin
inc(n1012)
end;
1200..1399: begin
inc(n1214)
end;
1400..1599: begin
inc(n1416)
end;
end;
end;
qp:
end;
end;
With SGDES2_3 do
begin
for x := 0 to (SGDES2_3.
ColCount-1) do
for y := 0 to (SGDES2_3.
RowCount-1) do
begin
if SGDES2_3.Cells[x+1,y+1]=" then
goto qp1
else GOTO wp1;
wp1:
case Strtoint(Floattostr(Strtfloat(SG
DES2_3.Cells[x+1,y+1])*1000)) of
0: begin
inc(nr0_1)
end;
1..199: begin
inc(nm2_1)
end;
200..399: begin
inc(n24_1)
end;
400..599: begin

```

```

    inc(n46_1)
end;
600..799: begin
    inc(n68_1)
end;
800..999: begin
    inc(n810_1)
end;
1000..1199: begin
    inc(n1012_1)
end;
1200..1399: begin
    inc(n1214_1)
end;
1400..1599: begin
    inc(n1416_1)
end;
end;
end;
qp1:
end;
end;
With SGDES3_1 do
begin
    for x := 0 to (SGDES3_1.
ColCount-1) do
        for y := 0 to (SGDES3_1.
RowCount-1) do
            begin
                if SGDES3_1.Cells[x+1,y+1]=" then
goto qp2
                else GOTO wp2;

                wp2:
                case Strtoint(Floattostr(Strtfloat(SG
DES3_1.Cells[x+1,y+1])*1000)) of
                    0: begin
                        inc(nr0_2)
                    end;
                    1..199: begin
                        inc(nm2_2)
                    end;
                    200..399: begin
                        inc(n24_2)
                    end;
                    400..599: begin
                        inc(n46_2)
                    end;

```

```

                    600..799: begin
                        inc(n68_2)
                    end;
                    800..999: begin
                        inc(n810_2)
                    end;
                    1000..1199: begin
                        inc(n1012_2)
                    end;
                    1200..1399: begin
                        inc(n1214_2)
                    end;
                    1400..1599: begin
                        inc(n1416_2)
                    end;
                    end;
                    end;
                    qp2:
                    end;
                    end;
                    With SGDES3_3 do
                    begin
                        for x := 0 to (SGDES3_3.
ColCount-1) do
                            for y := 0 to (SGDES3_3.
RowCount-1) do
                                begin
                                    if SGDES3_3.Cells[x+1,y+1]=" then
goto qp3
                                    else GOTO wp3;
                                    wp3:
                                    case Strtoint(Floattostr(Strtfloat(SG
DES3_3.Cells[x+1,y+1])*1000)) of
                                        0: begin
                                            inc(nr0_3)
                                        end;
                                        1..199: begin
                                            inc(nm2_3)
                                        end;
                                        200..399: begin
                                            inc(n24_3)
                                        end;
                                        400..599: begin
                                            inc(n46_3)
                                        end;
                                        600..799: begin
                                            inc(n68_3)
                                        end;

```

```

800..999: begin
  inc(n810_3)
end;
1000..1199: begin
  inc(n1012_3)
end;
1200..1399: begin
  inc(n1214_3)
end;
1400..1599: begin
  inc(n1416_3)
end;
end;
qp3:
end;
end;
for y := 0 to 9 do
  begin
    SGTABPK.Cells[0,
y+1]:=Inttostr(0+200*y)+' - '+'
Inttostr(0+200*(y+1));
    SGTABPK.Cells[1, 0]:='m^3';
    SGTABPK.Cells[2, 0]:='%';
    SGTABPT.Cells[0,
y+1]:=Inttostr(0+200*y)+' - '+'
Inttostr(0+200*(y+1));
    SGTABPT.Cells[1, 0]:='m^3';
    SGTABPT.Cells[2, 0]:='%';
    SGTABPK_1.Cells[0,
y+1]:=Inttostr(0+200*y)+' - '+'
Inttostr(0+200*(y+1));
    SGTABPK_1.Cells[1, 0]:='m^3';
    SGTABPK_1.Cells[2, 0]:='%';
    SGTABPT_1.Cells[0,
y+1]:=Inttostr(0+200*y)+' - '+'
Inttostr(0+200*(y+1));
    SGTABPT_1.Cells[1, 0]:='m^3';
    SGTABPT_1.Cells[2, 0]:='%';
    SGTABALL_1.Cells[0,
y+1]:=Inttostr(0+200*y)+' - '+'
Inttostr(0+200*(y+1));
    SGTABALL_1.Cells[1, 0]:='m^3';
    SGTABALL_1.Cells[2, 0]:='%';
    SGTABALL_2.Cells[0,
y+1]:=Inttostr(0+200*y)+' - '+'
Inttostr(0+200*(y+1));
    SGTABALL_2.Cells[1, 0]:='m^3';

```

```

SGTABALL_2.Cells[2, 0]:='%';
SGTABALL_END.Cells[0,
y+1]:=Inttostr(0+200*y)+' - '+'
Inttostr(0+200*(y+1));
SGTABALL_END.Cells[1,
0]:='m^3';
SGTABALL_END.Cells[2, 0]:='%';
//Объемы псевдокубов
v1m2:=0.733*nm2*0.1*0.1*1;
//между зарядами
v124:=0.733*n24*0.1*0.1*1;
v146:=0.733*n46*0.1*0.1*1;
v168:=0.733*n68*0.1*0.1*1;
v1810:=0.733*n810*0.1*0.1*1;
v11012:=0.733*n1012*0.1*0.1*1;
v11214:=0.733*n1214*0.1*0.1*1;
v11416:=0.733*n1416*0.1*0.1*1;
vall1:=v1m2+v124+v146+v168+v1
810+v11012+v11214+v11416;
v4m2:=0.733*nm2_1*0.1*0.1*1;
//за крайним
v424:=0.733*n24_1*0.1*0.1*1;
v446:=0.733*n46_1*0.1*0.1*1;
v468:=0.733*n68_1*0.1*0.1*1;
v4810:=0.733*n810_1*0.1*0.1*1;
v41012:=0.733
*n1012_1*0.1*0.1*1;
v41214:=0.733
*n1214_1*0.1*0.1*1;
v41416:=0.733
*n1416_1*0.1*0.1*1;
vall4:=v4m2+v424+v446+v468+v4
810+v41012+v41214+v41416;
// проценты выхода
псевдокубов
p1m2:=v1m2/vall1*100;
//между зарядами
p124:=v124/vall1*100;
p146:=v146/vall1*100;
p168:=v168/vall1*100;
p1810:=v1810/vall1*100;
p11012:=v11012/vall1*100;
p11214:=v11214/vall1*100;
p11416:=v11416/vall1*100;
p4m2:=v4m2/vall4*100;
//
за крайним
p424:=v424/vall4*100;

```

```

p446:=v446/vall4*100;
p468:=v468/vall4*100;
p4810:=v4810/vall4*100;
p41012:=v41012/vall4*100;
p41214:=v41214/vall4*100;
p41416:=v41416/vall4*100;
//объемы псевдотетраэдров
v2m2:=0.12*nm2_2*0.1*0.1*1;
//между зарядами
v224:=0.12*n24_2*0.1*0.1*1;
v246:=0.12*n46_2*0.1*0.1*1;
v268:=0.12*n68_2*0.1*0.1*1;
v2810:=0.12*n810_2*0.1*0.1*1;
v21012:=0.12*n1012_2*0.1*0.1*1;
v21214:=0.12*n1214_2*0.1*0.1*1;
v21416:=0.12*n1416_2*0.1*0.1*1;
vall2:=v2m2+v224+v246+v268+v2810+v21012+v21214+v21416;
v5m2:=0.12*nm2_3*0.1*0.1*1;
//за крайним
v524:=0.12*n24_3*0.1*0.1*1;
v546:=0.12*n46_3*0.1*0.1*1;
v568:=0.12*n68_3*0.1*0.1*1;
v5810:=0.12*n810_3*0.1*0.1*1;
v51012:=0.12*n1012_3*0.1*0.1*1;
v51214:=0.12*n1214_3*0.1*0.1*1;
v51416:=0.12*n1416_3*0.1*0.1*1;
vall5:=v5m2+v524+v546+v568+v5810+v51012+v51214+v51416;
// проценты выхода
псевдотетраэдров
p2m2:=v2m2/vall2*100;
p224:=v224/vall2*100;
p246:=v246/vall2*100;
p268:=v268/vall2*100;
p2810:=v2810/vall2*100;
p21012:=v21012/vall2*100;
p21214:=v21214/vall2*100;
p21416:=v21416/vall2*100;
p5m2:=v5m2/vall5*100;
p524:=v524/vall5*100;
p546:=v546/vall5*100;
p568:=v568/vall5*100;
p5810:=v5810/vall5*100;
p51012:=v51012/vall5*100;
p51214:=v51214/vall5*100;
p51416:=v51416/vall5*100;

v7m2:=v1m2+v2m2+v3m2;
v724:=v124+v224+v324;
v746:=v146+v246+v346;
v768:=v168+v268+v368;
v7810:=v1810+v2810+v3810;
v71012:=v11012+v21012+v31012;
v71214:=v11214+v21214+v31214;
v71416:=v11416+v21416+v31416;
vall7:=v7m2+v724+v746+v768+v7810+v71012+v71214+v71416;
//проценты сумм между
зарядами
p7m2:=v7m2/vall7*100;
p724:=v724/vall7*100;
p746:=v746/vall7*100;
p768:=v768/vall7*100;
p7810:=v7810/vall7*100;
p71012:=v71012/vall7*100;
p71214:=v71214/vall7*100;
p71416:=v71416/vall7*100;
//суммы объемов за крайним
v8m2:=v4m2+v5m2+v6m2;
v824:=v424+v524+v624;
v846:=v446+v546+v646;
v868:=v468+v568+v668;
v8810:=v4810+v5810+v6810;
v81012:=v41012+v51012+v61012;
v81214:=v41214+v51214+v61214;
v81416:=v41416+v51416+v61416;
vall8:=v8m2+v824+v846+v868+v8810+v81012+v81214+v81416;
//проценты за крайним
p8m2:=v8m2/vall8*100;
p824:=v824/vall8*100;
p846:=v846/vall8*100;
p868:=v868/vall8*100;
p8810:=v8810/vall8*100;
p81012:=v81012/vall8*100;
p81214:=v81214/vall8*100;
p81416:=v81416/vall8*100 //итоговые суммы
с учетом количества скважин
v9m2:=v7m2*((strtoint(form130.
Edit1.Text))-1)+v8m2*2;
v924:=v724*((strtoint(form130.
Edit1.Text))-1)+v824*2;
v946:=v746*((strtoint(form130.

```

```

Edit1.Text))-1)+v846*2;
v968:=v768*((strtoint(form130.
Edit1.Text))-1)+v868*2;
v9810:=v7810*((strtoint(form130.
Edit1.Text))-1)+v8810*2; v91012
:=v71012*((strtoint(form130.Edit1.
Text))-1)+v81012*2; v91214:=
v71214*((strtoint(form130.Edit1.
Text))-1)+v81214*2; v91416:=v71
214*((strtoint(form130.Edit1.Text))-
1)+v81214*2; vall9:=v9m2+v924+
v946+v968+v9810+v91012+v91214
+v91416;
p9m2:=v9m2/vall9*100;
p924:=v924/vall9*100;
p946:=v946/vall9*100;
p968:=v968/vall9*100;
p9810:=v9810/vall9*100;
p91012:=v91012/vall9*100;
p91214:=v91214/vall9*100;
p91416:=v91416/vall9*100;
SGTABPK.Cells[0, 9]:='Bcero';
SGTABPK_1.Cells[0, 9]:='Bcero';
SGTABPT.Cells[0, 9]:='Bcero';
SGTABPT_1.Cells[0, 9]:='Bcero';
SGTABALL_1.Cells[0,
9]:='Bcero';
SGTABALL_2.Cells[0,
9]:='Bcero';
SGTABALL_END.Cells[0,
9]:='Bcero';
SGTABPK.Cells[1,
1]:=Format('%7.2f',[v1m2]);
SGTABPK.Cells[1,
2]:=Format('%7.2f',[v124]);
SGTABPK.Cells[1,
3]:=Format('%7.2f',[v146]);
SGTABPK.Cells[1,
4]:=Format('%7.2f',[v168]);
SGTABPK.Cells[1,
5]:=Format('%7.2f',[v1810]);
SGTABPK.Cells[1,
6]:=Format('%7.2f',[v11012]);
SGTABPK.Cells[1,
7]:=Format('%7.2f',[v11214]);
SGTABPK.Cells[1,
8]:=Format('%7.2f',[v11416]);

```

```

SGTABPK.Cells[1,
9]:=Format('%7.2f',[vall1]);
SGTABPK.Cells[2,
1]:=Format('%7.2f',[p1m2]);
SGTABPK.Cells[2,
2]:=Format('%7.2f',[p124]);
SGTABPK.Cells[2,
3]:=Format('%7.2f',[p146]);
SGTABPK.Cells[2,
4]:=Format('%7.2f',[p168]);
SGTABPK.Cells[2,
5]:=Format('%7.2f',[p1810]);
SGTABPK.Cells[2,
6]:=Format('%7.2f',[p11012]);
SGTABPK.Cells[2,
7]:=Format('%7.2f',[p11214]);
SGTABPK.Cells[2,
8]:=Format('%7.2f',[p11416]);
SGTABPK.Cells[2, 9]:=Floattostr(p
1m2+p124+p146+p168+p1810+p110
12+p11214+p11416);
SGTABPK_1.Cells[1,
1]:=Format('%7.2f',[v4m2]);
SGTABPK_1.Cells[1,
2]:=Format('%7.2f',[v424]);
SGTABPK_1.Cells[1,
3]:=Format('%7.2f',[v446]);
SGTABPK_1.Cells[1,
4]:=Format('%7.2f',[v468]);
SGTABPK_1.Cells[1,
5]:=Format('%7.2f',[v4810]);
SGTABPK_1.Cells[1,
6]:=Format('%7.2f',[v41012]);
SGTABPK_1.Cells[1,
7]:=Format('%7.2f',[v41214]);
SGTABPK_1.Cells[1,
8]:=Format('%7.2f',[v41416]);
SGTABPK_1.Cells[1,
9]:=Format('%7.2f',[vall4]);
SGTABPK_1.Cells[2,
1]:=Format('%7.2f',[p4m2]);
SGTABPK_1.Cells[2,
2]:=Format('%7.2f',[p424]);
SGTABPK_1.Cells[2,
3]:=Format('%7.2f',[p446]);
SGTABPK_1.Cells[2,
4]:=Format('%7.2f',[p468]);

```

```

SGTABPK_1.Cells[2,
5]:=Format("%7.2f",[p4810]);
SGTABPK_1.Cells[2,
6]:=Format("%7.2f",[p41012]);
SGTABPK_1.Cells[2,
7]:=Format("%7.2f",[p41214]);
SGTABPK_1.Cells[2,
8]:=Format("%7.2f",[p41416]);
SGTABPK_1.Cells[2, 9]:=Floattost
r(p4m2+p424+p446+p468+p4810+p4
1012+p41214+p41416);
SGTABPT.Cells[1,
1]:=Format("%7.2f",[v2m2]);
SGTABPT.Cells[1,
2]:=Format("%7.2f",[v224]);
SGTABPT.Cells[1,
3]:=Format("%7.2f",[v246]);
SGTABPT.Cells[1,
4]:=Format("%7.2f",[v268]);
SGTABPT.Cells[1,
5]:=Format("%7.2f",[v2810]);
SGTABPT.Cells[1,
6]:=Format("%7.2f",[v21012]);
SGTABPT.Cells[1,
7]:=Format("%7.2f",[v21214]);
SGTABPT.Cells[1,
8]:=Format("%7.2f",[v21416]);
SGTABPT.Cells[1,
9]:=Format("%7.2f",[vall2]);
SGTABPT.Cells[2,
1]:=Format("%7.2f",[p2m2]);
SGTABPT.Cells[2,
2]:=Format("%7.2f",[p224]);
SGTABPT.Cells[2,
3]:=Format("%7.2f",[p246]);
SGTABPT.Cells[2,
4]:=Format("%7.2f",[p268]);
SGTABPT.Cells[2,
5]:=Format("%7.2f",[p2810]);
SGTABPT.Cells[2,
6]:=Format("%7.2f",[p21012]);
SGTABPT.Cells[2,
7]:=Format("%7.2f",[p21214]);
SGTABPT.Cells[2,
8]:=Format("%7.2f",[p21416]);

```

```

SGTABPT.Cells[2, 9]:=Floattostr(p
2m2+p224+p246+p268+p2810+p210
12+p21214+p21416);
SGTABPT_1.Cells[1,
1]:=Format("%7.2f",[v5m2]);
SGTABPT_1.Cells[1,
2]:=Format("%7.2f",[v524]);
SGTABPT_1.Cells[1,
3]:=Format("%7.2f",[v546]);
SGTABPT_1.Cells[1,
4]:=Format("%7.2f",[v568]);
SGTABPT_1.Cells[1,
5]:=Format("%7.2f",[v5810]);
SGTABPT_1.Cells[1,
6]:=Format("%7.2f",[v51012]);
SGTABPT_1.Cells[1,
7]:=Format("%7.2f",[v51214]);
SGTABPT_1.Cells[1,
8]:=Format("%7.2f",[v51416]);
SGTABPT_1.Cells[1,
9]:=Format("%7.2f",[vall5]);
SGTABPT_1.Cells[2,
1]:=Format("%7.2f",[p5m2]);
SGTABPT_1.Cells[2,
2]:=Format("%7.2f",[p524]);
SGTABPT_1.Cells[2,
3]:=Format("%7.2f",[p546]);
SGTABPT_1.Cells[2,
4]:=Format("%7.2f",[p568]);
SGTABPT_1.Cells[2,
5]:=Format("%7.2f",[p5810]);
SGTABPT_1.Cells[2,
6]:=Format("%7.2f",[p51012]);
SGTABPT_1.Cells[2,
7]:=Format("%7.2f",[p51214]);
SGTABPT_1.Cells[2,
8]:=Format("%7.2f",[p51416]);
SGTABPT_1.Cells[2, 9]:=Floattost
r(p5m2+p524+p546+p568+p5810+p5
1012+p51214+p51416);
SGTABALL_1.Cells[1,
1]:=Format("%7.2f",[v7m2]);
SGTABALL_1.Cells[1,
2]:=Format("%7.2f",[v724]);
SGTABALL_1.Cells[1,
3]:=Format("%7.2f",[v746]);

```

```

SGTABALL_1.Cells[1,
4]:=Format('%7.2f',[v768]);
SGTABALL_1.Cells[1,
5]:=Format('%7.2f',[v7810]);
SGTABALL_1.Cells[1,
6]:=Format('%7.2f',[v71012]);
SGTABALL_1.Cells[1,
7]:=Format('%7.2f',[v71214]);
SGTABALL_1.Cells[1,
8]:=Format('%7.2f',[v71416]);
SGTABALL_1.Cells[1,
9]:=Format('%7.2f',[v71]);
SGTABALL_1.Cells[2,
1]:=Format('%7.2f',[p7m2]);
SGTABALL_1.Cells[2,
2]:=Format('%7.2f',[p724]);
SGTABALL_1.Cells[2,
3]:=Format('%7.2f',[p746]);
SGTABALL_1.Cells[2,
4]:=Format('%7.2f',[p768]);
SGTABALL_1.Cells[2,
5]:=Format('%7.2f',[p7810]);
SGTABALL_1.Cells[2,
6]:=Format('%7.2f',[p71012]);
SGTABALL_1.Cells[2,
7]:=Format('%7.2f',[p71214]);
SGTABALL_1.Cells[2,
8]:=Format('%7.2f',[p71416]);
SGTABALL_1.Cells[2, 9]:=Floatto
str(p7m2+p724+p746+p768+p7810+p
71012+p71214+p71416);
SGTABALL_2.Cells[1,
1]:=Format('%7.2f',[v8m2]);
SGTABALL_2.Cells[1,
2]:=Format('%7.2f',[v824]);
SGTABALL_2.Cells[1,
3]:=Format('%7.2f',[v846]);
SGTABALL_2.Cells[1,
4]:=Format('%7.2f',[v868]);
SGTABALL_2.Cells[1,
5]:=Format('%7.2f',[v8810]);
SGTABALL_2.Cells[1,
6]:=Format('%7.2f',[v81012]);
SGTABALL_2.Cells[1,
7]:=Format('%7.2f',[v81214]);
SGTABALL_2.Cells[1,
8]:=Format('%7.2f',[v81416]);

```

```

SGTABALL_2.Cells[1,
9]:=Format('%7.2f',[v81]);
SGTABALL_2.Cells[2,
1]:=Format('%7.2f',[p8m2]);
SGTABALL_2.Cells[2,
2]:=Format('%7.2f',[p824]);
SGTABALL_2.Cells[2,
3]:=Format('%7.2f',[p846]);
SGTABALL_2.Cells[2,
4]:=Format('%7.2f',[p868]);
SGTABALL_2.Cells[2,
5]:=Format('%7.2f',[p8810]);
SGTABALL_2.Cells[2,
6]:=Format('%7.2f',[p81012]);
SGTABALL_2.Cells[2,
7]:=Format('%7.2f',[p81214]);
SGTABALL_2.Cells[2,
8]:=Format('%7.2f',[p81416]);
SGTABALL_2.Cells[2, 9]:=Floatto
str(p8m2+p824+p846+p868+p8810+p
81012+p81214+p81416);
SGTABALL_END.Cells[1,
1]:=Format('%7.2f',[v9m2]);
SGTABALL_END.Cells[1,
2]:=Format('%7.2f',[v924]);
SGTABALL_END.Cells[1,
3]:=Format('%7.2f',[v946]);
SGTABALL_END.Cells[1,
4]:=Format('%7.2f',[v968]);
SGTABALL_END.Cells[1,
5]:=Format('%7.2f',[v9810]);
SGTABALL_END.Cells[1,
6]:=Format('%7.2f',[v91012]);
SGTABALL_END.Cells[1,
7]:=Format('%7.2f',[v91214]);
SGTABALL_END.Cells[1,
8]:=Format('%7.2f',[v91416]);
SGTABALL_END.Cells[1,
9]:=Format('%7.2f',[v91]);
SGTABALL_END.Cells[2,
1]:=Format('%7.2f',[p9m2]);
SGTABALL_END.Cells[2,
2]:=Format('%7.2f',[p924]);
SGTABALL_END.Cells[2,
3]:=Format('%7.2f',[p946]);
SGTABALL_END.Cells[2,
4]:=Format('%7.2f',[p968]);

```



```

SGTABALL_END.Cells[2,
5]:=Format('%7.2f',[p9810]);
SGTABALL_END.Cells[2,
6]:=Format('%7.2f',[p91012]);
SGTABALL_END.Cells[2,
7]:=Format('%7.2f',[p91214]);
SGTABALL_END.Cells[2,
8]:=Format('%7.2f',[p91416]);
SGTABALL_END.Cells[2, 9]:=Flo
attostr(p9m2+p924+p946+p968+p981
0+p91012+p91214+p91416);
end;
Application.MessageBox(Pchar
(Inttostr(nm2_2)),Pchar('Менее 200'),
MB_OK);
Application.MessageBox(Pchar(Inttos
tr(n24_2))char('200-400'), MB_OK);
Application.MessageBox(Pchar(I
nttostr(n46_2)),Pchar('400-600'),
MB_OK);
Application.MessageBox(Pchar(I
nttostr(n68_2)),Pchar('600-800'),
MB_OK);
Application.MessageBox(Pchar(In
ttostr(n810_2)),Pchar('800-1000'),
MB_OK);
Application.MessageBox(Pchar(Int
tostr(n1012_2)),Pchar('1000-1200'),
MB_OK);
Application.MessageBox(Pchar(Int
tostr(n1214_2)),Pchar('1200-1400'),
MB_OK);
Application.MessageBox(Pchar(Int
tostr(n1416_2)),Pchar('1400-1600'),
MB_OK);
Application.MessageBox(Pchar(Inttos
tr(nr0_1)),Pchar('Павн 0'), MB_OK);{
Application.MessageBox(Pchar(Intt
ostr((SGDES.ColCount-1)*(SGDES.
RowCount-1)-(nm2+n24+n46+n68+n
810+n1012+n1214+n1416))),Pchar('П
авн 0'), MB_OK);
Application.MessageBox(Pchar(In
ttostr(nm2+n24+n46+n68+n810+n
1012+n1214+n1416)),Pchar('Bce'),
MB_OK);

```

```

Application.MessageBox(Pchar(Intto
str(nm2+n24+n46+n68+n810+n1012
+n1214+n1416+nr0)),Pchar('Bce+0'),
MB_OK);
Application.MessageBox(Pchar(Intt
ostr((SGDES.ColCount-1)*(SGDES.
RowCount-1))),Pchar('Таблица'),
MB_OK);}
end;
procedure TOkno1.N91Click(Sender:
TObject);
begin
Colordialog9.Execute();
end;
procedure TOkno1.
SGDES2_1SelectCell(Sender:
TObject; ACol, ARow: Integer;
var CanSelect: Boolean);
begin
SGDES2_1.Hint:=SGDES2_1.
Cells[acol,arow];
SGDES2_1.ShowHint:=true;
end;
procedure TOkno1.
SGDES2_1_1SelectCell(Sender:
TObject; ACol, ARow: Integer;
var CanSelect: Boolean);
begin
SGDES2_1_1.Hint:=SGDES2_1_1.
Cells[acol,arow];
SGDES2_1_1.ShowHint:=true;
end;
procedure TOkno1.
SGDES2_3SelectCell(Sender:
TObject; ACol, ARow: Integer;
var CanSelect: Boolean);
begin
SGDES2_3.Hint:=SGDES2_3.
Cells[acol,arow];
SGDES2_3.ShowHint:=true;
end;
procedure TOkno1.
SGDES2_3_1SelectCell(Sender:
TObject; ACol, ARow: Integer;
var CanSelect: Boolean);
begin

```

```

SGDES2_3_1.Hint:=SGDES2_3_1.
Cells[acol,arow];
SGDES2_3_1.ShowHint:=true;
end;
procedure TOKno1.
SGDES3_1SelectCell(Sender:
TObject; ACol, ARow: Integer;
  var CanSelect: Boolean);
begin
SGDES3_1.Hint:=SGDES3_1.
Cells[acol,arow];
SGDES3_1.ShowHint:=true;
end;
procedure TOKno1.
SGDES3_1_1SelectCell(Sender:
TObject; ACol, ARow: Integer;
  var CanSelect: Boolean);
begin
SGDES3_1_1.Hint:=SGDES3_3.
Cells[acol,arow];
SGDES3_1_1.ShowHint:=true;
end;
procedure TOKno1.
SGDES3_3SelectCell(Sender:
TObject; ACol, ARow: Integer;
  var CanSelect: Boolean);
begin
SGDES3_3.Hint:=SGDES3_3.
Cells[acol,arow];
SGDES3_3.ShowHint:=true;
end;
procedure TOKno1.
SGDES3_3_1SelectCell(Sender:
TObject; ACol, ARow: Integer;
  var CanSelect: Boolean);
begin
SGDES3_3_1.Hint:=SGDES3_3_1.
Cells[acol,arow];
SGDES3_3_1.ShowHint:=true;
end;
procedure TOKno1.
SGDES1_2MouseDown(Sender:
TObject; Button: TMouseButton;
  Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
Var
MCursor: TPoint;
begin

```

```

if button=mbRight
then
begin
Prngrid:=SGDES1_2;
Prngrid.PopupMenu:=PopupMenu1;
Getcursorpos(MCursor);
Prngrid.PopupMenu.
Popup(Mcursor.X,Mcursor.Y);
end;
end;
procedure TOKno1.
SGDES1_1MouseDown(Sender:
TObject; Button: TMouseButton;
  Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
Var
MCursor: TPoint;
begin
if button=mbRight
then
begin
Prngrid:=SGDES1_1;
Prngrid.PopupMenu:=PopupMenu1;
Getcursorpos(MCursor);
Prngrid.PopupMenu.
Popup(Mcursor.X,Mcursor.Y);
end;
end;
procedure TOKno1.
SGDESMouseDown(Sender: TObject;
Button: TMouseButton;
  Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
Var
MCursor: TPoint;
begin
if button=mbRight
then
begin
Prngrid:=SGDES;
Prngrid.PopupMenu:=PopupMenu1;
Getcursorpos(MCursor);
Prngrid.PopupMenu.
Popup(Mcursor.X,Mcursor.Y);
end;
end;
procedure TOKno1.
SGDES2_1MouseDown(Sender:
TObject; Button: TMouseButton;

```

```

    Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
Var
MCursor: TPoint;
begin
if button=mbRight
then
begin
Prngrid:=SGDES2_1;
Prngrid.PopupMenu:=PopupMenu1;
Getcursorpos(MCursor);
Prngrid.PopupMenu.
Popup(Mcursor.X,Mcursor.Y);
end;
end;
procedure TOkno1.
SGDES2_1_1MouseDown(Sender:
TObject; Button: TMouseButton;
    Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
Var
MCursor: TPoint;
begin
if button=mbRight
then
begin
Prngrid:=SGDES2_1_1;
Prngrid.PopupMenu:=PopupMenu1;
Getcursorpos(MCursor);
Prngrid.PopupMenu.
Popup(Mcursor.X,Mcursor.Y);
end;
end;
procedure TOkno1.
SGDES2_3MouseDown(Sender:
TObject; Button: TMouseButton;
    Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
Var
MCursor: TPoint;
begin
if button=mbRight
then
begin
Prngrid:=SGDES2_3;
Prngrid.PopupMenu:=PopupMenu1;
Getcursorpos(MCursor);
Prngrid.PopupMenu.
Popup(Mcursor.X,Mcursor.Y);
end;
end;
end;
procedure TOkno1.
SGDES2_3_1MouseDown(Sender:
TObject; Button: TMouseButton;
    Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
Var
MCursor: TPoint;
begin
if button=mbRight
then
begin
Prngrid:=SGDES2_3_1;
Prngrid.PopupMenu:=PopupMenu1;
Getcursorpos(MCursor);
Prngrid.PopupMenu.
Popup(Mcursor.X,Mcursor.Y);
end;
end;
end;
procedure TOkno1.
SGDES3_1MouseDown(Sender:
TObject; Button: TMouseButton;
    Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
Var
MCursor: TPoint;
begin
if button=mbRight
then
begin
Prngrid:=SGDES3_1;
Prngrid.PopupMenu:=PopupMenu1;
Getcursorpos(MCursor);
Prngrid.PopupMenu.
Popup(Mcursor.X,Mcursor.Y);
end;
end;
end;
procedure TOkno1.
SGDES3_1_1MouseDown(Sender:
TObject; Button: TMouseButton;
    Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
Var
MCursor: TPoint;
begin
if button=mbRight
then
begin
Prngrid:=SGDES3_1_1;
Prngrid.PopupMenu:=PopupMenu1;

```

```

Getcursorpos(MCursor);
Prngrid.PopupMenu.
Popup(Mcursor.X,Mcursor.Y);
end;
end;
procedure TOkno1.
SGDES3_3MouseDown(Sender:
TObject; Button: TMouseButton;
Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
Var
MCursor: TPoint;
begin
if button=mbRight
then
begin
Prngrid:=SGDES3_3;
Prngrid.PopupMenu:=PopupMenu1;
Getcursorpos(MCursor);
Prngrid.PopupMenu.
Popup(Mcursor.X,Mcursor.Y);

```

```

end;
end;
procedure TOkno1.
SGDES3_3_1MouseDown(Sender:
TObject; Button: TMouseButton;
Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
Var
MCursor: TPoint;
begin
if button=mbRight
then
begin
Prngrid:=SGDES3_3_1;
Prngrid.PopupMenu:=PopupMenu1;
Getcursorpos(MCursor);
Prngrid.PopupMenu.
Popup(Mcursor.X,Mcursor.Y);
end;
end;
end.

```

Приложение 7.

Компьютерная программа «Развал»

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ
№2010611260, 2010, Авторы: Викторов С.Д., Казаков Н.Н., Копылов С.В.,
Шляпин А.В.

По компьютерной программе «Развал» рассчитываются параметры развала породы взрывом в карьере и осуществляется графическое построение продольного сечения развала.

```
unit UnitRazval2; //26.06.2006
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils,
  Variants, Classes, Graphics, Controls,
  Forms,
  Dialogs, StdCtrls, Printers, Grids,
  Math, Menus;
type
  TForm2 = class(TForm)
    SG1: TStringGrid; //
  Создание формы Таблица
    Button1: TButton;
    PrintDialog1: TPrintDialog;
    MainMenu1: TMainMenu;
    N1: TMenuItem; //
  Создание Управляющей кнопки
  procedure Button1Click(Sender:
  TObject);
  procedure N1Click(Sender: TObject);
  //Связь кнопки с таблицей
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;
var
  Form2: TForm2;
implementation
{$R *.dfm}
procedure TForm2.
Button1Click(Sender: TObject);
  //Начальные данные
```

```
{ Н — Высота уступа
  Н1 — Высота нижнего уступа
  Н2 — Высота верхнего уступа
  LZ — лина забойки.
  Ak — Размер куска.
  NS — Число рядов скважин.
  NS1 — Число рядов скважин на
нижнему уступе
  NS12 — Число рядов скважин на
спаренном уступе
  NS2 — Число рядов скважин на
верхнем уступе
  W — ЛНС.
  NR — Число стол. около
скважины
  NSR — Число рядов в столб.
  NSR1 — Число рядов в столбце на
нижнем уступе
  NSR12 — Число рядов в столбце
на спаренном уступе
  NSR2 — Число рядов в столбце на
верхнем уступе
  Alf — угол откоса уступа.
  OT — Отступ от последней
скважины.
  P — Вместимость 1 м скважины}
const LZ=6; ak=1; w=6; a=6; b=6;
NR=6; alf=80;OT=28;
  P=44; D=0.250; GM=2700;
E1=185000000; DL=0.15; r0=0.125;
ro=900;
  H1=15; H2=15; NS1=10;
NS12=6; NS2=6; NSR1=15;
NSR12=30; NSR2=15;
var
  //Объявление величин,
участвующих, в расчетах.
  Пополняются в ходе.
```

```

N,NN,x,xx,y,yy,z,zz,ws,wss,uun,nrr,v,z
n,xz,xR,ZG,
bet1,bet2,bet,G,wn,wn1,NC,TA,XK11,
XK12,Xk21,Xk22: real;
  i,j,k,m: integer;
  s: string;
  // Заголовок таблицы. Пополняется
в ходе.
begin
  SG1.Cells[0,0]:='N';
  SG1.Cells[1,0]:='zn';
  SG1.Cells[2,0]:='xz';
  SG1.Cells[3,0]:='bet';
  SG1.Cells[4,0]:='ws';
  SG1.Cells[8,0]:='xx';
  SG1.Cells[7,0]:='uun';
  SG1.Cells[9,0]:='yy';
  SG1.Cells[10,0]:='zz';
  //Расчет опорных углов в
градусах.
  begin
    bet1:=Arctan(LZ/(w-H1/
(Sin(alf*pi/180)/Cos(alf*pi/180))))*180/
pi;
    bet2:=180-
(Arctan(LZ*Sin(alf*pi/180)/
Cos(alf*pi/180)/H1))*180/pi;
    TA:=Sin(alf*pi/180)/
Cos(alf*pi/180);
    XK11:=OT+NS2*w;
    XK12:=OT+NS2*w-H1/TA;
    XK21:=OT;
    XK22:=OT-H2/TA;
    //Число циклов
    for m:=1 to NS1*NR*NSR1+NS1
2*NR*NSR12+NS2*NR*NSR2 do
      //Заполнение первого
столбца
      begin
        N:=1*m;
        str(N:4:0,s); SG1.Cells[0,0+m]:=s; //
Занесение номеров строк в таблицу
      end;
      // Рсчеты по трем вложенным
циклам
      //Первый цикл
      begin

```

```

    for i:=1 to NS1 do
      for j:=1 to NR do
        Диапазоны циклов
        for k:=1 to NSR1 do
          begin
            x:=1*i; y:=1*j; z:=1*k; //
Шаги циклов
            //Получение рассчитанных
цифр и занесение их таблицу
            zn:=H1-z+0.5*ak;
            //Высотная отметка куска
            m:=NR*NSR1*(i-1)+NSR1*(j-
1)+k; //номера строк в таблице
            str(zn:4:2,s); SG1.Cells[1,m]:=s; //
Занесение высотной отметки в
таблицу
            //Расчет координаты куска в
неподвижной системе координат
            if y<NR then
              xz:=OT+(NS1+NS12+NS2)*w-(x-
1)*w-(y-1)*ak-
              zn*(Cos(alf*pi/180))/
              (Sin(alf*pi/180))-0.5*ak;
              if (y=NR) and (zn>H1-LZ)
then
                xz:=OT+(NS1+NS12+NS2)*w-
                (x-1)*w-(y-1)*ak-
                zn*(Cos(alf*pi/180))/(Sin(alf*pi/180))-
                0.5*ak;
                if (y=NR) and (zn<H1-LZ) then
                  xz:=OT+(NS1+NS12+NS2)*w-
                  (x-1)*w-(y-1)*ak-
                  zn*(Cos(alf*pi/180))/(Sin(alf*pi/180))-
                  ak;
                  //Занесение координаты в
таблицу
                  str(xz:4:2,s); SG1.Cells[2,m]:=s;
                  XR:=xz-(OT+(NS1+NS12+NS2-
x)*w); //Расстояние от
скважины.
                  //Расчет углов вылета кусков при
четырёх разных условиях, в градусах
                  bet:=Arctan(((zn-(H1-LZ))/
(w-(OT+(NS1+NS12+NS2)*w-(w*(x-
1))-XZ)))));
                  if (bet>0) and ((zn-(H1-
LZ))>0) then

```

```

bet:=bet;
if (bet<0) and ((zn-(H1-
LZ))>0) then
bet:=Pi+bet;
bet:=bet*180/pi;
if (xR>0) and ((zn-(H1-
LZ))<0) then
bet:=0;
if (xR<0) and ((zn-(H1-
LZ))<0) then
bet:=180;
//Занесение углов в таблицу
str(bet:3:0,s); SG1.Cells[3,m]:=s;
//Расчет расстояний до края
зоны при шести разных условиях
begin
if (bet>bet1) and (bet<90) and ((zn-
(H1-LZ))>0) and (XR>0) then
ws:=LZ/(Sin(bet*pi/180));
if (bet<bet1) and (zn>(H1-LZ)) and
(XR>0) then
ws:=(w-
(zn+0.5*ak)*Cos(alf*pi/180)/
Sin(alf*pi/180))/Cos(bet*pi/180);
if (bet<bet1) and (zn<=(H1-LZ)) and
(XR>0) then
ws:=w-
(zn+0.5*ak)*(Cos(alf*pi/180)/
Sin(alf*pi/180));
if (bet<bet2) and (bet>90) and ((zn-
(H1-LZ))>0) and (XR<0) then
ws:=LZ/
(Sin(180*pi+bet*pi/180));
if (bet>bet2) and ((zn-(H1-LZ))>0)
and (XR<0) then
ws:=(H1*Cos(alf*pi/180)/
Sin(alf*pi/180)-(H1-zn+0.5*ak)*
Cos(alf*pi/180)/Sin(alf*pi/180))/
(Cos(180*pi+bet*pi/180));
if (bet>bet2) and ((zn-(H1-LZ))<0)
and (XR<0) then ws:=(zn+0.5*ak
)*(Cos(alf*pi/180)/Sin(alf*pi/180));
//Занесение расстояния в таблицу
str(ws:4:2,s); SG1.Cells[4,m]:=s;
end;
//Расчет начальных скоростей по
остаточной энергии в полости.

```

```

begin
NN:=((H1+w)/ak)-1;
if (bet<bet2) and ((zn-(H1-LZ))>0)
then
uun:=Power(4*DL*E1*(NN/
(NN-(xx-1)))/
((LZ+b)*ws*a*ak*GM),1/2);
if (bet<bet2) and ((zn-(H1-LZ))<0)
then
uun:=Power((2*DL*E1*(NN/
(NN-(xx-1)))/(a*ws*ak*GM)),1/2);
if (bet>bet2) then uun:=0;
//Занесение скорости в
таблицу
str(uun:4:2,s); SG1.Cells[7,m]:=s;
end;
//Определение номеров ряда
скважин, столбцов и рядов в
столбцах
xx:=i; yy:=j; zz:=k;
//Занесение номеров скважин,
столбцов и рядов в таблицу
str(zz:1:0,s); SG1.
Cells[10,m]:=s;
str(yy:1:0,s); SG1.Cells[9,m]:=s;
str(xx:4:0,s); SG1.Cells[8,m]:=s;
end;
end;
//Второй цикл
if m>(NS1*NR*NSR1*1) then
i:=1; j:=1; k:=1;
begin
for i:=1 to NS12 do
for j:=1 to NR do //
Диапазоны циклов
for k:=1 to NSR12 do
begin
x:=1*i; y:=1*j; z:=1*k; //
Шаги циклов //Получение
рассчитанных цифр и
занесение их в таблицу
zn:=H1+H2-z+0.5*ak; //
Высотная отметка куска
m:=(NSR1*NR*NS1)+NR*NSR12*
(i-1)+NSR12*(j-1)+k; //номера строк
в таблице

```

```

str(zn:4:2,s); SG1.Cells[1,m]:=s; //
Занесение высотной отметки в
таблицу//Расчет координаты куска в
неподвижной системе координат
    if (y<NR) and
(z<=(NSR12-NSR1)) then
xz:=OT+(NS12+NS2)*w-(x-1)*w-(y-
1)*ak-
    (zn-H1)*(Cos(alf*pi/180))/
(Sin(alf*pi/180))-0.5*ak;
    if (y=NR) and (zn>H1+H2-
LZ) and (z<=(NSR12-NSR1)) then
xz:=OT+(NS12+NS2)*w-(x-1)*w-(y-
1)*ak-
    (zn-H1)*(Cos(alf*pi/180))/
(Sin(alf*pi/180))-0.5*ak;
    if (y=NR) and (zn>H1) and
(zn<H1+H2-LZ) and (z<=(NSR12-
NSR1)) then
xz:=OT+(NS12+NS2)*w-(x-1)*w-(y-
1)*ak-
    (zn-H1)*(Cos(alf*pi/180))/
(Sin(alf*pi/180))-ak;
//Занесение координаты в
таблицу
    str(xz:4:2,s); SG1.Cells[2,m]:=s;
    XR:=xz-(OT+(NS12+NS2-x)*w);
//Расстояние от скважины.
//Расчет углов вылета кусков при
четырёх разных условиях, в градусах
    bet:=Arctan((((zn-H1)-(H2-LZ))/
(w-(OT+(NS12+NS2)*w-(w*(x-1))-
XZ)))));
    if (bet>0) and (((zn-H1)-(H2-
LZ))>0) then
        bet:=bet;
    if (bet<0) and (((zn-H1)-(H2-
LZ))>0) then
        bet:=Pi+bet; bet:=bet*180/
pi;
    if (XR>0) and (((zn-H1)-(H2-
LZ))<0) then
        bet:=0;
    if (XR<0) and ((zn-(H1+H2-
LZ))<0) then
        bet:=180;

```

```

//Занесение углов в таблицу
    str(bet:3:0,s); SG1.Cells[3,m]:=s;
//Расчет расстояний до края
зоны при шести разных условиях
begin
    if (bet>bet1) and (bet<90) and ((zn-
H1-(H2-LZ))>0) and (XR>0) then
        ws:=LZ/(Sin(bet*pi/180));
    if (bet<bet1) and (zn>(H1+H2-LZ))
and (XR>0) then
        ws:=(w-(zn-
H1+0.5*ak)*Cos(alf*pi/180)/
Sin(alf*pi/180))/Cos(bet*pi/180);
    if (bet<bet1) and (zn<(H1+H2-LZ))
and (zn>15) and (XR>0) then
        ws:=w-(zn-
H1+0.5*ak)*Cos(alf*pi/180)/
Sin(alf*pi/180));
    if (bet<bet2) and (bet>90) and ((zn-
H1-(H2-LZ))<0) and (XR>0) then
        ws:=w-(zn-
H1+0.5*ak)*Cos(alf*pi/180)/
Sin(alf*pi/180));
    if (bet<bet2) and (bet>90) and ((zn-
H1-(H2-LZ))>0) and (XR<0) then
        ws:=LZ/
(Sin(180*pi+bet*pi/180));
    if (bet>bet2) and (zn>(H1+H2-LZ))
and (XR<0) then
        ws:=(H2*Cos(alf*pi/180)/
Sin(alf*pi/180)-(H1+H2-zn+0.5*ak)*
Cos(alf*pi/180)/Sin(alf*pi/180))/
(Cos(180*pi+bet*pi/180));
    if (bet>bet2) and (zn<(H1+H2-LZ))
and (zn>H1) and (XR<0) then
        ws:=(zn-
H1+0.5*ak)*Cos(alf*pi/180)/
Sin(alf*pi/180));
    str(ws:4:2,s); SG1.Cells[4,m]:=s; //
Занесение расстояния в таблицу
end;
//Расчет начальных скоростей по
остаточной энергии в полости
begin
    NN:=((H1+H2+w)/ak)-
1;

```



```

    if (bet<bet2) and ((zn-(H1+H2-
LZ))>0) then
        uun:=Power(4*DL*E1*(NN/
(NN-(xx-1)))/
((LZ+b)*ws*a*ak*GM),1/2);
        if (bet<bet2) and ((zn-(H1+H2-
LZ))<0) then
            uun:=Power((2*DL*E1*(NN/
(NN-(xx-1)))/(a*ws*ak*GM)),1/2);
            if (bet>bet2) then uun:=0;
            str(uun:4:2,s); SG1.Cells[7,m]:=s;
//Занесение скорости в таблицу
end;
//Определение номеров ряда
скважин, столбцов и рядов в
столбцах
    xx:=NS1+i; yy:=j; zz:=k;
//Занесение номеров скважин,
столбцов и рядов в таблицу
    str(zz:1:0,s); SG1.
Cells[10,m]:=s;
    str(yy:1:0,s); SG1.Cells[9,m]:=s;
    str(xx:4:0,s); SG1.Cells[8,m]:=s;
end;
//Третий цикл
    if m>(NS1*NR*NSR1+NS2
*NR*NSR12) then
        i:=1; j:=1; k:=1;
begin
    for i:=1 to NS2 do
    for j:=1 to NR do //
Диапазоны циклов
        for k:=1 to NSR2 do
            begin
                x:=1*i; y:=1*j; z:=1*k; //
Шаги циклов
                //Получение рассчитанных
цифр и занесение их таблицу
                zn:=H1+H2-z+0.5*ak; //Высотная
отметка куска номера строк в таблице
                m:=(NSR1*NR*NS1)+(NSR12*NR*N
S2)+NR*NSR2*(i-1)+NSR2*(j-1)+k;
                str(zn:4:2,s); SG1.Cells[1,m]:=s; //
Занесение высотной отметки в
таблицу
                //Расчет координаты куска в
неподвижной системе координат

```

```

        if (y<NR) and
(z<=NSR2) then
            xz:=OT+(NS2)*w-(x-1)*w-(y-1)*ak-
            (zn-H1)*(Cos(alf*pi/180))/
            (Sin(alf*pi/180))-0.5*ak;
            if (y=NR) and (zn>H1+H2-
LZ) and (z<=NSR2) then
                xz:=OT+(NS2)*w-(x-1)*w-(y-1)*ak-
                (zn-H1)*(Cos(alf*pi/180))/
                (Sin(alf*pi/180))-0.5*ak;
                if (y=NR) and (zn>H1) and
(zn<H1+H2-LZ) and (z<=NSR2) then
                    xz:=OT+(NS2)*w-(x-1)*w-(y-1)*ak-
                    (zn-H1)*(Cos(alf*pi/180))/
                    (Sin(alf*pi/180))-ak;
                    str(xz:4:2,s); SG1.Cells[2,m]:=s; //
Занесение координаты в таблицу
                    XR:=xz-(OT+(NS2-x)*w); //
Расстояние от скважины.
                    //Расчет углов вылета кусков при
четырёх разных условиях, в градусах
                    bet:=Arctan((((zn-H1)-(H2-LZ))/
(w-(OT+(NS2)*w-(w*(x-1)-XZ)))));
                    if (bet>0) and (((zn-H1)-(H2-LZ))>0)
then bet:=bet;
                    if (bet<0) and (((zn-H1)-(H2-LZ))>0)
then bet:=Pi+bet; bet:=bet*180/pi;
                    if (XR>0) and (((zn-H1)-(H2-LZ))<0)
then bet:=0;
                    if (XR<0) and ((zn-(H1+H2-LZ))<0)
then bet:=180;
                    str(bet:3:0,s); SG1.Cells[3,m]:=s; //
Занесение углов в таблицу
                    //Расчет расстояний до края
зоны при шести разных условиях
                    begin
                        if (bet>bet1) and (bet<90) and ((zn-
H1-(H2-LZ))>0) and (XR>0) then
                            ws:=LZ/(Sin(bet*pi/180));
                        if (bet<bet1) and (zn>(H1+H2-LZ))
and (XR>0) then
                            ws:=(w-(zn-
H1+0.5*ak)*Cos(alf*pi/180)/
Sin(alf*pi/180))/Cos(bet*pi/180);
                        if (bet<bet1) and (zn<(H1+H2-LZ))
and (zn>15) and (XR>0) then

```

```

ws:=w-(zn-
H1+0.5*ak)*(Cos(alf*pi/180)/
Sin(alf*pi/180)
if (bet<bet2) and (bet>90) and ((zn-
H1-(H2-LZ))<0) and (XR>0) then
ws:=w-(zn-
H1+0.5*ak)*(Cos(alf*pi/180)/
Sin(alf*pi/180)
if (bet<bet2) and (bet>90) and ((zn-
H1-(H2-LZ))>0) and (XR<0) then
ws:=LZ/
(Sin(180*pi+bet*pi/180));
if (bet>bet2) and (zn>(H1+H2-LZ))
and (XR<0) then
ws:=(H2*Cos(alf*pi/180)/
Sin(alf*pi/180)-(H1+H2-zn+0.5*ak)*
Cos(alf*pi/180)/Sin(alf*pi/180))/
(Cos(180*pi+bet*pi/180));
if (bet>bet2) and (zn<(H1+H2-LZ))
and (zn>H1) and (XR<0) then
ws:=(zn-
H1+0.5*ak)*(Cos(alf*pi/180)/
Sin(alf*pi/180)
str(ws:4:2,s); SG1.Cells[4,m]:=s;
end;
//Расчет начальных скоростей по
остаточной энергии в полости.
begin
NN:=((H2+w)/ak)-1;
if (bet<bet2) and ((zn-(H1+H2-LZ))>0)
then
uun:=Power(4*DL*E1*(NN/
(NN-(xx-(NS1+NS12)-1)))/
((LZ+b)*ws*a*ak*GM),1/2);
if (bet<bet2) and ((zn-(H1+H2-LZ))<0)
then
uun:=Power((2*DL*E1*(NN/
(NN-(xx-(NS1+NS12)-1)))/
(a*ws*ak*GM)),1/2);
if (bet>bet2) then uun:=0;
str(uun:4:2,s); SG1.Cells[7,m]:=s; //
Занесение скорости в таблицу
end;

```

```

//Определение номеров ряда
скважин, столбцов и рядов в
столбцах
xx:=NS1+NS12+i; yy:=j; zz:=k;
//Занесение номеров скважин,
столбцов и рядов в таблицу
str(zz:1:0,s); SG1.
Cells[10,m]:=s;
str(yy:1:0,s); SG1.Cells[9,m]:=s;
str(xx:4:0,s); SG1.Cells[8,m]:=s;
end;
end;
end;
end;
end;
procedure TForm2.N1Click(Sender:
TObject);
var
i,j,k,x,y,nW,nH: integer; s: string;
begin
printer.BeginDoc;
nW:=600;
nH:=800;
k:=0;
for i:=0 to 180 do
begin
for j:=0 to 9 do
begin
s:=SG1.Cells[j,i];
x:=150*j;
y:=50*i;
printer.Canvas.TextOut(x,y,s);
// end;
// k:=k+1;
if k>66 then
begin
k:=0;
printer.NewPage;
printer.EndDoc;
end;
end;
end;
end;
end;
en

```

Список литературы

1. Агошков М.И., Малахов Г.М. Подземная разработка рудных месторождений [Текст] / Агошков М.И., Малахов Г.М. – Москва: Недра, 1966. – 663 с.
2. Адушкин В.В., Спивак А.А. Геомеханика крупномасштабных взрывов [Текст] / Адушкин В.В., Спивак А.А. – Москва: Недра, 1993. – 319 с.
3. Адушкин В.В. Модельные исследования разрушения горных пород взрывом [Текст] / Адушкин В.В. // Физические проблемы взрывного разрушения горных пород. – Москва, 1999. – С. 18–29.
4. Аммерал Л. Принципы программирования в машинной графике [Текст] / Аммерал Л.; пер. с англ. – Москва: Сол Систем, 1992. – 223 с.
5. Бронников Д.М. Выбор параметров взрывных скважин при подземной отбойке руд [Текст] / Бронников Д.М. – Москва: Госгортехиздат, 1961. – 110 с.
6. Баум Ф.А., Станюкович К.П., Шехтер Б.И. Физика взрыва [Текст] / Баум Ф.А., Станюкович К.П., Шехтер Б.И. – Москва: Физматгиз, 1959. – 792 с.
7. Баум Ф.А. О научных исследованиях в области действия взрыва и влияния физико-механических свойств горных пород на эффективность взрыва [Текст] / Баум Ф.А. // Вопросы теории действия взрыва в горной породе. – Москва, 1962.
8. Баренблатт Г.И. Математическая теория равновесных трещин, образующихся при хрупком разрушении [Текст] / Баренблатт Г.И. // Прикладная механика и теоретическая физика (ПМТФ). – 1961. – №4. – С. 3–56.
9. Башкуев А.М., Бейсебаев В.Ф. Богацкий и др. Проектирование взрывных работ в промышленности [Текст] / Э.Б. Башкуев А.М., Бейсебаев В.Ф., Богацкий и др. – Москва: Недра. – 1983, 359 с.
10. Белин В.А., Крюков Г.М., Вавер П.А., Жаворонко С.Н. Оценка параметров взрывного дробления горных пород на карьерах [Текст] / Белин В.А., Крюков Г.М., Вавер П.А., Жаворонко С.Н. // Взрывное дело. – 2009. – № 102/59. – С. 69–80.
11. Безматерных В.А., Симанов В.Г., Сисин А.Г. и др. Учет естественной трещиноватости взрываемого массива при расчете гранулометрического состава [Текст] / Безматерных В.А., Симанов В.Г., Сисин А.Г. и др. // Известия вузов. Горный журнал. – 1971. – № 9. – С. 83–87.
12. Викторов С.Д., Казаков Н.Н., Закалинский В.М. Анализ методов управления процессом разрушения горных пород взрывом [Текст] / Викторов С.Д., Казаков Н.Н., Закалинский В.М. // Горный журнал. – 1995. – № 7. – С. 46–47.
13. Викторов С.Д., Казаков Н.Н. Параметры волны в зоне дробления породы взрывом [Текст] / Викторов С.Д., Казаков Н.Н. // Вісник Кременчучького Державного Політехнічного Університету «Наукові праці Кременчучького державного політехнічного університету». – 2005. – Випуск 5. – С. 141–144.
14. Викторов С.Д., Казаков Н.Н., Шляпин А.В. О цилиндрической волновой фазе в средней зоне [Текст] / Викторов С.Д., Казаков Н.Н., Шляпин А.В. // Современные инновационные технологии в горном деле и при первичной переработке минерального сырья: международная конференция. – Москва, 2018. – С. 125–132.
15. Викторов С.Д., Казаков Н.Н., Шляпин А.В. Проходка горных выработок вблизи охранных целиков [Текст] / Викторов С.Д., Казаков Н.Н., Шляпин А.В. // Опыт и практические шаги по восстановлению горнодобывающего предприятия после аварии: сб. трудов международной конференции. – Москва, 2018. – С. 25–32.
16. Викторов С.Д., Казаков Н.Н., Шляпин А.В., Добрынин И.А. Определение грансостава по фотопланограммам с использованием компьютерной программы [Текст] / Викторов С.Д., Казаков Н.Н., Шляпин А.В., Добрынин И.А. // Горный информационно-аналитический бюллетень «Взрывное дело». – 2007. – ОВ № 8 – 296 с.

17. Викторов С.Д., Иофис М.А., Гончаров С.А. Сдвигение и разрушение горных пород [Текст] / Викторов С.Д., Иофис М.А., Гончаров С.А. – Москва: Наука, 2005. – 277 с.

18. Виноградов Ю.И., Хохлов С.В. Зависимость распределения гранулометрического состава взорванной горной массы от диаметра заряда [Текст] / Виноградов Ю.И., Хохлов С.В. // Взрывное дело. – 1998. – № 91/48 – С. 65–74.

19. Вяткин Н.Л., Закалинский В.М., Казаков Н.Н. Зоны нерегулируемого дробления породы взрывом при подземной разработке мощных рудных месторождений [Текст] / Вяткин Н.Л., Закалинский В.М., Казаков Н.Н. // Взрывное дело. – 1998. – № 91/48 – С. 22–25.

20. Вайсберг Л.А., Баранов В.Ф., Биленко Л.Ф., Дьячкова Т.Ф. Современное состояние и перспективы развития процессов дробления и измельчения минерального сырья [Текст] / Вайсберг Л.А., Баранов В.Ф., Биленко Л.Ф., Дьячкова Т.Ф. // Материалы 4 Международной научной школы молодых учёных и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых». – Москва, 2007. – С. 259–269.

21. Горбонос М.Г. Расчет параметров буровзрывных работ при отбойке горных пород на карьерах [Текст] / Горбонос М.Г. – Москва: МГГУ, 2005. – 74 с.

22. Голик В.И. Разработка месторождений полезных ископаемых [Текст] / Голик В.И. – Владикавказ: МАВР, 2006. – 976 с.

23. Ермолаев А.И. Разработка способов предупреждения обратных выбросов горной массы при взрывном дроблении крупноблочных пород в зажатой среде [Текст] / Ермолаев А.И.: Дис канд. техн. наук. – Свердловск: ИГД МЧМ СССР, 1987. – 112 с.

24. Ефремов Э.И. Подготовка горной массы на карьерах [Текст] / Ефремов Э.И. – Москва: Недра, 1980. – 271 с.

25. Ефремов Э.И., Петренко В.Д. Управление взрывным дроблением и перемещением горных пород в условиях глубоких карьеров Кривбасса [Текст] / Ефремов Э.И., Петренко В.Д. // Горный журнал. – 1988. – №11. – С. 27–28.

26. Ильин В.И., Козлов А.Д. Определение скорости отрыва кусков породы с поверхности откоса уступа аналитическим методом [Текст] / Ильин В.И., Козлов А.Д. // Взрывное дело. – 1974. – № 73/30. – С.95–98.

27. Демидюк Г.П., Бугайский А.Н. Средства механизации и технология взрывных работ с применением гранулированных взрывчатых веществ [Текст] / Демидюк Г.П., Бугайский А.Н. – Москва: Недра, 1975. – 312 с.

28. Державец А.С., Работинский Н.И., Адушкин В.В. Состояние, перспективы и экспертная оценка оптимальных объемов возможного использования промышленных взрывчатых веществ в России [Текст] / Державец А.С., Работинский Н.И., Адушкин В.В. // Сб. трудов Второй международной научной конференции. «Физические проблемы разрушения горных пород». Часть 1. – Санкт-Петербург, 2000. – С. 39–45.

29. Добрынин А.А., Додух В.Г., Добрынин И.А. Измерение скорости детонации гранипоров БП-1 и ФМ в скважинных зарядах при проведении массовых взрывов [Текст] / Добрынин А.А., Додух В.Г., Добрынин И.А. // Сб. докладов VI Международной научно-технической конференции «Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов» – Москва, 2005. – С. 284–290.

30. Добрынин И.А. Методика измерения скорости детонации ПВВ в скважинных зарядах с применением современных датчиков [Текст] / Добрынин И.А. // Взрывное дело. – 2007. – № ОВ8 – С. 27–33.

31. Друкованный М.Ф., Комир В.М., Кузнецов В.М. Действие взрыва в горных породах [Текст] / Друкованный М.Ф., Комир В.М., Кузнецов В.М. – Киев: Наука, 1973. – 184 с.

32. Жученко Е.И., Елизов О.Н. Современные взрывчатые вещества и технологии их применения [Текст] / Жученко Е.И., Елизов О.Н. // Сб. трудов Четвертой международной научной конференции. Физические проблемы разрушения горных пород. – Москва, 2005. – С. 36–41.
33. Замесов Н.Ф., Айбиндер И.И. Технология подземной разработки месторождений на больших глубинах [Текст] / Замесов Н.Ф., Айбиндер И.И. – Москва: ИПКОН АН СССР. – 1986. – 107 с.
34. Зельдович Я.Б. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений [Текст] / Зельдович Я.Б. – Москва: Наука, 1966. – 686 с.
35. Казаков Н.Н. Взрывная отбойка руд скважинными зарядами [Текст] / Казаков Н.Н. – Москва: Недра, 1975. – 185 с.
36. Казаков Н.Н. Научные основы повышения эффективности и качества дробления горной массы на карьерах [Текст] / Казаков Н.Н. // Дисс. докт. техн. наук. рукописный.
37. Казаков Н.Н. Гипотеза многоуровневого дробления породы взрывом [Текст] / Казаков Н.Н. // Взрывное дело. – 2010. – № 103/60. – С.30–38.
38. Казаков Н.Н., Копылов С.В. Изменение максимальной массовой скорости волны напряжений [Текст] / Казаков Н.Н., Копылов С.В. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – №1. – С 94–96.
39. Казаков Н.Н., Копылов С.В. Форма волны в породе при взрыве [Текст] / Казаков Н.Н., Копылов С.В. // Энергетический принцип расчета параметров БВР и некоторые параметры волн в карьерах: Сборник статей Горного информационно-аналитического бюллетеня. – 2003. – №2. – С. 28.
40. Казаков Н.Н., Копылов С.В. Уравнение формы волны в породе при взрыве [Текст] / Казаков Н.Н., Копылов С.В. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2003. – № 10. – С 39–40.
41. Казаков Н.Н., Копылов С.В. Параметры цилиндрической волны в зоне технологического дробления породы взрывом [Текст] / Казаков Н.Н., Копылов С.В. // Физические проблемы разрушения горных пород: Сборник трудов Четвертой междунар. науч. конф. – Москва, 2004.
42. Казаков Н.Н. Вторая стадия безволнового расширения полости скважинного заряда [Текст] / Казаков Н.Н. // Взрывное дело. – 2002.
43. Казаков Н.Н. Вторая стадия безволнового расширения полости сосредоточенного заряда ВВ [Текст] / Казаков Н.Н. // Физические проблемы разрушения горных пород: Труды II Международной научной конференции. Часть 1. – Санкт-Петербург, 2001. – С. 127–131.
44. Казаков Н.Н., Копылов С.В. Изменение максимальной массовой скорости волны напряжений [Текст] / Казаков Н.Н., Копылов С.В. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – № 1. – С. 94–96.
45. Казаков Н.Н., Копылов С.В. Комплекс компьютерных программ для определения формы и параметров развала [Текст] / Казаков Н.Н., Копылов С.В. // Взрывное дело: Сб. научных трудов Горного информационно-аналитического бюллетеня. – 2007. – Особый Выпуск № 7. – С. 41–44.
46. Казаков Н.Н., Шляпин А.В. О распределении энергии взрыва в породе [Текст] / Казаков Н.Н., Шляпин А.В. // Взрывное дело: Сб. научных трудов Горного информационно-аналитического бюллетеня. – 2007. – Особый Выпуск № 7. – С. 234–237.
47. Викторов С.Д., Казаков Н.Н., Шляпин А.В. Разрушающее действие цилиндрической волны в средней зоне [Текст] / Викторов С.Д., Казаков Н.Н., Шляпин А.В. // Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения недр. – Москва, 2018. – С 9–13.

48. Казаков Н.Н., Шляпин А.В. Полость к началу выброса продуктов детонации в атмосферу [Текст] / Казаков Н.Н., Шляпин А.В. // Физические проблемы разрушения горных пород. – Санкт-Петербург, 2007. – С. 189–191

49. Казаков Н.Н., Шляпин А.В. Особенности расчета энергии квазистатической фазы взрыва [Текст] / Казаков Н.Н., Шляпин А.В. // Взрывное дело: Сб. научных трудов Горного информационно-аналитического бюллетеня. – 2007. – Особый Выпуск № 7. – С. 262–265.

50. Казаков Н.Н. Некоторые параметры волн напряжений при технологических взрывах [Текст] / Казаков Н.Н. // Взрывное дело: Сб. научных трудов Горного информационно-аналитического бюллетеня. – 2007. – Особый Выпуск № 5. – С. 201–207.

51. Казаков Н.Н., Шляпин А.В. Определение тензорного напряжено-деформированного состояния горных пород при взрыве скважинного заряда [Текст] / Казаков Н.Н., Шляпин А.В. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – Отдельный выпуск № 1. – С. 112–127.

52. Казаков Н.Н., Шляпин А.В. Распределение энергии скважинного заряда по фазам зонам и видам затрат к концу развития камуфлетной фазы [Текст] / Казаков Н.Н., Шляпин А.В. // Взрывное дело. – 2018. – № 119/76. – С. 20–36.

53. Казаков Н.Н., Шляпин А.В. Зависимость энергии цилиндрической волны напряжений от крепости горных пород [Текст] / Казаков Н.Н., Шляпин А.В. // Взрывное дело. – 2018. – № 120/77 – С. 28–38.

54. Казаков Н.Н. Разрушение и дробление горных пород в карьерах [Текст] / Казаков Н.Н. // Взрывное дело. – 2018. – № 119/76 – С. 5–20.

55. Казаков Н.Н., Шляпин А.В. Зависимость параметров волны напряжений от крепости породы [Текст] / Казаков Н.Н., Шляпин А.В. // Взрывное дело. – 2018. – № 120/77 – С. 14–27.

56. Казаков Н.Н., Шляпин А.В. Параметры развития камуфлетной фазы взрыва скважинного заряда при дроблении горных пород в карьере [Текст] / Казаков Н.Н., Шляпин А.В. // Инженерная физика. – 2018. – № 5. – С. 113–116.

57. Казаков Н.Н., Шляпин А.В. Определение фактического грансостава раздробленной взрывом горной массы [Текст] / Казаков Н.Н., Шляпин А.В. // Инженерная физика. – 2018. – № 5. – С. 117–123.

58. Казаков Н.Н., Шляпин А.В. Энергетические параметры волн напряжений при взрыве скважинных зарядов промышленных взрывчатых веществ в карьере [Текст] / Казаков Н.Н., Шляпин А.В. // Инженерная физика. – 2018. – № 5. – С. 65–69.

59. Калашников А.Т., Борзенков Л.А. Опыт применения программ математического моделирования взрывного разрушения ИВС [Текст] / Калашников А.Т., Борзенков Л.А. // Горный журнал. – 1986. – №10. – С. 34–36.

60. Калганов Е.В., Соснин В.А. Анализ работы отечественных и зарубежных установок по производству эмульсионных ПВВ [Текст] / Калганов Е.В., Соснин В.А. // Физические проблемы разрушения горных пород: Сб. трудов Четвертой международной научной конференции. – Москва, 2005. – С. 63–67.

61. Козырев С.А., Власова Е.А., Соколов А.В. Оценка взрывчатых характеристик современных промышленных ВВ [Текст] / Козырев С.А., Власова Е.А., Соколов А.В. // Записки Горного института. Физические проблемы разрушения горных пород. – 2007. – т. 171 – С. 195–203.

62. Кузнецов В.А. Методика натурно-статистической точечной оценки гранулометрического состава горной массы [Текст] / Кузнецов В.А. // Взрывное дело. – 1984. – № 86/43. – С. 211–216.

63. Кукиб Б.Н., Иоффе В.Б., Жученко Е.И., Фролов А.Б. Влияние типа АС на детонационную способность и работоспособность эмульсанов [Текст] / Кукиб Б.Н.,

Иоффе В.Б., Жученко Е.И., Фролов А.Б. // Взрывное дело. – 2007. – № ОВ5 – С. 303–308.

64. Калашников А.Г., Кутузов Б.Н. Экономические и технические аспекты применения взрывных технологий на горных предприятиях [Текст] / Калашников А.Г., Кутузов Б.Н. // Горный информационный аналитический бюллетень. – 1997. – № 1. – С. 7–14.

65. Копылов С.В. Экспериментальные методы определения формы и параметров развала [Текст] / Копылов С.В. // Физические проблемы разрушения горных пород: Сб. тр. Четвертой междунар. науч. конф. – Москва, 2004.

66. Копылов С.В., Казаков Н.Н. О компьютерной методике расчета параметров развала при отбойке породы на карьерах [Текст] / Копылов С.В., Казаков Н.Н. // Материалы докладов. – 2005.

67. Копылов С.В. Методика расчета параметров развала породы на карьерах [Текст] / Копылов С.В. // Неделя горняка. – 2004.

68. Копылов С.В., Казаков Н.Н. Максимальная массовая скорость волны напряжений [Текст] / Копылов С.В., Казаков Н.Н. // Энергетический принцип расчета параметров БВР и некоторые параметры волн в карьерах: Сб. статей Горного информационно-аналитического бюллетеня. – 2003. – № 2. – С. 28.

69. Копылов С.В. Влияние линии наименьшего сопротивления на параметры развала [Текст] / Копылов С.В. // VII Международная конференция «Новые идеи в науках о земле». Материалы докладов. – 2005. – Том 3. – С. 90.

70. Копылов С.В. Метод определения параметров развала отбитой горной массы в карьерах [Текст] / Копылов С.В. // Дисс. канд. техн. наук. Рукописный.

71. Копылов С.В., Казаков Н.Н. Уравнение формы волны в породе при взрыве скважинного заряда [Текст] / Копылов С.В., Казаков Н.Н. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2003. – № 10. – С. 39–40.

72. Копылов С.В., Казаков Н.Н. Максимальная массовая скорость волны напряжений [Текст] / Копылов С.В., Казаков Н.Н. // Энергетический принцип расчета параметров БВР и некоторые параметры волн в карьерах: Сб. статей Горного информационно-аналитического бюллетеня. – 2003. – № 2. – С. 15–20.

73. Казаков Н.Н. Развал породы при изменении числа рядов взрывааемых зарядов [Текст] / Казаков Н.Н. // Горный информационно-аналитический бюллетень: Тематическое приложение «Физика горных пород». – 2006. – № 11. – С. 41–46.

74. Крюков Г.М. Физика разрушения горных пород при бурении и взрывании [Текст] / Крюков Г.М. – Москва: МГГУ, 2004.

75. Крюков Г.М. Модель взрывного рыхления горных пород на карьерах. Выход негабарита. Средний размер кусков породы в развале [Текст] / Крюков Г.М. – Москва: МГГУ, 2005. – 30 с.

76. Крюков Г.М., Глазков Ю.В. Феноменологическая квазистатическо-волновая теория деформирования и разрушения материалов взрывом зарядов промышленных ВВ [Текст] / Крюков Г.М., Глазков Ю.В. – Москва: МГГУ, 2003. – 67 с.

77. Крюков Г.М. Физика и моменты разных видов разрушения горной породы при взрыве в ней удлиненного заряда ПВВ [Текст] / Крюков Г.М. – Москва: МГГУ, 2009. – 48 с.

78. Кузнецов В.М. Математические модели взрывного дела [Текст] / Кузнецов В.М. – Новосибирск: Наука, 1977. – 260 с.

79. Кузнецов В.М. О среднем размере кусков, образующихся при дроблении горных пород [Текст] / Кузнецов В.М. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1973. – № 2. – С. 39–43.

80. Кутузов Б.Н. Разрушение горных пород взрывом. Том 1 [Текст] / Кутузов Б.Н. – Москва, 1992. – 516 с.

81. Кутузов Б.Н. Разрушение горных пород взрывом. Том 2 [Текст] / Кутузов Б.Н. – Москва, 1994. – 445 с.
82. Кутузов Б.Н. Система автоматизированного проектирования буровзрывных работ [Текст] / Кутузов Б.Н. // Разрушение горных пород взрывом. – Москва, 1994. – С. 406–445.
83. Кутузов Б.Н., Рубцов В.К. О типах кривых кусковатости взорванной горной массы [Текст] / Кутузов Б.Н., Рубцов В.К. // Взрывное дело. – 1963. – № 53/10. – С. 118–123.
84. Лукичев С.В., Козырев С.А., Фаттахов Э.И. Система автоматизированного проектирования буровзрывных работ на карьере [Текст] / Лукичев С.В., Козырев С.А., Фаттахов Э.И. – Москва, 1997. – С. 58–60.
85. Лукичев С.В., Козырев А.А., Васерман А.Д., Бусырев В.М. Информационные технологии в горном деле [Текст] / Лукичев С.В., Козырев А.А., Васерман А.Д., Бусырев В.М. – Апатиты: КНЦ РАН, 1998. – 173 с.
86. Лукичев С.В., Наговицын О.В., Свинин В.С., Егоров В.Ф. Система автоматизированного планирования и проектирования горных работ GeoTech 3D–Апатит [Текст] / Лукичев С.В., Наговицын О.В., Свинин В.С., Егоров В.Ф. // Горный журнал. – 2000. – № 3. – С. 56–58.
87. Лукичев С.В., Наговицын О.В., Буянова Т.В. Объемно-компонентная основа системы автоматизированного планирования и проектирования горных работ [Текст] / Лукичев С.В., Наговицын О.В., Буянова Т.В. Объемно // Проблемы освоения минерально-сырьевых ресурсов Кольского региона и использование подземного пространства для захоронения отходов. – Апатиты, 1999. – С. 75–83.
88. Лапиков И.Н. Определение качества горной массы раздробленной взрывом скважинных зарядов в карьерах [Текст] / Лапиков И.Н. // Дисс. канд. техн. наук. Рукописный. – Москва, 2011. – 120 с.
89. Лапиков И.Н. Связь энергии дробления с размерами раздробленных взрывом кусков породы [Текст] / Лапиков И.Н. // Взрывное дело. – 2010. – № 103/60. – С.141–145.
90. Лапиков И.Н. Экспериментальное определение грансостава в забое работающего экскаватора [Текст] / Лапиков И.Н. // Проблема освоения недр в XXI века глазами молодых: Материалы 5-й Международной научной школы молодых ученых и специалистов. – Москва, 2008. – С.87–91.
91. Лапиков И.Н., Казаков Н.Н. О форме кусков раздробленной взрывом породы [Текст] / Лапиков И.Н., Казаков Н.Н. // Взрывное дело. – 2009. – № 101/58. – С.57–62.
92. Лапиков И.Н., Шляпин А.В. Определение процентного содержания негабаритных отделинностей в зонах нерегулируемого дробления [Текст] / Лапиков И.Н., Шляпин А.В. // Проблема освоения недр в XXI века глазами молодых: Материалы 5-й Международной научной школы молодых ученых и специалистов. – Москва, 2008. – С.67–68.
93. Ломоносов Г.Г. Технология разработки горных пород на карьерах [Текст] / Ломоносов Г.Г. – Млсква: МГИ, 1971. – 209 с.
94. Мельников Н.В. Буровзрывные работы в народном хозяйстве [Текст] / Мельников Н.В. – Москва: Недра, 1974.
95. Мельников Н.В., Марченко Л.Н. Энергия взрыва и конструкция заряда [Текст] / Мельников Н.В., Марченко Л.Н. – Москва: Наука, 1964.
96. Мельников Н.В., Ржевский В.В., Протодяконов М.М. Справочник (кадастр) физических свойств горных пород [Текст] / Мельников Н.В., Ржевский В.В., Протодяконов М.М. – Москва: Недра, 1975. – 279 с.
97. Мосинец В.Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва [Текст] / Мосинец В.Н. – Москва: Недра, 1976. – 271 с.

98. Маслов И.Ю., Сивенков В.И., Ненахов И.А. Определение фактических детонационных и энергетических характеристик ЭВВ порэмит 1А в удлинённых и сосредоточенных зарядах [Текст] / Маслов И.Ю., Сивенков В.И., Ненахов И.А. // Сб. трудов Четвёртой межд. науч. конференции. – Москва: 2004. – С. 333–336.
99. Маторин А.С., Котяшов А.А., Куркин Ю.В., Шеменёв В.Г. Определение основных характеристик водосодержащих ВВ на основе обратных эмульсий [Текст] / Маторин А.С., Котяшов А.А., Куркин Ю.В., Шеменёв В.Г. // Взрывное дело. – 2007. – № Особый Выпуск 5. – С. 293–302.
100. Медведев Г.Н., Закалинский В.М. Оценка относительной эффективности грубодисперсных в водосодержащих ВВ [Текст] / Медведев Г.Н., Закалинский В.М. // Взрывное дело. – 1976. – № 77/34. – С. 87–91.
101. Мохначев М.П., Присташ В.В. Динамическая прочность горных пород [Текст] / Мохначев М.П., Присташ В.В. – Москва: Наука, 1982. – 141 с.
102. Напряжённое состояние массивов горных пород и процессы взрывного разрушения взрывов [Текст] / ред. Бронников Д.М. – Москва: ИПКОН АН СССР. 1985. – 229 с.
103. Основные направления развития открыто-подземного способа разработки месторождений [Текст] / ред. Бронников Д.М. – Москва: ИПКОН АН СССР. 1987. – 130 с.
104. Орленко Л.П. Физика взрыва [Текст] / Орленко Л.П. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 704 с.
105. Парамонов Г.П., Менжулин М.Г., Хохлов С.В. Модели формирования granulометрического состава разрушенной горной массы в различных зонах взрывного разрушения [Текст] / Парамонов Г.П., Менжулин М.Г., Хохлов С.В. // Взрывное дело. – 2001. – № 93/50. – С. 99–106.
106. Покровский Г.И. Предпосылки теории дробления пород взрывом [Текст] / Покровский Г.И. // Вопросы теории разрушения горных пород действием взрыва. – Москва, 1958. – С. 140–149.
107. Петренко А.И. Основы автоматизации проектирования [Текст] / Петренко А.И. – Киев.: Техника, 1982. – с. 12.
108. Программное обеспечение ЭВМ для прогнозирования качества дробления [Текст] // Mining J. – 1986. – vol. 307, № 7189. – с. 320.
109. Пучков Я.М. Исследование ширины развала взорванной горной массы на карьерах Урала [Текст] / Пучков Я.М. // Труды ИГД МЧМ СССР. – Свердловск, 1977. – Вып. 52. – С. 46–48.
110. Пучков Я.М., Хорошев В.И., Рождественский В.Н. К вопросу о методике фиксирования максимальной дальности разлета кусков породы при взрыве [Текст] / Пучков Я.М., Хорошев В.И., Рождественский В.Н. // Взрывное дело. – 1971. – № 70/27. – С. 90–95.
111. Пшеничный А.Я. Оптимизация параметров БВР на ЭВМ. Разработка и применение систем автоматизированного проектирования и АСУ горного производства [Текст] / Пшеничный А.Я. // Тезисы докладов ВНТС, часть 1. – Алма-Ата, 1987. – С.33–35.
112. Подозерский Д.С., Едигарев С.А., Власова Е.А. и др. Метод определения скорости детонации и газовой вредности промышленных взрывчатых веществ [Текст] / Подозерский Д.С., Едигарев С.А., Власова Е.А. и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2003. – № 9. – С. 63–66.
113. Подозерский Д.С., Едигарев С.А., Власова Е.А. Исследование взрывчатых характеристик водосодержащих взрывчатых веществ с пониженным содержанием тротила [Текст] / Подозерский Д.С., Едигарев С.А., Власова Е.А. // Физические проблемы разрушения горных пород: Сб. тр. II межд. науч. конф. /// Записки Горного института, Часть I – 2006. – Т. 148 (1). – С. 205–207.

114. Ракишев Б.Р. Прогнозирование технологических параметров взорванных пород на карьерах [Текст] / Ракишев Б.Р. – Алма-Ата: Наука, 1983. – 239 с.
115. Раснер Н.Я., Шварцер В.Я. Прогнозирование ширины развала на карьерах [Текст] / Раснер Н.Я., Шварцер В.Я. // Горный журнал. – 1978. – №12. – С. 41–44.
116. Ржевский В.В. Основы физики горных пород [Текст] / Ржевский В.В. – Москва: Недра, 1984.
117. Ржевский В.В. Процессы открытых горных работ на карьерах [Текст] / Ржевский В.В. – Москва: Недра, 1978. – 543 с.
118. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород [Текст] / Ржевский В.В., Новик Г.Я. – Москва: Недра, 1984. – С. 218–230.
119. Родионов В.Н., Адушкин В.В., Костюченко В.Н. Механический эффект подземного взрыва [Текст] / Родионов В.Н., Адушкин В.В., Костюченко В.Н. – Москва: Недра, 1971.
120. Рождественский В.Н. Влияние числа рядов скважин на ширину развала при многорядном короткозамедленном взрывании [Текст] / Рождественский В.Н. // Труды ИГД МЧМ СССР. – Свердловск, 1990. – Вып. 89. – С. 40–44.
121. Рождественский В.Н. Исследования эффективных способов управления развалом взорванной горной массы на карьерах [Текст] / Рождественский В.Н. // Проблемы горного дела: Сб. научн. тр. – Екатеринбург, 1997. – С. 283–290.
122. Репин Н.Я., Бирюков А.В. О применении вероятностного метода при исследовании кусковатости горных пород [Текст] / Репин Н.Я., Бирюков А.В. // Известия вузов. Горный журнал. – 1972. – № 7. – С. 66–69.
123. Сван Т. Секреты 32-разрядного программирования на Delphi. Диалектика [Текст] / Сван Т. – Москва, 1996. – 510 с.
124. Садовский М.А. Избранные труды. Геофизика и физика взрыва [Текст] / Садовский М.А. – Москва: Наука, 2004. – 440 с.
125. Теория и практика открытых разработок [Текст] / ред. Мельников Н.В. – Москва: Недра, 1973. – 201 с.
126. Трубецкой К.Н. Перспективы применения роботизированной техники на карьерах будущего [Текст] / Трубецкой К.Н. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – Отдельный выпуск 1. – С. 354–363.
127. Трубецкой К.Н. Развитие науки, техники и технологии в области комплексного освоения месторождений при открытом способе [Текст] / Трубецкой К.Н. // Горный журнал. – 2009. – № 11. – С. 4–7.
128. Фокин В.А., Мелик-Гайказов И.В., Тарасов Г.Е., Тогунов М.Б., Данилкин А.А., Шитов Ю.А., Каира В.Е. Особенности производства буровзрывных работ в условиях глубоких карьеров [Текст] / Фокин В.А., Мелик-Гайказов И.В., Тарасов Г.Е., Тогунов М.Б., Данилкин А.А., Шитов Ю.А., Каира В.Е. // Взрывное дело. – 2006. – № 96/53. – С. 42–48.
129. Ханукаев А.Н. Энергия волн напряжений при разрушении пород взрывом [Текст] / Ханукаев А.Н. – Москва: Госгортехиздат, 1962. – 200 с.
130. Чечетин С.Г., Хохолков А.А. Использование компьютерной технологии в горном и взрывном деле [Текст] / Чечетин С.Г., Хохолков А.А. // Горный журнал. – 1999. – № 9–10. – С. 86–90.
131. Черепанов Г.П. Некоторые вопросы разрушения хрупких тел при сжатии [Текст] / Черепанов Г.П. // Проблемы механики горных пород. – Алма-Ата, 1966. – С. 21–126.
132. Черниговский А.А. Внешняя баллистика и дробление породы при взрыве на выброс и сброс [Текст] / Черниговский А.А. // Взрывное дело. – 1973. – № 69/26. – С. 66–78.

133. Шер Е.Н. Динамика развития зон разрушения при взрыве сосредоточенного заряда в хрупкой среде [Текст] / Шер Е.Н. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2000. – № 5. – С. 42–46.
134. Шляпин А.В. Влияние распределения плотности энергии взрыва на эффективность отбойки горных пород (на примере Щуровского карьера) [Текст] / Шляпин А.В. // Дисс. канд. техн. наук. Рукописный.
135. Шляпин А.В. Комплекс компьютерных программ «Энергия» [Текст] / Шляпин А.В. // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых: Материалы 3-й Международной научной школы молодых ученых и специалистов. – Москва, 2006. – С. 99–101.
136. Шляпин А.В. Модель передачи энергии взрыва [Текст] / Шляпин А.В. // V международная научно-практическая конференция «Наука и новейшие технологии при поисках, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых»: Материал доклада. – 2006. – С. 96–98.
137. Шляпин А.В. Определение зон регулируемого и нерегулируемого дробления [Текст] / Шляпин А.В. // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых: Материалы 4-й Международной научной школы молодых ученых и специалистов. – Москва, 2007. – С. 103–105.
138. Шляпин А.В. Модель передачи энергии взрыва в породу [Текст] / Шляпин А.В. // Наука и новейшие технологии при поисках, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых: Материалы V Международной научно-практической конференции. – Москва, 2006. – С. 96–97.
139. Шляпин А.В. Комплекс компьютерных программ «Энергия» [Текст] / Шляпин А.В. // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых: Материалы 3-й Международной научной школы молодых ученых и специалистов. – Москва, 2006. – С. 99–101.
140. Шляпин А.В. Определение зон регулируемого и нерегулируемого дробления [Текст] / Шляпин А.В. // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых: Материалы 4-й Международной научной школы молодых ученых и специалистов. – Москва, 2007. – С. 103–105.
141. Шведов К.К. Об оценке эффективности современных промышленных взрывчатых веществ [Текст] / Шведов К.К. // Горный журнал. – 2006. – № 12. – С. 53–56.
142. Шустерман С.А. Автоматический анализ гранулометрического состава взорванной горной массы по фотографиям [Текст] / Шустерман С.А. // Взрывное дело. – 2007. – № ОВ5. – С. 67–73.
143. Шустерман С.А. Применение методов машинного зрения для гранулометрического анализа горных развалов [Текст] / Шустерман С.А. // Физические проблемы разрушения горных пород: сб. трудов III международной конференции. – Новосибирск. 2003. – С. 123–124.
144. Щукин Ю.Г., Лютиков Г.Г., Поздняков З.Г. Средства инициирования промышленных взрывчатых веществ [Текст] / Щукин Ю.Г., Лютиков Г.Г., Поздняков З.Г. – Москва: Недра, 1996. – 155 с.
145. Cunningham Claude Computer – Aided blast desingn. – 1989, 16, № 9, с. 33, 37–39, 41.
146. Chironis N.P. Computer-Aided Blast Designs Succeed in Surface Mining. // Coal Age. – 1987. – Vol.92. – №9. – P. 70–78.
147. Demand for blasting materials to increase 5.2% in US. / Mining Engineering, 1998, № 9, с. 19.
148. Fiscor Steve. Remember: It is drilling and blasting. /Coal Age, 2000, 105, № 1.

149. Meselinovic V. Компьютерные программы моделирования буровзрывных работ / Zb. Red/Tech. Fak. Inst. Bakor. Bot., 1998, 24, № 1, с. 68–88.
150. The protective effect of slaty cleavage zones on rock displacement. – Proceedings ISRM international symposium «Safety and Environmental Issues in Rock Engineering» (EUROCK'93, Lisboa, Portugal, 1993.06.21–24). – A.A. Balkema-Rotterdam-Brookfield, 1993. – pp.159–163.
151. Modelling to improve blasting. Austral. Mining. /1999, 91, № 4, с. 37.
152. Workman Lyall. The back of the blast. / Pit and Quarry, 1999, 10, с. 48–50.
153. Woof Mike. Going with a bang. / World Miking Eguip, 1999, 23, №
154. Parker J.R. Algorithms for image processing and computer vision. – New York N.Y. USA: John Wiley & Sons, Inc, 1997.
155. Milan Sonka, Vaclav Hlavac Image processing, analysis and machine vision. – CA, USA: Brooks/Cole Publishing company, 1999. 2, с.12,14.
156. *Carlos Lopez Jimeno, Emilio Lopez Jimeno, Francisco Javier Ayala Carcedo* Drilling and Blasting of Rocks – Taylor & Francis, 2017. – 408 p.
157. *Zong-Xian Zhang* Rock Fracture and Blasting Theory and Applications – Butterworth-Heinemann, 2016. – 528 p.
158. *E. Hamdi, J. du Mouza & J.A. Fleurisson* Evaluation of the Part of Blasting Energy Used for Rock Mass Fragmentation, *Fragblast*, 5:3, issue 3, 2001. – P. 180–193
159. Hamdi, E., Mouza, J. d., & Fleurisson, J. A. Evaluation of the part of blasting energy used for rock mass fragmentation. *Fragblast*, 2001. – P. 180–193.
160. *R. Holmberg* Explosives and Blasting Technique. – CRC Press, 2000. – 470 p.
161. A.K. Sirveiya, N.R. Thote Assessing the effect of rock mass properties on rock fragmentation, Measurement and Analysis of Blast Fragmentation – Sanchidrian &Singh (Eds) Taylor & Francis Group, London, 2013. – P.193-144.
162. *Ajoy K. Ghose, Akhilesh Joshi* Blasting in Mining – New Trends. – CRC Press, 2012. – 150 p.
163. *Cunningham, C., Sellers, E., & Szendrei, T.* Cavity expansion energy applied to rock blasting. Vienna Conference Proceedings, European Federation of Explosives Engineers, 2007. – P. 27–38.
164. *Hamdi, E. e.* Fragmentation Energy in Rock Blasting. *Geotech. Geol. Eng.*, 2008. – P. 133–146.
165. *La Rosa, D., & Thornton, D.* Blast Movement Modelling and Measurement. Proceedings 35th APCOM Symposium. Wollongong, NSW: APCOM, 2011. – P. 297–309.
166. *Sanchidrian, J. A., Segarra, P., & Lopez, L. M.* (2007). Energy components in rock blasting. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 44, 2007. – P. 130–147.
167. *Hamdi, E., Bouden Romdhane, N., du Mouza, J. et al.* Fragmentation Energy in Rock Blasting. *Geotechnical and Geological Engineering*, Volume 26, Issue 2, 2008. – P.133–146.

Информация об авторах



Казakov Николай Николаевич, ведущий научный сотрудник ФГБУН Института проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, доктор технических наук, почетный академик Академии горных наук, автор многочисленных работ по проблемам разрушения и технологического дробления горных пород взрывом промышленных зарядов взрывчатых веществ.



Викторов Сергей Дмитриевич, заведующий отделом ФГБУН Института проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, профессор, доктор технических наук, лауреат премии Ленинского комсомола, лауреат Государственной премии СССР, дважды лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, автор многочисленных работ по проблемам разрушения горных пород.



Шляпин Алексей Владимирович, заместитель директора по научной работе, заведующий отделом ФГБУН Института проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, кандидат технических наук, автор научных работ по разрушению и технологическому дроблению горных пород взрывом промышленных зарядов взрывчатых веществ.



Лапиков Иван Николаевич, старший научный сотрудник ФГБУН Института проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, кандидат технических наук, автор научных работ по разрушению и технологическому дроблению горных пород взрывом промышленных зарядов взрывчатых веществ.

ДРОБЛЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД ВЗРЫВОМ В КАРЬЕРАХ

Казаков Н.Н., Викторов С.Д., Шляпин А.В., Лапиков И.Н.

Подписано в печать 16.11.2020. Формат 70х100 1/16.
Гарнитура Times. Печ. л. 32,5.
Тираж 300 экз. Заказ № 5494.

Издатель – Российская академия наук

Оригинал-макет подготовлен
«Буки Веди»

Публикуется в авторской редакции

Отпечатано в «Буки Веди»
117246, г. Москва, проезд Научный, д. 19, этаж 2, ком. 6Д, оф. 202
+7 (495) 926-63-96, www.bukivedi.com, info@bukivedi.com

Издается в соответствии с постановлением Научно-издательского совета
Российской академии наук (НИСО РАН) от 11 февраля 2020 г. № 01
и распространяется бесплатно