Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

УДК 621.527

На правах рукописи

ОРЫНБАЙ АСФАНДИЯР АЙТҚАЗЫҰЛЫ

Разработка инновационных методов автоматизированного определения структурных характеристик взорванных горных пород на основе информационных технологий

6D070700 – Горное дело

Диссертация на соискание степени
доктора философии (PhD)

Научный консультант: академик НАН РК доктор технических наук, профессор Б.Р.Ракишев
Зарубежный научный консультант: доктор технических наук, профессор К. Дребенштед (Германия)

Республика Казахстан
Алматы, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

	НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ	4
	ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	5
	ВВЕДЕНИЕ	6
1.	**СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА КАРЬЕРАХ МИРА**	11
2.	**ПРОГРАММНЫЕ МОДУЛИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЗОРВАННЫХ ГОРНЫХ ПОРОД**	21
2.1	ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ «ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВЗОРВАННОЙ ГОРНОЙ МАССЫ»	21
2.1.1	Аналитический метод определения гранулометрического состава взорванной горной массы	21
2.1.2	Измерение фактического гранулометрического состава взорванных горных пород на карьерах ССГПО	28
2.1.3	Создание и тестирование программных продуктов автоматизированного определения гранулометрического состава взорванной горной массы	36
2.2	ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ «РАЗМЕЩЕНИЕ РАЗНОРОДНЫХ ПОРОД В РАЗВАЛЕ»	58
2.2.1	Установление закономерностей размещения частей взрываемого блока в развале	58
2.2.2	Графо-аналитическое определение зон мелкого, среднего и крупного дробления в развале пород	61
2.2.3	Геометрические характеристики элементов взорванного блока уступа	63
2.2.4	Аналитическое определение положения узловых точек координатной сетки взорванного блока	66
2.2.5	Аналитическое определение внутренних точек координатной сетки взорванного блока массива пород	67
2.2.6	Аналитическое определение размеров зон дробления пород в развале горной массы	70
2.2.7	Программное обеспечение по размещению разнородных пород в развале	73
3	**РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ (ИЭП) ДЛЯ ИМИТАЦИИ, ВИЗУАЛИЗАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЗРЫВОВ И УПРАВЛЕНИЯ ИМИ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ**	76
3.1	ПРОГРАММНЫЕ МОДУЛИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ БВР НА ОТКРЫТЫХ КАРЬЕРАХ	76

3.1.1 Программное обеспечение определения гранулометрического состава естественных отдельностей в массиве пород 76
3.1.2 Примеры использования программы для определения горно-геологических характеристик массивов пород 87
3.1.3 Программное обеспечение определения характеристик пород при взрывной нагрузке 88
3.1.4 Примеры использования программы для определения характеристик пород при взрывной нагрузке 95
3.1.5 Программное обеспечение определения размеров зон интенсивного дробления пород 97
3.1.6 Примеры использования программы для определения размеров зоны интенсивного дробления 103
3.1.7 Программное обеспечение определения параметров расположения зарядов вв в массиве пород при заданном диаметре скважины 106
3.1.8 Примеры использования программы для определения параметров расположения зарядов ВВ 111
3.2 ИНФОРМАЦИОННАЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПЛАТФОРМА (ИЭП) ДЛЯ ИМИТАЦИИ, ВИЗУАЛИЗАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЗРЫВОВ И УПРАВЛЕНИЯ ИМИ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ 115
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 118
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 120
ПРИЛОЖЕНИЕ №1 127
ПРИЛОЖЕНИЕ №2 130

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие стандарты:

1. Закон Республики Казахстан т 27 июля 2007 года «Об Образовании»;
2. Государственный общеобязательный стандарт образования Республики Казахстан послевузовское образование. Докторантура. Основные положения ГОСО РК 5.04.034 –2011
3. ГОСТ 7.1-2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления.
4. ГОСТ 7.9-95 (ИСО 214 -74) Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Реферат и аннотация. Общие требования.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В настоящей диссертации применены следующие термины с соответствующими определениями

БВР – буровзрывные работы

ГПВ – газообразные продукты взрыва

ПВ – продукты взрыва

ИЭП – информационно-экспериментальная платформа

АО «ССГПО» – АО «Соколовско-Сарбайское горно-обогатительное производственное объединение»

ГГИС – горно-геологические информационные системы

САПР – система автоматизированного проектирования

HSBM – Hybrid Stress Blast Model

ВВ – взрывчатое вещество

ЛНС – линия наименьшего сопротивления

КЗВ – короткозамедленное взрывание

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы.

На горнодобывающих предприятиях мира параметры расположения зарядов ВВ во взрываемой части массива принимаются на основе опытных данных и требуют своего экспериментального подтверждения. Подготовка горных пород к выемке взрывным способом нуждается в научном обосновании принимаемых технологических решений. Одним из главных результатов буровзрывных работ на горных предприятиях является структура взорванной горной массы, т.е. гранулометрический состав взорванных пород, размещение зон их дробления, размещение разнородных пород отбиваемого слоя массива в развале пород.

Установление закономерностей формирования структурных характеристик взорванных горных пород на карьерах и их автоматизированное определение является важной и актуальной задачей горной науки и производства.

Решению этой задачи посвящено много научных работ [1-37]. Некоторыми авторами для оценки качества взорванной горной массы используется всем известная модель распределения гранулометрического состава кусков горной породы Kuz-Ram одноименных авторов Кузнецова и Розин-Рамблера [8,13]. Другие авторы [10-12] пытаются дать прогноз грансостава взорванной горной массы на основе использования нейронных сетей. Для определения внутренней структуры развала пород предлагается использование тензорного исчисления [19]. Однако такие попытки не доведены до инженерного расчета, т.к. они не учитывают реальный механизм разрушения горных пород взрывом.

Для решения поставленной задачи в данной работе использована отличная от известных модель разрушения реального массива горных пород, разработанная академиком Б.Р. Ракишевым [5,6], которая базируется на идее академиков М.А. Садовского, Е.И. Шемякина, профессоров Г.И. Покровского, В.Н. Родионова о поэтапном развитии взрыва ВВ (взрывчатого вещества) в твердой среде и эффекте взрыва оцениваемом размером полости [9], образованной взрывом заряда ВВ. Б. Ракишевым установлены закономерности изменения предельного радиуса взрывной полости – фундаментального результата взрыва в твердой среде при взрыве цилиндрических зарядов ВВ в зависимости от физико-механических свойств пород, физико-химических характеристик применяемого взрывчатого вещества и условий взрывания отбиваемого слоя массива пород. Они составляют научную базу для выбора эффективных инновационных технологий взрывных работ на карьерах.

Цель исследования – выявление закономерностей формирования структурных характеристик взорванных горных пород и создание

инновационных методов автоматизированного определения гранулометрического состава взорванных пород, размещения зон их дробления, размещения разнородных пород отбиваемого слоя массива в развале пород.

Идея работы заключается в повышении эффективности массовых взрывов на карьерах с использованием инновационных методов автоматизированного прогнозирования структурных характеристик взорванных горных пород на основе цифровых технологий.

Задачи исследования:

В соответствии с поставленной целью в диссертации сформулированы следующие задачи:

1. Разработка обновленного аналитического метода прогнозирования гранулометрического состава взорванной горной массы, размещения различных зон дробления пород в развале горной массы.
2. Создание новых методов определения узловых и внутренних точек координатной сетки взорванного блока, размещения разнородных пород взорванного слоя уступа в развале горной массы.
3. Разработка информационной экспериментальной платформы (ИЭП) для имитации, визуализации результатов взрывов и управления ими в режиме реального времени.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Формирование гранулометрического состава взорванных горных пород за счет совокупного действия волн напряжений, продуктов детонации взрыва ВВ и соударения крупных кусков при перемещении зависит от различного сочетания физико-механических свойств пород, блочности массива, химико-физических характеристик применяемого ВВ, параметров расположения зарядов в отбиваемом слое массива пород.

2. Размещение разнородных пород уступа в развале горной массы определяется координатами узловых точек взорванного блока уступа и внутренних точек элементов координатной сетки взрываемого и взорванного блоков. Они зависят от коэффициента пропорциональности изменения координат узловых точек и функции перемещения элемента координатной сетки взрываемого и взорванного блоков.

3. Совокупность программных модулей «Гранулометрический состав естественных отдельностей в массиве пород», «Размеры зон интенсивного дробления пород», «Рациональные параметры расположения зарядов в уступе», «Гранулометрический состав взорванной горной массы», «Размещение разнородных пород в развале» представляет собой информационно-экспериментальную платформу (ИЭП) для управления процессом разрушения горных пород действием взрыва на карьерах.

Основные результаты исследования:

1. На основе учета совместного разрушения взрываемого блока уступа за счет действия волн напряжений, действия продуктов детонации и соударения крупных кусков при перемещении установлены закономерности формирования гранулометрического состава взорванных горных пород в зависимости от различного сочетания физико-механических свойств пород, блочности массива, химико-физических характеристик применяемого ВВ, параметров БВР. Создано программное обеспечение для автоматизированного определения гранулометрического состава взорванных пород при различных условиях взрывания.

2. С использованием координатных сеток взрываемого и взорванного блоков уступа установлены закономерности расположения разнородных пород отбиваемого слоя массива в развале и другие геометрические характеристики, определяющие внутреннюю структуру развала пород. Разработан программный модуль для автоматизированного прогнозирования размещения разнородных пород в развале при различных условиях взрывания.

3. Объединением разработанных программных модулей создана информационно-экспериментальная платформа (ИЭП) позволяющая проводить удобный и гибкий расчет парметров БВР, их результатов при различных значениях физико-механических свойств пород и физико-химических характеристиках ВВ, параметров расположения зарядов в массиве пород и условиях ведения взрывных работ.

Объекты исследования или разработки – взрывное разрушение горных пород на карьерах скважинными зарядами.

Предметом исследования являются структурные характеристики взорванных горных пород на карьерах.

Методологическая база научных исследований

При выполнении научных исследований использованы комплексные методы исследований, включающие анализ и обобщение научно-технической информации, теоретические исследования, методы математического моделирования, методы математической статистики для обработки экспериментальных данных и технико-экономического обоснования различных вариантов технологий, корреляционно-регрессионный анализ, а также методы эмпирического и объектно-ориентированного программирования для создания программных модулей.

Новизна темы заключается в разработке инновационной системы автоматизированного прогнозирования результатов БВР на карьерах с использованием установленных новых закономерностей дробления горных пород взрывом цилиндрического заряда взрывчатого вещества в уступе. Принципиальное отличие предложенных методов определения параметров и результатов массовых взрывов на карьерах от известных заключается в том, что в горной науке впервые в качестве определяющего показателя результатов

взрыва ВВ в твердой среде принят предельный радиус взрывной полости, образованной взрывом ВВ в породе. Он удачно взаимоувязывает конечный результат взрыва с физико-механическими свойствами пород, физико-химическими характеристиками применяемого ВВ и создает научную базу для разработки различных программных модулей системы автоматизированного прогнозирования результатов БВР на карьерах.

Практическая значимость работы

С использованием созданной ИЭП определяются технологические характеристики взорванной горной массы, отрисовка развития взрывной полости при взрыве цилиндрического заряда ВВ, положения размеров зон интенсивного дробления при различных условиях взрывания, конфигурации развала взорванной горной массы, ее внутренней структуры с выделением зон дробления. При помощи ИЭП можно производить неограниченное количество виртуальных экспериментов, моделировать различные технологии БВР, визуализировать и прогнозировать их результаты. Грамотно управляя процессом взрывания массивов горных пород, можно достичь необходимых технологических параметров взорванной горной массы на карьерах.

В основе этих процедур лежат апробированные методы устанавления гранулометрического состава естественных отдельностей массива пород (блочность массива пород), прочностных характеристик пород в условиях взрывного нагружения, относительного предельного радиуса взрывной полости, радиусов зон мелкого дробления, рациональных параметров БВР, грансостава взорванной горной массы, внутренней структуры развала взорванной горной массы при различных условиях производства.

Соответствие работы направлениям развития науки или государственным программам

Работа выполнена в рамках программы целевого финансирования BR05235618 «Модернизация технологий и производств в горнодобывающей и горноперерабатывающей отраслях Республики Казахстан» (проект «Создание системы автоматизированного проектирования рациональных параметров буровзрывных работ и прогнозирования их результатов на карьерах Казахстана (САПР БВР)») 2018-2020 г.г., хоз-договорной темы «Внедрение инновационных технологий буровзрывных работ на основе автоматизированного проектирования параметров и результатов массовых взрывов на карьерах АО «ССГПО»» на Соколовско-Сарбайском месторождении 2018-2019 г.г.

Публикации и апробация работы.

Основные положения диссертационной работы докладывались на XXVII-XXVIII Международных научных симпозиумах «Неделя горняка-2019», «Неделя горняка-2020» (г. Москва, 2019г., 2020г.), международной научно-практической конференции «Рациональное использование минерального и

техногенного сырья в условиях Индустрии 4.0» (г. Алматы, 2019г.), научно-практической конференции "САТПАЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ - 2020" (г. Алматы, 2020г.).

Апробация созданных аналитических методов и программного обеспечения была проведена в рамках хоз-договорной темы «Внедрение инновационных технологий буровзрывных работ на основе автоматизированного проектирования параметров и результатов массовых взрывов на карьерах АО «ССГПО»» на Соколовско-Сарбайском месторождении.

По теме диссертации опубликовано 8 печатных работ. Из них одна в журнале, входящем во 2-ой квартиль по данным по базе данных Scopus (Скопус), 4 – в журналах, входящих в 3-й квартиль по базе данных Scopus (Скопус), 1 – в журнале рекомендованном ВАК РФ, из них 4 в материалах конференций. В каждую опубликованную статью докторантом был внесен достойный вклад, в них отражены выносимые на защиту положения, результаты, полученные докторантом в ходе проведенных исследований.

Получено 2 авторских права на разработанное программное обеспечение.

Выпущено 1 методическое руководство.

1. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА КАРЬЕРАХ МИРА

В настоящее время на карьерах мира активно развиваются и вводятся в эксплуатацию современные цифровые технологии, направленные на автоматизацию технологических процессов добычи полезных ископаемых. На горных предприятия широкое применение получили так называемые горно-геологические информационные системы (ГГИС), которые в общем виде представляют из себя многофункциональное программное обеспечение, направленное на решение задач автоматизированного проектирования (computer-aided design – CAD), автоматизированного производства (computer-aided manufacturing – CAM) и автоматизированной разработки или конструирования (computer-aided engineering – CAE) в горном деле. К таким системам относятся Geomix, K-Mine, Micromine, Mineframe, Vulcan, Datamine и др. Каждая из этих систем включает множество модулей и функций. Их применение очень сильно ускорило и упростило работу инженеров, проектировщиков и специалистов горного дела [38].

Так данные системы позволяют производить обработку первичной графической – геодезической, маркшейдерской и геологоразведочной документации, моделирование скважинного и иного опробования, проектирование выработок открытых и подземных горных работ, проектирование насыпных сооружений, проектирование буровзрывных работ, построение разрезов, планов, профилей и иных графических документов в стандартах горной графики, планирование горных работ от перспективного до краткосрочного, автоматизированное управление технологическими процессами (диспетчеризация) [38].

Подготовка горных пород к выемке, которая производится с помощью буровзрывных работ, одна из наиболее важных процессов нуждающаяся в правильном теоретическом и научно-техническом обосновании выбираемых технологий производства.

В предлагаемых на рынке ГГИС модули, направленные на проектирование БВР, зачастую используют стандартные методы расчета параметров БВР, основанные на эмпирических данных, либо просто являются инструментами для ручного проектирования положения скважин. Прогнозирование результатов БВР также рассчитывается на основе известных моделей распределения без учета реального физического процесса разрушения пород. Отдельные программы по моделированию процессов взрывного разрушения горных пород опирающиеся на физические процессы гидродинамики, сыпучих веществ и др. имеют сложный для освоения производственниками функционал, ресурсоемки при выполнении расчетов и не всегда интегрированы в имеющуюся ГГИС.

Многими учеными и специалистами горного дела [1-37] предлагаются решения для усовершенствования автоматизации проектирования БВР и прогнозирования их результатов. Однако их методы в большинстве опираются на эмпирические данные и не учитывают реальный процесс разрушения массива горных пород [1-4,8]. Некоторые из них проводят сложные расчеты, т.е. используют численные методы при моделировании разрушения горных пород взрывом [41-43]. Такие модели показывают достаточно хорошую точность и репрезентативны, однако для их применения необходимы высокопроизводительные ЭВМ, также сам процесс построения этих моделей является весьма трудоемким.

При анализе литературы и информации о определении и прогнозировании гранулометрического состава взорванных пород были определены два направления. Первое это исследования по оптимизации и автоматизации определения гранулометрического состава взорванных пород по их снимкам на месторождениях. Второе прогнозирование гранулометрического состава исходя из условий и параметров БВР. В обоих случаях используются разные подходы от регрессионного анализа до нейронных сетей.

В своей работе P.H.S.W. Kulatilake и др. использовали базу данных, состоящую из параметров конструкции взрыва, параметров взрывчатого вещества, модуля упругости и размера блока на месте для обучения нейросети, которая позволяет прогнозировать средний размер кусков взорванной горной массы [10].

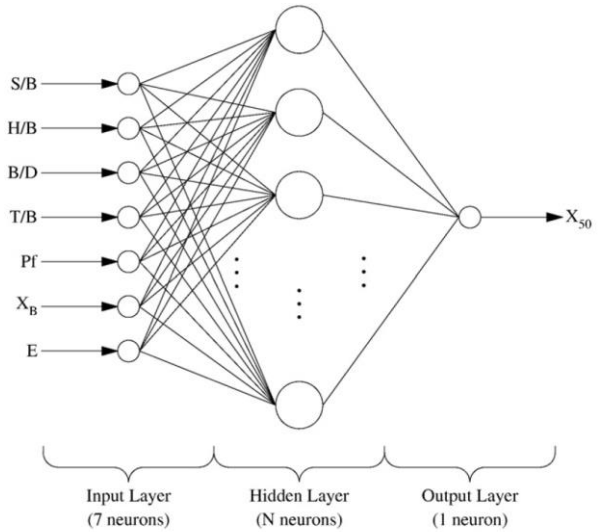


Рисунок 1.1. – Схема 7-N-1 нейронной сети
применённой P.H.S.W. Kulatilake

Следующие авторы M. Monjezi и др. использовали регрессионный анализа и методов нечеткой логики для прогнозирования

гранулометрического состава взорванной горной массы. Для применения системой нечеткой логики готовится база данных по взрывным работам, которая включает в себя параметры БВР как, расстояние между зарядами ВВ, расстояние между рядов зарядов ВВ, глубина скважины, длина заряда, время задержки, плотность горных пород и удельный расход ВВ входные параметры и фрагментация в качестве выходного параметра [11]. Теми же авторами помимо метода нечеткой логики проводились исследования по обучению нейронной сети [12].

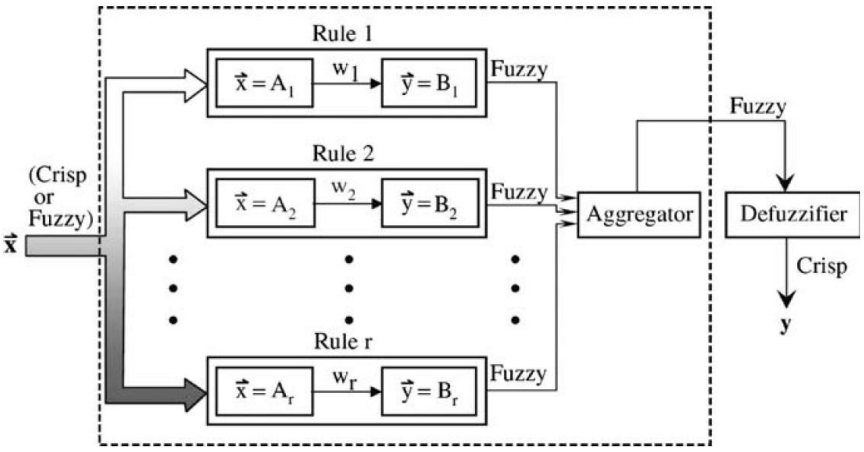


Рисунок 1.2. – Блок схема системы с нечеткой логикой применённой M. Monjezi

Авторы Шапурин А.В. и Васильчук Я.В. на основе статистических данных разработали математическую модель для прогнозирования гранулометрического состава взорванных горных пород на основе закона Розина-Раммлера [13]. Согласно их модели, медианный размер среднего куска в развале вычисляется из выражения:

$$d_m = k \times \left(\frac{W}{d_{скв}} \right)^{0,74} \times \frac{D_{cp}^{0,55} f^{0,3}}{\left(\Delta \times Q \right)^{0,3}}, \qquad (1.1)$$

где k – размерностный коэффициент, $k = \left(\frac{кДж^{0,3}}{м^{-0,4}} \right)$; $D_{ср}$ – средний размер блока в массиве пород, м; f – коэффициент крепости пород по проф. М.М. Протодьяконову; Δ – плотность заряжания, кг/м^3; Q – теплота взрыва (энергия) ВВ, кДж/кг; $d_{скв}$ – диаметр скважины, м; W – параметр квадратной сетки скважин, м.

Mohammad Babaeian и др. предложена новая основа для прогнозирования распределения размеров кусков взорванной горной массы на карьерах.

Предлагаемая структура была разработана на основе анализа изображений и включения методов регрессии и DEMATEL в тематическое исследование [14].

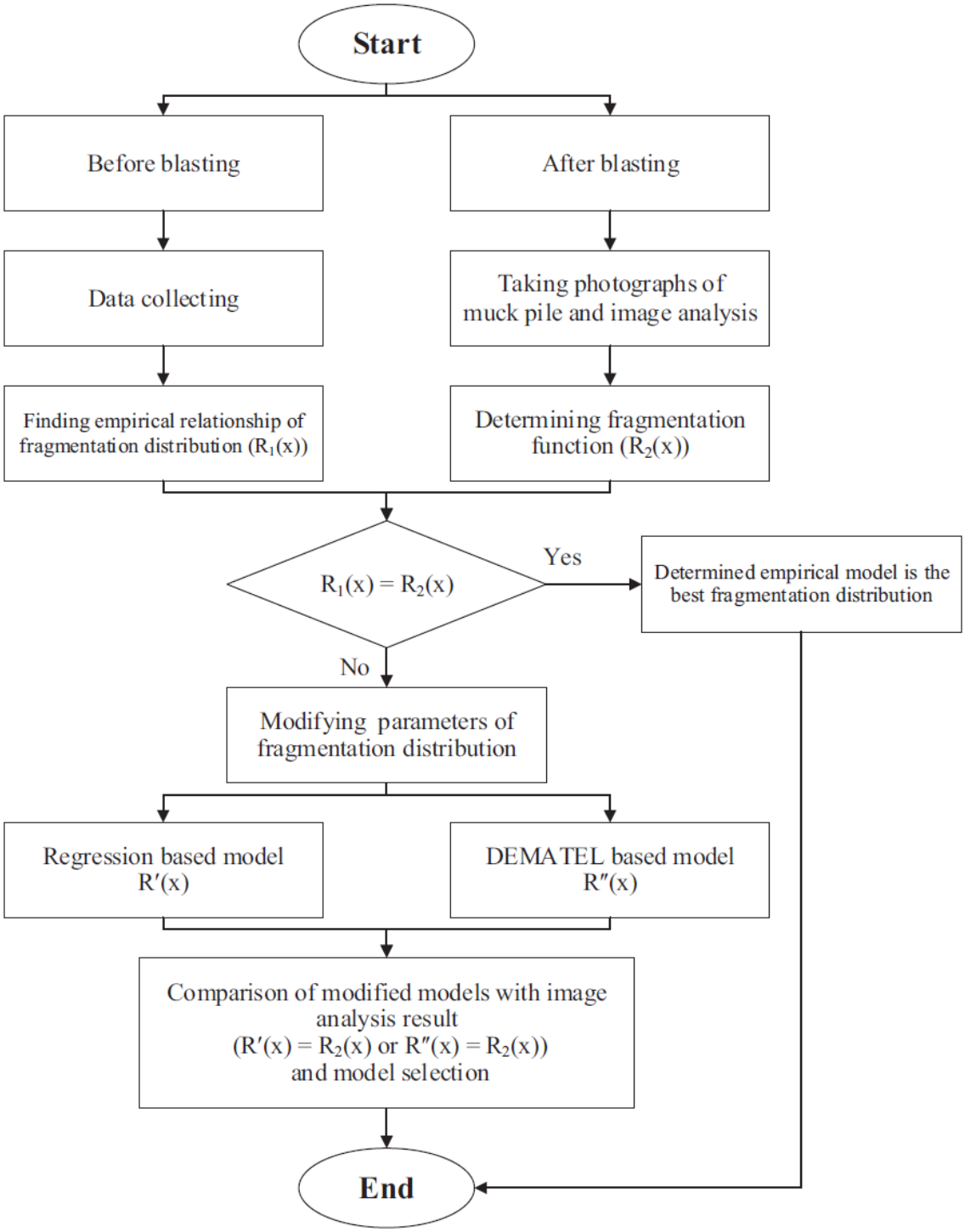


Рисунок 1.3. – Блок схема системы применённой Mohammad Babaeian

Изучению прогнозирования формирования развала взорванной горной массы при уступной отбойке скважинными зарядами посвящено достаточное количество работ. Наибольший вклад в этот процесс внесли академики Н.В. Мельников, В.В. Ржевский, Б.Р. Ракишев, профессора Е.Ф.Шешко,

П.Э.Зурков, Е.Г.Баранов, И.А. Тангаев, А.В.Гальянов, Г.Г. Ломоносов, Б.Н. Кутузов, Г.П. Демидюк, С.Д. Викторов, Н.Н. Казаков, В.А. Белин и многие другие [15-37].

Казаковым Н.Н. и Викторовым С.Д. [34] предложена геометрическая модель поперечного сечения в виде сложной геометрической фигуры, слагаемой из пяти более простых геометрических фигур: прямоугольника и четырех треугольников. По законам баллистики определяется ширина развала. По ширине развала и модели формы поперечного сечения определяется максимальная высота развала и его контур. Однако полученные результаты сильно отличаются от фактических, имеющих место на практике горных 41 предприятий с открытым способом разработки месторождений полезных ископаемых.

В Институте горного дела Уральского отделения РАН (ИГД УрО РАН) в результате проведенной работы, с помощью среды программирования Delphi была разработана компьютерная программа, позволяющая моделировать развал сложного забоя, состоящего из двух видов горной массы [36]. В основу программы легли материалы исследований, полученные институтом при анализе поведения породы на каждом этапе взрыва в соответствии с физической моделью Г.И.Покровского [35] и Б.Р. Ракишева [5].

Хороших результатов добились в ОАО ВИОГЕМ в разработанном программном комплексе ГИС ГЕОМИКС [39,40]. В основе программы лежит физической моделью Г.И.Покровского [35] и Б.Р. Ракишева [5]. Для расчета формирования развала применены законы баллистики и стохастические расчеты векторов скоростей.

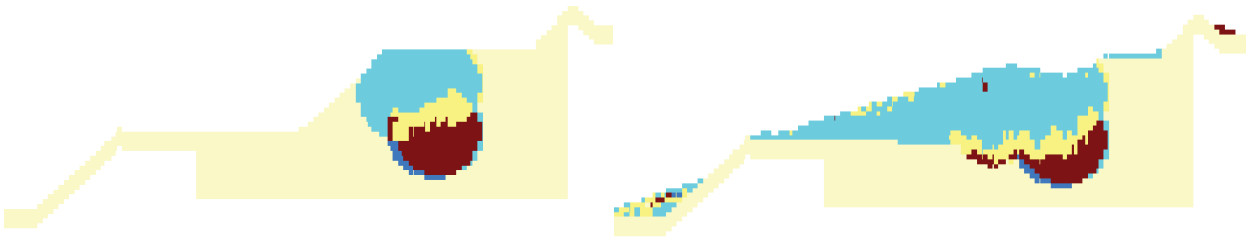


Рисунок 1.4. – Поперечный вид развала по программе ГИС ГЕОМИКС

К одному из численных подходов для расчета формирования развала можно отнести анализ прерывистой деформации (АПД), который был показан в работе Youjun Ning и др [41]. В ней также принята физическая модель разрушения пород схожая с физической моделью Г.И.Покровского [35] и Б.Р. Ракишева [5]. Однако при моделировании учитывались лишь действие газообраных продуктов детонации (ГПД).

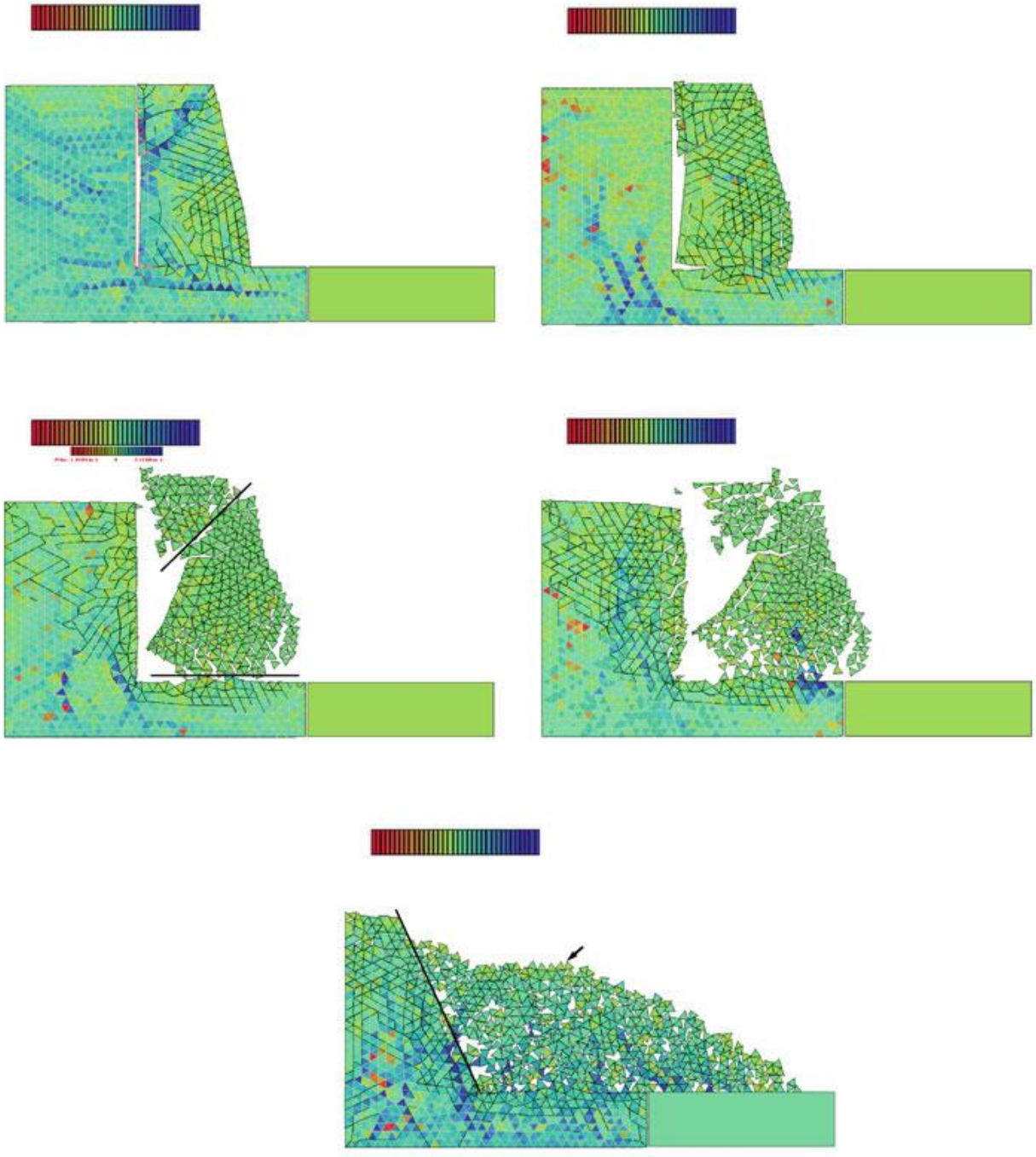


Рисунок 1.5. – Моделирование формирования развала по АПД анализу.

С.В. Цирель в своих работах использовал уравнения предложенные Д.М. Бронниковым для описания процесса набора скоростей при взрыве одного ряда скважин, и дополнил их учетом продуктов взрыва (ПВ) [42].

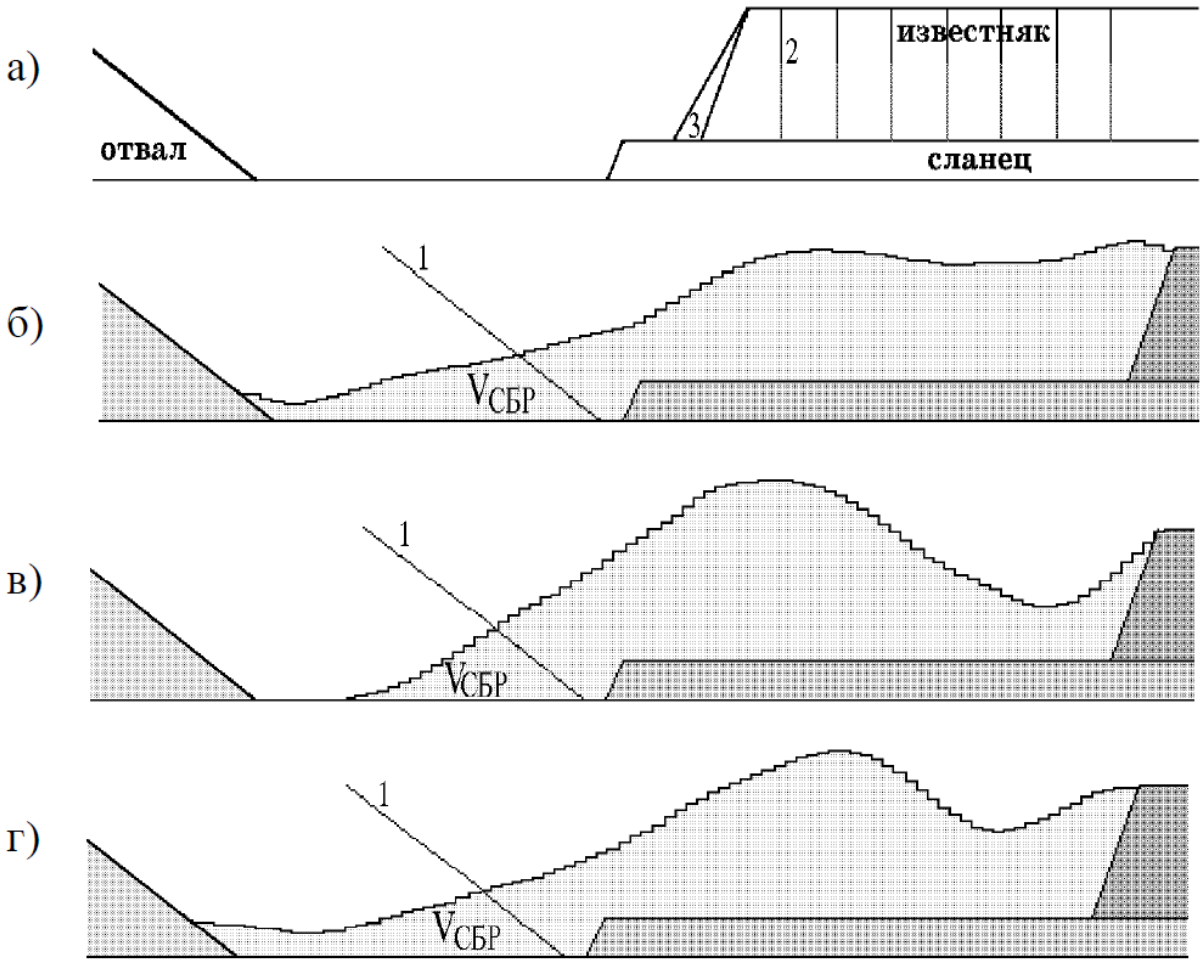


Рисунок 1.6. – Расчетные профили развалов по методике С.В. Цирель

С 2001 года участники проекта Hybrid Stress Blast Model (HSBM) разработали пакет программного обеспечения для моделирования всего процесса взрывных работ от неидеальной детонации до образования развала взорванных горных пород. Чтобы сохранить физику и сократить время расчетов, механизм разрушения использует комбинацию аналитических моделей и 2D осесимметричных конечных разностей для моделирования дробления в ближней зоне в сочетании с 3D дискретным решетчатым гидроразрывом и численными методами отдельных элементов для моделирования выброса и развития отвала [43].

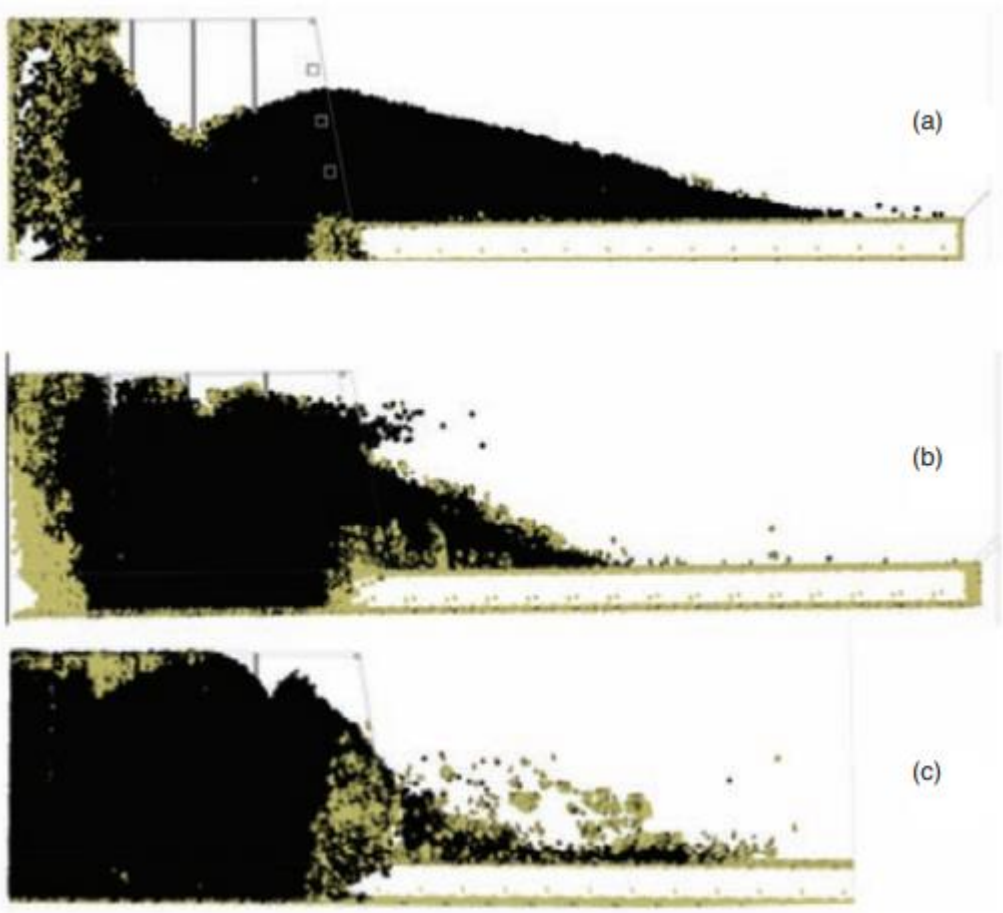


Рисунок 1.7. – Пример моделирования взрыва по HSBM

Физическая модель разрушения массива горных пород согласно гипотезе Г.И. Покровского [35], получившая дальнейшее развитие в работах Б.Р. Ракишева [5] имеет сильную теоретическую базу и была взята за основу.

В соответствии с этой гипотезой на первой стадии взрыва мощная волна сжатия, образованная при взрыве, разрушает породу на контакте заряд — среда (дробит или переводит в пластическое состояние), расширяет взрывную полость, от границы зоны раздавливания распространяется зона радиальных трещин. Процесс вначале мало отличается от явлений, сопровождающих взрыв в безграничной среде, но взаимодействие волны сжатия со свободной поверхностью приводит к более интенсивному дроблению материала в ее окрестности и теле массива. За это время осуществляется основное разрушение отбиваемой породы, и взрывная полость цилиндрической формы достигает своего предельного положения (рис. 1.8 а, б)

На второй стадии взрыва вследствие влияния свободной поверхности нарушается осесимметричное развитие взрывной полости, газообразные продукты взрыва (ГПВ) доразрушают отбиваемый слой породы и сообщают ускоренное движение в сторону свободной поверхности (рис. 1.8 в,г). Хотя скорости, приобретенные частицами в волне сжатия и растяжения, имеют

важное значение, главным определяющим фактором на этой стадии является действие оставшихся в полости ГПВ.

Третья стадия — разлет отбитой породы под действием ГПВ и силы тяжести, образование развала пород (см. рис. 1.8 г, д).

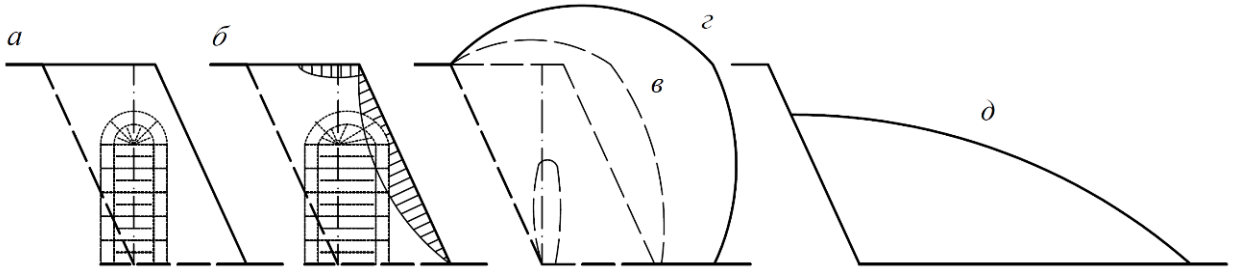


Рисунок 1.8. – Схемы этапов развития взрыва в уступе: начало (а) и конец (б) первой стадии; начало (в) и конец (г) второй стадии; начало (г) и конец (д) третьей стадии

С учетом этой модели, с использованием общих теорем теоретической механики, закономерностей и положений теории упругости [44-53] Б.Р. Ракишевым [47] были выведены уравнения для определения ключевых результатов взрыва. Ими являются предельный радиус взрывной полости, прочность пород в условиях всестороннего взрывного нагружения, радиус зоны мелкого дробления, радиус зоны радиальных трещин.

Относительный предельный радиус взрывной полости:

$$\overline{r}_{пр} = (P_н / P_c)^{1/4}, \qquad (1.2)$$

где P_c – прочностная характеристика пород в условиях взрывного нагружения, МПа; $P_н$ – начальное давление продуктов детонации, МПа.

Радиус зоны мелкого дробления:

$$r_2 = r_{пр}\left(\frac{\rho_o c^2}{5\sigma_{сж}}\right)^{1/2}, \qquad (1.3)$$

где ρ_0 – плотность породы, кг/м^3; c – скорость звука в породе, м/с; $\sigma_{сж}$ – предел прочности на сжатие, МПа; $P_н$ – начальное давление продуктов детонации, МПа.

Радиус зоны радиальных трещин:

$$r_1 = r_2 \frac{\nu}{1+\nu}\frac{\sigma_{сж}}{\sigma_р}, \qquad (1.4)$$

где $\sigma_р$ - предел прочности на растяжение, МПа; ν – коэффициент Пуассона.

Ключевые результаты взрыва и основанные на них аналитические методы определения параметров и результатов БВР являются базой для создания и разработки автоматизированного проектирования параметров и результатов БВР, т.е. структурных характеристик взорванных горных пород.

2. ПРОГРАММНЫЕ МОДУЛИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЗОРВАННЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

2.1 ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ «ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВЗОРВАННОЙ ГОРНОЙ МАССЫ»

2.1.1 Аналитический метод определения гранулометрического состава взорванной горной массы

Важнейшей характеристикой взорванной горной массы является ее кусковатость. При уступной отработке массивов горных пород она зависит от физико-механических свойств пород, блочности (трещиноватости) массивов, химико-физических характеристик применяемого взрывчатого вещества (ВВ), высоты уступа, диаметра заряда ВВ, параметров расположения зарядов ВВ во взрываемом блоке уступа, конструкции заряда в скважине, схем взрывания зарядов, обводненности скважин. Результаты совместного влияния этих факторов на формирование гранулометрического состава взорванной горной массы – критерия кусковатости могут быть выявлены на основе закономерностей разрушения массива крепких горных пород действием взрыва. Основные этапы этого процесса изложены в [33] и представлены на рис 2.1.

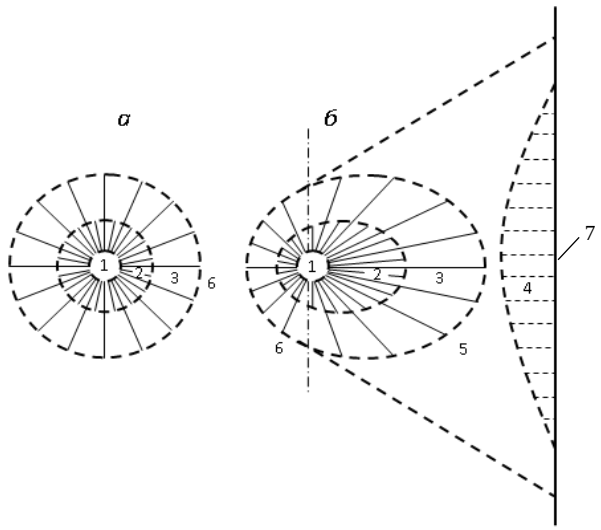
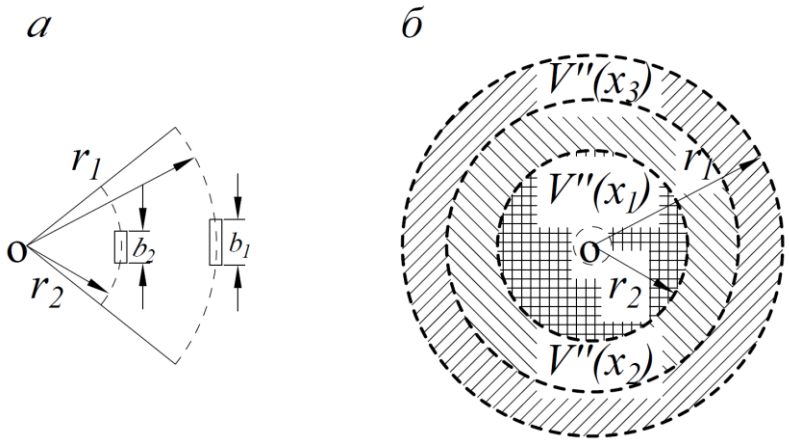


Рисунок 2.1. – Схемы разрушения массива пород (в перпендикулярном к оси заряда разрезе) при взрыве в безграничной среде *(а)* и вблизи свободной поверхности *(б): 1* — взрывная полость; *2-6* -зоны: *2*— раздавливания; *3* — радиальных трещин; *4* — трещин, развиваемых от свободной поверхности; *5* — совокупного разрушения; *6* — неразрушенная; 7- свободная поверхность.

Кусковатость и распределение кусков по размерам в отбитой горной массе наиболее полно могут быть представлены размерами зон дробления и

процентным содержанием различных фракций в развале. Они могут быть определены теоретически. При этом процесс формирования кусков пород по размерам в различных слоях взорванных пород начинается как видно на рис. 2.1 с зоны раздавливания (мелкого дробления). К этой зоне последовательно примыкают породы из зоны радиальных трещин, зоны трещин, развиваемых от свободной поверхности, и зоны совместного разрушения действием продуктов детонации. Процентное содержание различных по крупности кусков предопределяется влиянием различных действующих факторов.

Для решения поставленной задачи объем пород в указанных зонах (рис. 2.1, 2.2) необходимо разбить на отдельные части по крупности кусков, содержащихся в нем. Основой для этого служат экспериментальные данные, полученные при взрыве метрового уступа, сложенного из нетроцветных глин [5]. В результате анализа этих данных установлено, что линейный размер кусков вблизи контура зоны интенсивного дробления в своем большинстве составляет (1,4—1,6)r_0 [54,55] (рис. 2.2.а).



а - размеры кусков пород (b_2, b_1) на границах зон мелкого дробления (r_2)и радиальных трещин(r_1); б- расположение классов пород по крупности $V''(x_3), V''(x_2), V''(x_1)$ в зоне интенсивного дробления ($r'_2 = r_2 + \frac{1}{3} r_1$).

Рисунок 2.2. – Распределение интенсивно раздробленных кусков пород по классом крупности

В связи с этим расстояние между трещинами на внутренней границе зоны радиальных трещин, т.е. продольный размер куска пород в этой зоне можно принять равным:

$$b_2 = (1,4 \div 1,6) r_o . \qquad (2.1)$$

Тогда в соответствии с закономерностью расстояние между трещинами на внешней границе рассматриваемой зоны, т.е. продольный размер куска пород составит:

$$b_1 = b_2 \frac{\nu}{1+\nu} \frac{\sigma_{сж}}{\sigma_p} . \qquad (2.2)$$

Расчеты показывают, что при применении скважин диаметром d_0=0,25 м весь объем зоны мелкого дробления состоит из кусков размером до 0,20 м, а зона радиальных трещин содержит куски размером 0,17÷0,50 м [54]. Действительно, как показывают замеры, при рациональном размещении зарядов в массиве наиболее распространенный размер кусков в области между взорванными скважинами обычно не превышает 0,60 м [55].

Исходя из того, что максимальный линейный размер кусков пород в развале редко превышает 1.4 м, их с шагом 0.2 м обычно подразделяют на 7 классов. К первому классу относят куски размером до 0.2 м, ко второму классу — размером $0.21-0.40$ м, к третьему — размером $0.41-0.60$ м и т. д. до седьмого класса, к которому относят куски размером более 1.21 м [45,54,56,57]. Куски пород первых трех классов формируются в зонах мелкого дробления и радиальных трещин. Объединенную зону можно назвать зоной интенсивного дробления пород (рис. 2.1 *б*). Последующие классы пород образуются в оставшейся части взорванного блока уступа за вычетом из нее объема зоны интенсивного дробления. Эту зону называют зоной пассивного дробления. В ней происходит взрывное расчленение массива пород на естественные отдельности с незначительным их дроблением. Такая интерпретация формирования базы гранулометрического состава взорванных пород полностью соответствует современным представлениям о разрушении массива пород взрывом [45,54,56,58,60-68].

В соответствии с моделью поэтапного разрушения массива объем интенсивно раздробленной породы в первой стадии взрыва обусловливается размером зоны радиальных трещин. Следовательно, объем интенсивно разрушенной породы одним скважинным зарядом равняется объему цилиндра с радиусом r_1 и высотой $h_3 + r_2$ (рис. 2.1*б*). К этому объему присоединяется разрушенная порода за счет отраженной волны и газообразных продуктов взрыва, и весь объем разрушенной породы одним скважинным зарядом составляет

$$V_{\text{др}} = (1 + k_1 + k_2)\pi r_1^2 (h_3 + r_2), \qquad (2.3)$$

где k_1, k_2 — коэффициенты, учитывающие долю разрушенного объема за счет отраженной волны растяжения и за счет вспучивающего действия

взрыва соответственно. На основе данных [9, 30, 35, 46] их сумму ($k_1 + k_2 = k$) можно принять равной 1, т. е. $k = 1$.

Данные экспериментальных взрывов [54, 69] показали, что объем интенсивного дробления вокруг заряда $V'_{\text{др}}$ состоит из кусков пород первых трех классов (рис. 2.3). При этом к первому классу (0 – 0.2 м) может быть отнесен весь объем породы зоны мелкого дроблении и одна треть объема породы из зоны радиальных трещин (с учетом равной вероятности присутствия этих фракций в рассматриваемой зоне), а ко второму (0.2 – 0.4 м) и третьему (0.4 – 0.6 м) классам — соответственно по одной трети упомянутого объема. В случае скважин, расположенных в последнем ряду блока, из первого класса крупности исключаются неразрушенный объем пород из зоны мелкого дробления (рис. 2.3*а*, отрезок цилиндра 1), объем неразрушенного слоя отрезка цилиндра за зоной мелкого дробления (рис. 2.3*а*, слой 2), из второго и третьего классов крупности соответственно исключаются неразрушенные слои отрезков цилиндра в зоне радиальных трещин по одной трети в каждом классе крупности (рис. 2.3*а*, слои 3, 4).

Такое распределение интенсивно раздробленных кусков пород по классам крупности вокруг зарядов в последнем ряду показано на рис. 2.3*а*.

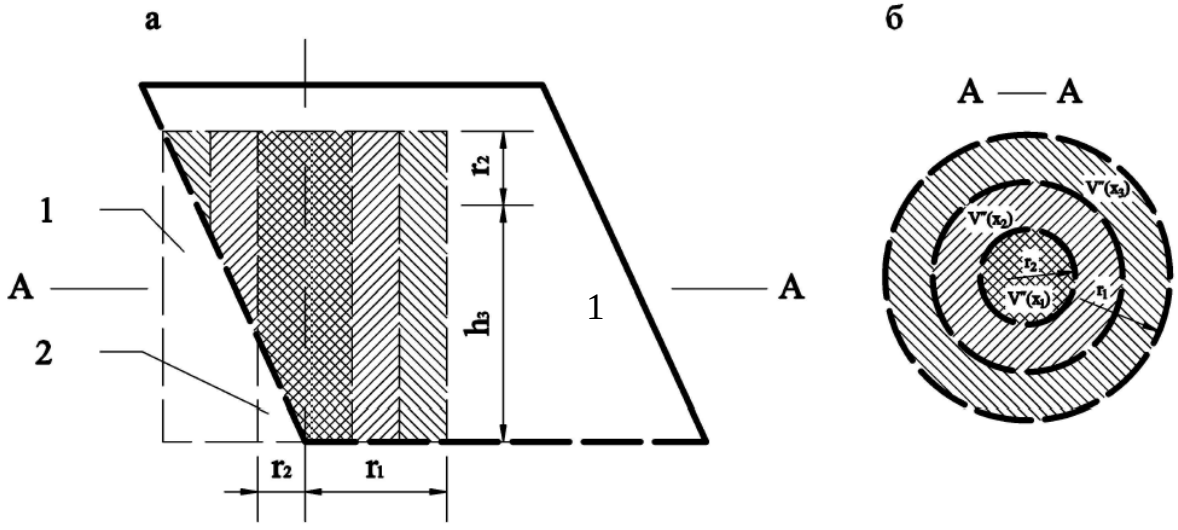


Рис. 2.3 – Расположение классов пород по крупности $V''(x_3)$, $V''(x_2)$, $V''(x_1)$ в зоне интенсивного дробления в последнем ряду скважин: в поперечном разрезе уступа (*а*), по разрезу А – А (*б*)

Таким образом, при многорядном расположении скважин:

$$V''(x_1) = n\left(\pi r_2^2(h_3 + r_2) + \frac{1}{3}\pi(r_1^2 - r_2^2)(h_3 + r_2)\right) - n_{\text{т}}\left(\frac{2}{3}r_2^3\text{tg}\alpha + \frac{2}{9}(r_1^3 - r_2^3)\text{tg}\alpha\right),$$

$$V''(x_2) = V''(x_3) = n\left(\frac{1}{3}\pi(r_1^2 - r_2^2)(h_3 + r_2)\right) - n_{\text{т}}\frac{2}{9}(r_1^3 - r_2^3)\text{tg}\alpha, \qquad (2.4)$$

где $V''(x_1)$, $V''(x_2)$, $V''(x_3)$ — объемы пород соответственного первого x_1, второго x_2 и третьего x_3 классов крупности в зоне интенсивного дробления массива; n — общее количество скважин; $n_т$ — количество скважин в последнем ряду; α — угол откоса уступа; $h_3 + r_2$ — высота цилиндра — интенсивно разрушенного объема породы (рис. 2.3*а*).

Объем породы, пронизанный радиальными трещинами в тыльной части массива, представляет собой отрезок цилиндра и рассчитывается по [69]: $V_{о.ц} = 2/3 r_1^3 \operatorname{tg}\alpha$. В зоне мелкого дробления $V_{о.ц} = 2/3 r_2^3 \operatorname{tg}\alpha$. Объем слоя отрезка цилиндра за зоной мелкого дробления $V^{с}_{о.ц} = 2/3(r_1^3 - r_2^3)\operatorname{tg}\alpha$. Весь объем интенсивно раздробленной породы в рассматриваемой зоне равняется сумме объемов пород первых трех классов крупности:

$$V_ц = V''(x_1) + V''(x_2) + V''(x_3) = n\pi r_1^2 (h_3 + r_2) - n_т \frac{2}{3} r_1^3 \operatorname{tg}\alpha . \qquad (2.5)$$

Уравнение (2.5) подтверждает справедливость соотношений (2.4).

Во всей взорванной горной массе к перечисленным классам крупности пород необходимо прибавлять соответствующие естественные отдельности, входящие в состав остальной части взрываемого блока. Эти объемы пропорциональны их содержанию в массиве пород (таблица 2.1).

Таким образом, объемы первых трех классов во всей взорванной породе определяются по формулам:

$$\begin{aligned} V'(x_1) &= (1+k)[V''(x_1) + p(x_1)V''(x_2) + p(x_1)V''(x_3)] + p(x_1)[V - (1+k)V_ц], \\ V'(x_2) &= (1+k)[V''(x_2) + p(x_2)V''(x_3) + p(x_1)V''(x_2)] + p(x_2)[V - (1+k)V_ц], \\ V'(x_3) &= (1+k)[V''(x_3) + p(x_1)V''(x_3) + p(x_2)V''(x_3)] + p(x_3)[V - (1+k)V_ц], \end{aligned} \qquad (2.6)$$

здесь V — объем породы взрываемого блока массива; $V''(x_i)$ — объем интенсивно раздробленной породы i-го класса ($i \le 3$); $V'(x_i)$ — весь объем породы i-го класса после взрыва; $p(x_i)$ — содержание кусков i-го класса в массиве, дол. ед.

$$V = LBh = an_c(W + a_p(n_p - 1))h .$$

Здесь n_c — количество скважин в ряду; n_p — количество рядов скважин.

Как видно из (2.6), объем пород первого класса крупности во всей взорванной породе состоит из объемов пород, содержащихся в первом, втором и третьем классах в зоне интенсивно дробления и объема таких классов в

остальной части взорванной породы. Этот объем пород пропорционален разности объемов взрываемого блока и интенсивно раздробленных пород. Коэффициент пропорциональности равен процентному долевому содержанию рассматриваемого куска в массиве. Объем пород второго класса крупности состоит из суммы объемов второго и третьего классов в зоне интенсивного дробления за вычетом объема пород первого класса и с прибавлением к ним части второго класса в остальной части взорванной породы. Объем пород третьего класса рассчитывается по аналогичной схеме.

Классы пород по крупности более 0.61 м формируются в зоне пассивного дробления под совокупным действием волновых процессов и газообразных продуктов взрыва. При этом происходит расчленение взрываемого блока на естественные отдельности (в первой стадии взрыва) с незначительным их дроблением. Последнее реализуется за счет соударения кусков пород при перемещении во второй и третьей стадиях взрыва.

Для определения объема сокращения крупных кусков в общей массе примем следующие предположения. Куски пород размером более 1.21 м в результате соударения в общем объеме сократятся на одну четвертую (1/4) своего первоначального значения. Раздробленная часть этих кусков распределяется по нижнему классу (1.01 – 1.20 м), т. е. к нему прибавляется 1/4 часть содержания самых крупных кусков. Процентное содержание кусков в шестом классе (1.01 – 1.20 м) также уменьшится на 1/4 своего первоначального значения. Его раздробленная часть прибавляется к нижнему классу (0.81 – 1.00 м). Иначе говоря, доля этого класса увеличится еще на 1/4 содержания предыдущего класса. Доля кусков в пятом классе (0.81 – 1.00) уменьшится на одну четвертую первоначального значении. Эта доля прибавится к четвертому классу крупности (0.61 – 0.80). Структура кусков пород размером до 0.6 м не претерпевает изменений. В целом описанное перераспределение кусков пород во второй и третьей стадиях взрыва можно записать в виде:

$$
\begin{aligned}
&q(x_1) = p(x_1), \quad q(x_2) = p(x_2), \quad q(x_3) = p(x_3),\\
&q(x_4) = p(x_4) + \frac{1}{4}p(x_5), \quad q(x_5) = \frac{3}{4}p(x_5) + \frac{1}{4}p(x_6),\\
&q(x_6) = \frac{3}{4}p(x_6) + \frac{1}{4}p(x_7), \quad q(x_7) = \frac{3}{4}p(x_7).
\end{aligned}
\tag{2.7}
$$

Эти зависимости представляют собой виртуальное содержание естественных отдельностей в массиве пород. Их численные значения приведены в таблице (вторая строка). Процентное содержание естественных отдельностей является численной характеристикой структуры массива пород.

Таблица 2.1. Реальный (числитель) и виртуальный (знаменатель) гранулометрический состав естественных отдельностей в массивах пород

Наименование пород	**Массивы по блочности (степень трещиноватости)**	**Содержание в массиве (%) естественных отдельностей размером (м)**							**Средний диаметр, м**
		<0,20	**0,21–0,40**	**0,41–0,60**	**0,61–0,80**	**0,81–1,00**	**1,01–1,20**	**>1,21**	
Альбитофир, андезитовые порфириты	Мелкоблочные (чрезвычайно трещиноватые)	67,84 67,84	21,83 21,83	7,03 7,03	2,26 2,44	0,73 0,6	0,23 0,19	0,08 0,06	0,19 0,19
Мартиты, туфы диорит-порфиритов	Среднеблочные (сильнотрещиноватые)	48,83 48,83	25,22 25,22	13,02 13,02	6,73 7,59	3,47 3,05	1,79 1,57	0,93 0,69	0,30 0,29
Богатые и бедные магнетитовые руды, диабазовые порфиритовы	Крупноблочные (среднетрещиноватые)	30,59 30,59	22,23 22,23	16,16 16,16	11,75 13,88	8,54 7,95	6,21 5,78	4,51 3,38	0,46 0,45
Роговики, массивный известняк	Весьма крупноблочные (малотрещиноватые)	19,92 19,92	17,66 17,66	15,66 15,66	13,88 16,95	12,31 11,96	10,91 10,6	9,67 7,25	0,60 0,59

По среднему диаметру естественных отдельностей массивы пород карьеров Соколовско-Сарбайского горного производственного объединения, как и других месторождений, подразделены на мелкоблочные (чрезвычайно трещиноватые), среднеблочные (сильнотрещиноватые), крупноблочные (среднетрещиноватые) и весьма крупноблочные (малотрещиноватые). Блочность массива оказывает сильное влияние на образование раздробленных кусков во всех стадиях взрыва.

По аналогии со втором слагаемым выражений (2.6) объемы пород крупных классов (выше 0.61 м) в зоне пассивного дробления прямо пропорциональны разности объемов взрываемого блока и интенсивно раздробленных пород в нем. В качестве коэффициента пропорциональности в этом случае принимается виртуальное содержание естественных отдельностей в массиве пород. Тогда объемы пород искомых классов $(j \geq 4)$ определяются по формуле

$$V'(x_j) = q(x_j)[V - (1+k)V_{\text{ц}}], \qquad (2.8)$$

где $q(x_j)$ — виртуальное содержание *j*-го класса в массиве пород, дол. ед.

Объемы пород различных классов крупности $V'(x_i)$, $V'(x_j)$, формируемые соответственно в зонах интенсивного и пассивного дробления, являются базой гранулометрического состава взорванных горных пород. Для вычисления этой

характеристики достаточно разделить полученные объемы (2.6) и (2.8) на объем взрываемого блока.

Содержание кусков пород первых трех классов устанавливается соотношением ($i \le 3$):

$$p'(x_i) = \frac{V'(x_i)}{V}, \qquad (2.9)$$

а содержание кусков пород последующих классов ($i \ge 4$) определяется по выражению

$$p'(x_j) = \frac{q(x_j)}{V}[V - (1+k)V_{\text{ц}}]. \qquad (2.10)$$

Совокупность значений $p'(x_1), p'(x_2), \ldots, p'(x_7)$ представляет собой гранулометрический состав взорванных горных пород.

Таким образом, по (2.9), (2.10) при заданных физико-механических, структурных свойствах пород, детонационных, энергетических характеристиках ВВ, параметрах и способе взрывания легко вычисляется гранулометрический состав взорванной руды и породы. Такой метод определения кусковатости взорванных горных пород принципиально отличается от известных эмпирических [64 – 73] теоретической обоснованностью и полнотой учета всех влияющих факторов на конечные результаты взрыва.

Как видно из выражений (2.9), (2.10) гранулометрический состав взорванных горных пород сильно зависит от содержания естественных отдельностей в массиве пород. Поэтому установление категория блочности массивов пород или категорий взрываемости пород на карьерах является исключительны важной задачей [74-77,96].

2.1.2 Измерение фактического гранулометрического состава взорванных горных пород на карьерах ССГПО

Для проверки правомерности разработанной методики определения гранулометрического состава взорванных пород на карьерах Казахстана проводился большой объем замеров гранулометрического состава пород на различных горизонтах с различными физико-техническим характеристиками пород.

В замерах значения случайной величины регистрировались через определенные интервалы x_1, x_2 , ..., x_m. Следовательно, результаты записи представляют собой систему *m* случайных величин $p'(x_1)$, $p'(x_2)$, ... , $p'(x_m)$.

Вследствие этого изучение случайной функции можно с некоторым приближением заменить рассмотрением системы случайных величин. По мере увеличения *m* такая замена становится все более и более точной

При экспериментальном измерении гранулометрического состава взорванных горных пород производилось фотографирование поверхности развала через каждые 3-5 метров с помощью цифрового фотоаппарата и высокоточного объектива. Для расшифровки снимки масштабировались в М1:100. Один снимок взорванных пород охватывал незначительную часть поверхности развала, поэтому при фотографировании выбиралось та его часть, которая наиболее полно отражала гранулометрический состав взорванных пород блока.

Минимальная длина взрываемого блока в период исследований составляла 70м, максимальная – 160м., количество фотографий на блоке длиной 70 метров составляло 20 шт., а на блоке длиной 160 метров – 40-50 шт.

Для обработки полученных данных на фотографиях использовалась программа Microsoft Office Excel 2009.

Весь процесс подсчета гранулометрического состава взорванных горных пород уступа сводился к следующим операциям:

• сканирование фотографии;

• импорт отсканированного изображение в рабочую зону программы AutoCAD;

• масштабирование изображения;

• разделение изображения на масштабные полосы;

• подсчет площадей отдельных фракций в каждой масштабной полосе и во всей исследуемой области изображения;

• определение принадлежности каждой фракций взорванных пород к тому или иному классу гранулометрического состава;

• определение гранулометрического состава пород для данного снимка.

Сканирование фотографии производилось с разрешением 600dpi, что позволяло в дальнейшем четко просматривать в рабочей зоне программы AutoCAD куски размером более 0,01м. После импорта изображения в область AutoCADa производилось его масштабирование таким образом, чтобы оно соответствовало размерам стандартной фотографии (рис. 4.4). Затем проводилась проверка путем измерения длины, занимаемой мерной маркшейдерской рейкой на стандартной фотографии (102х152мм) и аналогичной на отсканированном изображении в AutoCADe. Если обнаруживалось расхождение, то вносились необходимые корректировки и приступали к дальнейшему этапу.

Площадь изображения составляла 3х3кв.м., что диктовалось размерами мерной маркшейдерской рейки. Затем по четырем точкам (концы мерных маркшейдерских реек) изображается четырехугольник. На нем в AutoCADe

подсчитывается площадь каждой фракций гранулометрического состава взорванных горных пород, входящая в четырехугольник.

Все фракции гранулометрического состава взорванных, входящие в четырехугольник фиксируются в программе AutoCAD и их площади вычисляются с использованием программы Microsoft Office Excel 2009. Определяются площади всех кусков взорванной породы, далее процентное содержание каждого класса. Чтобы получить гранулометрический состав взорванных горных пород всех размеров провести указанную процедуру для каждого из них.

Фрагменты компьютерной оценки всех фракций сканированных фотографий гранулометрического состава взорванных горных пород на развале с использованием программы AutoCAD приведены на рис. 2.4-2.8.

Результаты их обработки приведены в табл. 2.2. Сопоставление этих данных с расчётными, найденными по разработанной компьютерной программе и их анализ осуществлены в главе 2.5.

В табл. 4.3 приведены параметры БВР, произведенных на соответствующих горизонтах Сарбайского и Куржункульского карьеров.

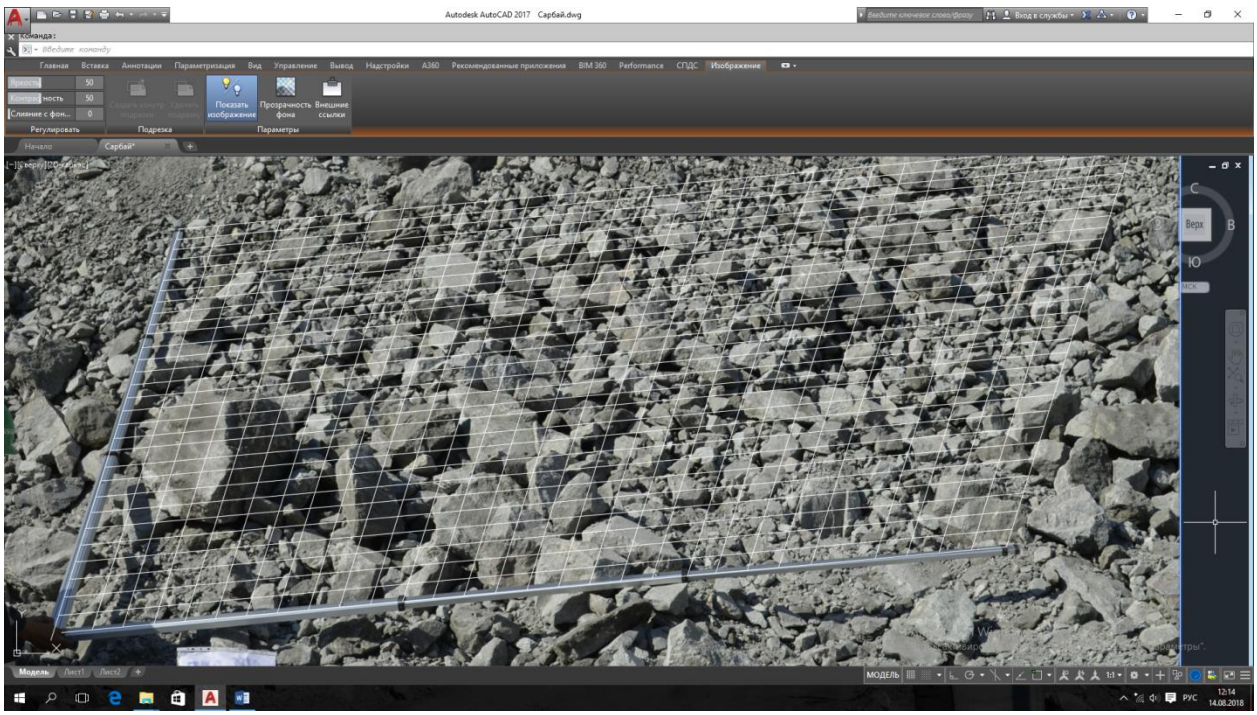


Рисунок 2.4. – -360/-380 юго-запад; руда магнетитовая; крупноблочные (Б3)

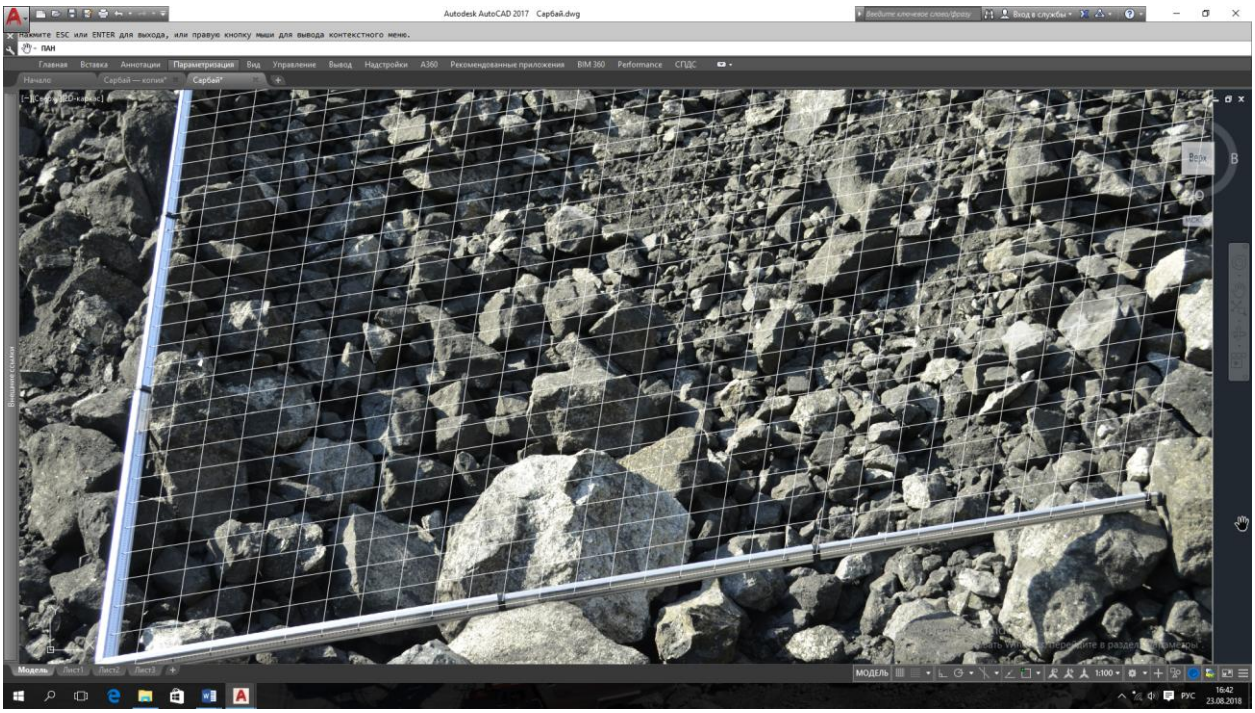


Рисунок 2.5. – -360/-380 юго-запад; руда магнетитовая; крупноблочные (Б3)

Рисунок 2.6. – -180-200 восток; диоритовые порфириты; среднеблочные (Б2)

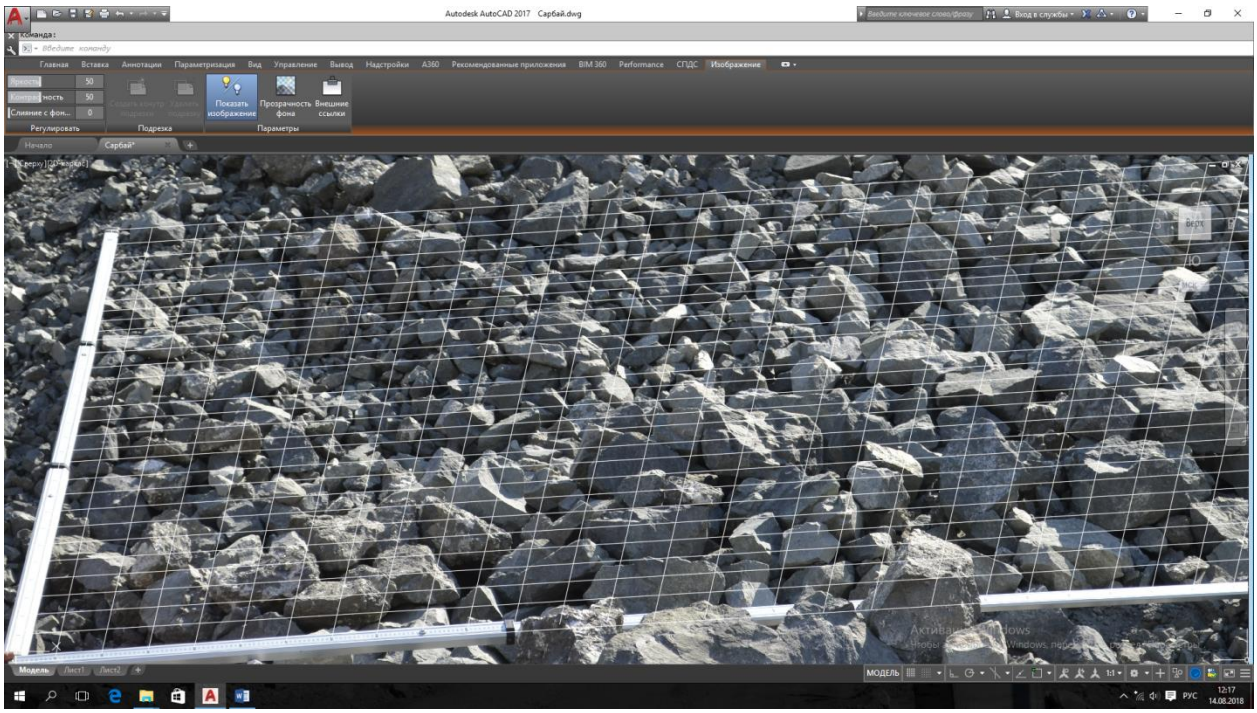


Рисунок 2.7. – +40/+25 северо-запад; магнетитовая руда бедная; крупноблочные (Б3) диоритовые порфириты; средне-мелкозернистые; среднеблочные (Б2)

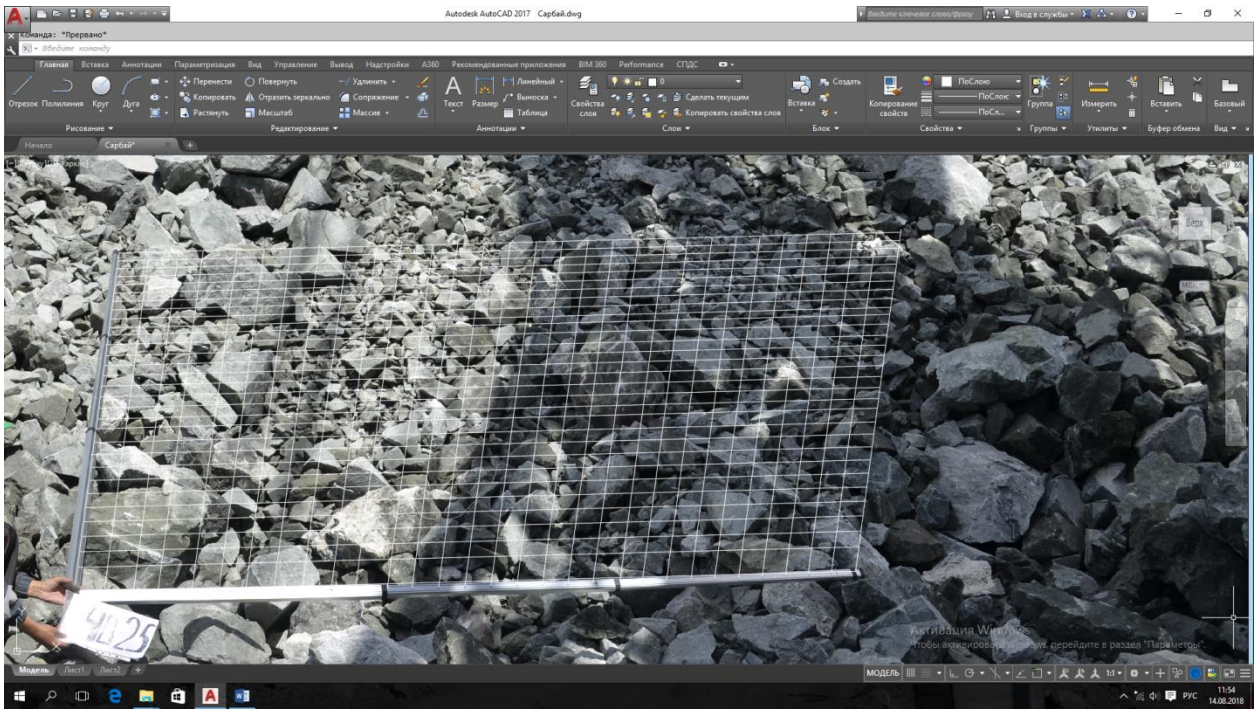


Рисунок 2.8. – +40/+25 северо-запад; магнетитовая руда бедная; крупноблочные (Б3) диоритовые порфириты; средне-мелкозернистые; среднеблочные (Б2)

Таблица 2.2 Измеренный гранулометрический состав взорванных горных пород на Сарбайском и Куржункульском карьерах

Горизонт, породы	№ замеров	Гранулометрический состав взорванных пород (%) размером (м)						
		<0,20	0,21–0,40	0,41–0,60	0,61–0,80	0,81–1,0	1,01–1,20	>1,21
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сарбайский карьер								
-360/-380 юго-запад; руда магнетитовая; крупноблочные (Б3)	1	51,55	21,45	14,28	5,61	3,86	2,03	1,22
-340-360 юг; диоритовые порфириты; среднеблочные (Б2)	2	63,29	21,34	9,48	2,46	1,99	1,05	0,39
-320-340 северо-запад; диоритовые порфириты; среднеблочные (Б2)	3	63,08	21,68	9,87	2,88	1,87	0,47	0,16
-180-200 восток; диоритовые порфириты; среднеблочные (Б2)	4	61,45	21,96	10,45	2,90	1,68	1,01	0,55
-260-280 ю/запад; диоритовые порфириты скарнированные сульфидами; породы слаботрещи-новатые и трудновзрываемые (Б2)	5	62,46	19,50	9,92	4,42	2,31	1,13	0,26
-260-280 запад; диоритовые порфириты скарнированные слаботрещиноватые и очень трудновзрываемые (Б2)	6	60,39	16,87	10,43	6,47	3,69	1,63	0,50
-280-300; -275-280 запад; диоритовые порфириты скарнированные, среднетрещи-новатые трудновзрываемые (Б2)	7	61,81	18,92	10,59	4,14	2,46	1,68	0,39
-300-320 запад; диоритовые порфириты скарнированные, среднетрещиноватые трудно-взрываемые (Б2)	8	61,83	16,05	10,05	5,82	3,56	2,21	0,47
-300-320 ю/запад; диоритовые порфириты среднетрещиноватые, трудновзрываемые (Б2)	9	63,29	21,34	9,48	2,46	1,99	1,05	0,39
-340-360 северо-запад; диоритовые порфириты среднетрещиноватые, трудновзрываемые (Б2)	10	63,04	18,13	10,47	4,16	2,44	1,47	0,28

продолжение таблицы 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Куржункульский карьер								
+40/+25 северо-запад; магнетитовая руда бедная; крупноблочные (Б3); диоритовые порфириты; средне-мелкозернистые; среднеблочные (Б2)	11	50,26	18,78	9,51	8,85	6,30	4,64	1,66
+55+40 юго-восток; диоритовые порфириты средне-мелкозернистые; среднеблочные (Б2)	12	62,38	21,97	10,56	2,32	1,58	0,89	0,30
+70+55 юг; магнетитовая руда бедная, тонкозернистая; крупноблочные (Б3); диоритовые порфириты; среднеблочные (Б2)	13	59,72	22,10	12,51	2,40	1,81	0,88	0,58
+10/-5 север; блок сложен диоритовыми порфиритами, среднемелкозернистыми слабометасаматизир и рудой магнетитовой, бедной тонкозернистой (Б2)	14	60,52	20,26	11,35	3,99	2,14	1,21	0,52
+55/+40 сев./запад; блок сложен диоритовыми порфиритами, средне-мелкозернистыми слабомета-саматизированной и рудой магнетитовой, бедной тонкозернистой (Б2)	15	63,21	19,64	10,41	3,45	2,06	1,00	0,23
+100/+85 юг; блок сложен диоритовыми порфиритами, средне-мелкозернистыми слабометасаматизированной и рудой магнетитовой, бедной тонкозернистой (Б2)	16	62,22	22,87	10,28	2,48	1,12	0,76	0,27
+145/+130 ю/запад; блок сложен диоритовыми порфиритами, средне-мелкозернистыми слабо-метасаматизированными (Б2)	17	62,59	17,07	9,03	6,11	3,04	1,77	0,39

Таблица 2.3 Фактические параметры массовых взрывов

Горизонты	№ замеров	Всего скважин, шт	Количество рядов, шт	Диаметр скважин, мм	Высота уступа, м	Глубина скважин, м	Перебур, м	Сетка скважин, м	ЛСПП
Руда магнетитовая; Б3	1	26	2	245	21	24	3	6х6	6
Диоритовые порфириты; Б2	2	69	3	245	23-24	26-27	3	6х6	2-6
Диоритовые порфириты; Б2	3	67	7	245	20-21	21-28	1-3	6х6	6-12
Диоритовые порфириты; Б2	4	55	6	245	23	30	1-3	6х6	3-6
Диоритовые порфириты; Б2	5	60	2	254	21-22	24-25	3	6х6	6-9
Диоритовые порфириты; Б2	6	80	3-4	254	20-22	23-25	3	6х6	5-6
Диоритовые порфириты; Б2	7	95	3	254	22-23	25-26	3	6х6	5-7
Диоритовые порфириты; Б2	8	71 20	2-3 2-5	245 245	20-22 5	23-25 6	3 1	6х6 5х4	2-7
Диоритовые порфириты; Б2	9	71	3-4	254	20-23	23-26	3	6х6	6-7
Диоритовые порфириты; Б2	10	69	4	245	21-24	24-29	3	6х6	5-11
Руда магнетитовая; Б3. Диоритовые порфириты; Б2	11	112	6	245	14÷18	16-20	2	7х6	2-12
Диоритовые порфириты; Б2	12	70	6	245	17÷21	19-23	2	6х6, 7х6	6-20
Руда магнетитовая; Б3. Диоритовые порфириты; Б2	13	126	6	245	16-18	18-20	2	7х6, 6х6	7
Диоритовые порфириты; Б2. Руда магнетитовая; Б3.	14	122	3-5	250	14-16	16-18	2	7х6 6х6	6-7
Диоритовые порфириты; Б2	15	131	2-4	245	15-17	17-19	2	7х6	6-7
Диоритовые порфириты; Б2. Руда магнетитовая; Б3.	16	135	3-4	245	17-19	20-22	2	7х6	3-11
Диоритовые порфириты; Б2	17	95	2-5	254	14-16	16-20	2	7х6	3-18

2.1.3 Создание и тестирование программных продуктов автоматизированного определения гранулометрического состава взорванной горной массы

2.1.3.1 Программное обеспечение автоматизированного определения гранулометрического состава взорванной горной массы

Минимальные системные требования: операционная система Microsoft Windows 7 SP1 с установленным пакетом. NET Framework 4.6.4 [78-82], 32-разрядный (x86) или 64-разрядный (x64) процессор с тактовой частотой 1 ГГц или выше, 2 ГБ (для 32-разрядного процессора) или 4 ГБ (для 64-разрядного процессора) ОЗУ, 100 МБ свободного места на жестком диске, программная среда Visual Studio[78-82].

Для автоматизированного определения гранулометрического состава взорванных пород разработана программа в среде Microsoft Visual Studio 2017.

Данная программа включает комплекс программных средств для организации и проведения автоматизированных измерений, обработки и представления измерительной информации, сохранения результатов измерений в базе данных, генерации отчетов по результатам исследований, визуализации в режиме реального времени.

При составлении алгоритма программных модулей САПР «Грансостав» использованы установленные выше аналитические зависимости гранулометрического состава взорванных горных пород на карьерах. Разработанная программа системы автоматизированного определения кусковатости пород наглядна, удобна в использовании и имеет несложный интерфейс. Она позволяет оперативно рассчитать гранулометрический состав взорванных пород в конкретных производственных условиях. С использованием указанной программы определена кусковатость взорванных пород Сарбайского и Куржункульского карьера.

Блок-схема программы представлена на рис 2.7.

Описание алгоритма

1. Начало
2. Вводятся исходные данные: ρ_0, c, ν, $\sigma_{сж}$, $\sigma_р$, $\rho_{вв}$, D, H, d_0 p, α, k, $p(x_1)$, $p(x_2)$, $p(x_3)$, $p(x_4)$, $p(x_5)$, $p(x_6)$, $p(x_7)$, $q(x_1)$, $q(x_2)$, $q(x_3)$, $q(x_4)$, $q(x_5)$, $q(x_6)$, $q(x_7)$
3. Определяются: $V''(x_1), V''(x_2), V''(x_3), V_{оц}, V_ц$
4. Определяются: $V'(x_1), V'(x_2), V'(x_3)$.
5. Определяются: $p''(x_1)$, $p''(x_2)$, $p''(x_3)$.
6. Определяются: $p'(x_1)$, $p'(x_2)$, $p'(x_3)$, $p'(x_4)$, $p'(x_5)$, $p'(x_6)$, $p'(x_7)$.
7. Выводятся на экран результаты вычислений.
8. Конец.

Спецификация программы

ρ_0 - плотность породы, кг/м^3;

c - скорость звука в породе, м/с;

ν – коэффициент Пуассона;

$\sigma_{сж}$ - предел прочности на сжатие, Па;

$\sigma_р$ - предел прочности на растяжение, Па;

$\rho_{вв}$ - плотность взрывчатого вещества, кг/м^3;

D - скорость детонации, м/с;

H - высота взрываемого блока, м;

d_0 – диаметр скважины, м;

p – вместимость единицы длины скважины, кг/м;

α – угол откоса уступа, градус;

k – коэффициент пропорциональности дробления, k = 1;

$p(x_1)$ - содержание в массиве отдельностей размером менее 0,20 м;

$p(x_2)$ - содержание в массиве отдельностей размером 0,21-0,40 м;

$p(x_3)$ - содержание в массиве отдельностей размером 0,41-0,60 м;

$p(x_4)$ - содержание в массиве отдельностей размером 0,61-0,80 м;

$p(x_5)$ - содержание в массиве отдельностей размером 0,81-1,0 м;

$p(x_6)$ - содержание в массиве отдельностей размером 1,0-1,20 м;

$p(x_7)$ - содержание в массиве отдельностей размером более 1.21 м;

$q(x_4)$ – условное содержание в массиве отдельностей размером 0,61-0,80 м;

$q(x_5)$ – условное содержание в массиве отдельностей размером 0,81-1,0 м;

$q(x_6)$ – условное содержание в массиве отдельностей размером 1,01-1,20 м;

$q(x_7)$ – условное содержание в массиве отдельностей размером более 1.21 м;

$V_{о.ц}$ - объем отрезка цилиндра, в тыльной части массива, м^3;

$V_ц$ - объем цилиндра зоны интенсивного дробления, м^3;

V - объем взрываемого слоя пород, м^3;

$V''(x_1)$ - объем пород первого класса крупности в зоне интенсивного дробления, м^3;

$V''(x_2)$ - объем пород второго класса крупности в зоне интенсивного дробления, м^3;

$V''(x_3)$ - объем пород третьего класса крупности в зоне интенсивного дробления, м^3;

$V'(x_1)$ - объем пород первого класса крупности во всей взорванной породе, м^3;

$V'(x_2)$ - объем пород второго класса крупности во всей взорванной породе, м^3;

$V'(x_3)$ - объем пород третьего класса крупности во всей взорванной породе, м^3;

$p'(x_1)$ - содержание кусков первого класса крупности во взорванной породе;

$p'(x_2)$ - содержание кусков второго класса крупности во взорванной породе;

p'(x_3) - содержание кусков третьего класса крупности во взорванной породе;
p'(x_4) - содержание кусков четвертого класса крупности во взорванной породе;
p'(x_5) - содержание кусков пятого класса крупности во взорванной породе;
p'(x_6) - содержание кусков шестого класса крупности во взорванной породе;
p'(x_7) - содержание кусков седьмого класса крупности во взорванной породе.

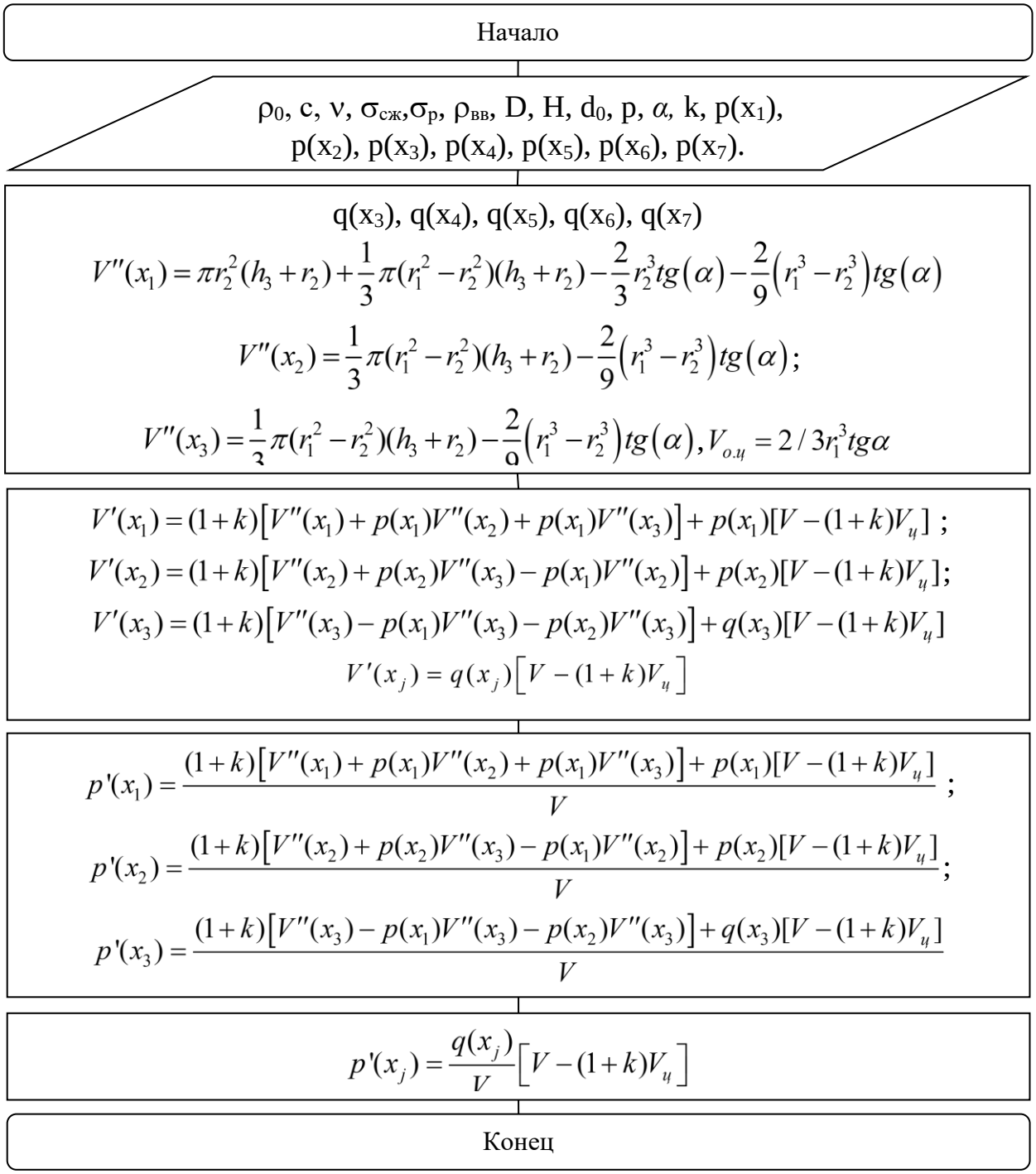


Рисунок 2.7 – Блок - схема программы

Для того чтобы начать работу с приложением нужно двойным нажатием левой кнопки мыши открыть файл приложения “Model.exe” в корневой папке, как показано на рис. 2.8.

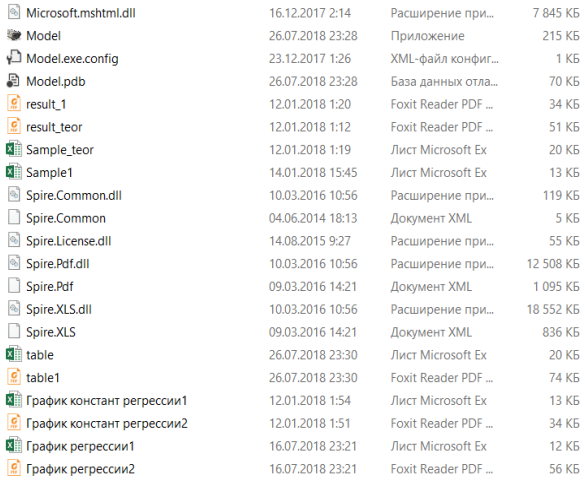


Рисунок 2.8. – Корневая папка

В открывшемся окне заполняют параметры для расчета грансостава взорванной породы, а точнее вводим табличные данные свойств рассматриваемой породы, ВВ и параметры выбранного массива в ячейки, расположенные в левой части программы, как показано на рис. 2.9. Табличные значения могут быть изменены в режиме реального времени.

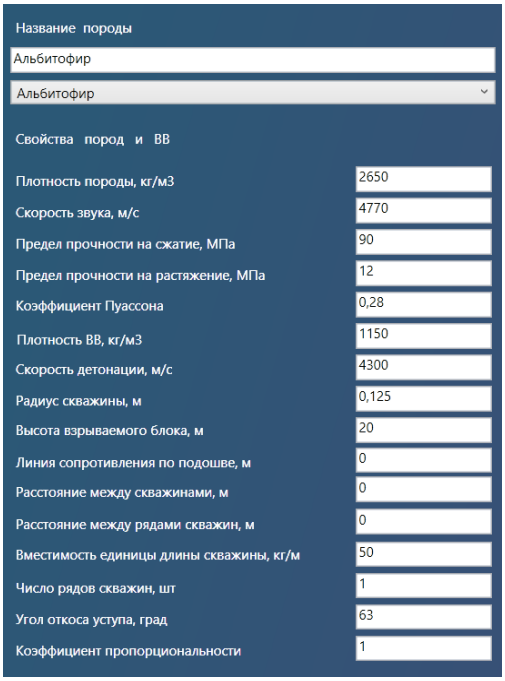


Рисунок 2.9. – Табличные параметры рассматриваемых пород, взрывчатого вещества и взрываемого блока

Также необходимо ввести процентное содержание отдельностей различного диаметра в массиве породы, в правом верхнем углу окна программы, как показано на рис. 2.10.

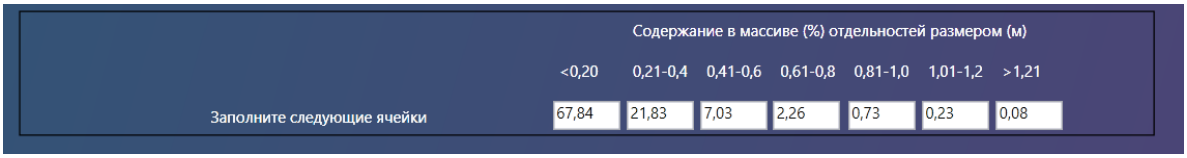


Рисунок 2.10. – Процентное содержание отдельностей различного диаметра в массиве пород

Далее, при необходимости, записывается название рассматриваемой породы в ячейку, расположенную в левой части программы, как показано на рис. 2.11.

Рисунок 2.11. – Название рассматриваемой породы

В программе имеются разработанные шаблоны для проведения расчета грансостава. Для этого необходимо нажать на всплывающее окно, расположенном ниже ячейки названия рассматриваемой породы, как показано на рис. 2.12-2.13.

Рисунок 2.12. – Вид неактивного всплывающего окна

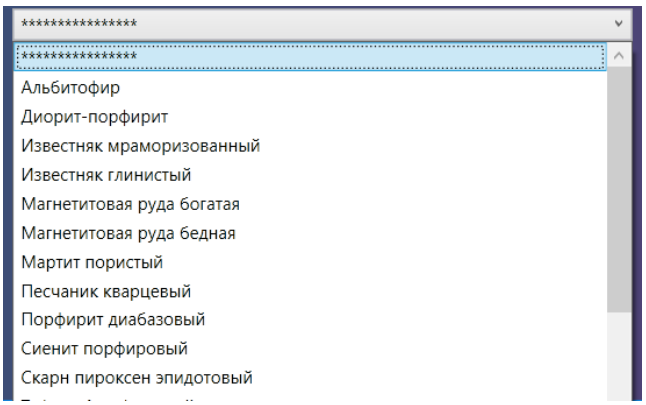


Рисунок 2.13. – Вид активного всплывающего окна

После внесения необходимых данных или выбора породы из всплывающего списка для расчета грансостава необходимо нажать на кнопку «Расчет», расположенную в нижней левой части программы (рис. 2.14).

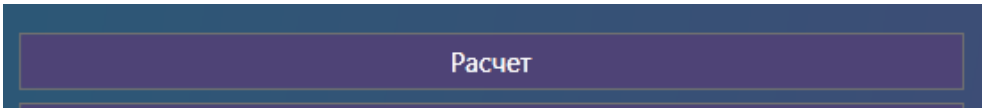


Рисунок 2.14. – Вид кнопки «Расчет»

Результат расчета грансостава будет выведен в правой части программы (рис. 2.15). Расчет проведен для диорит-порфирита. Расчетный гранулометрический состав взорванных горных пород Сарбайского карьера приведены в таблице 2.4.

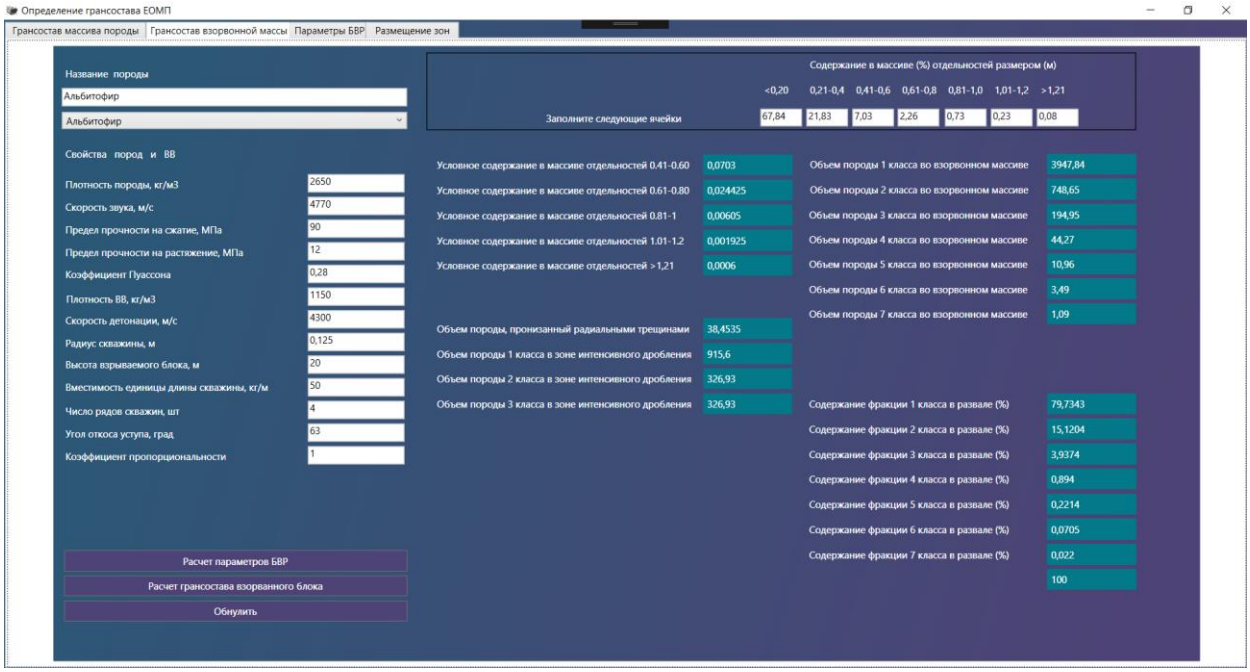


Рисунок 2.15. – Вид поля результатов расчета

2.1.3.2 Примеры использования программы для автоматизированного определения гранулометрического состава взорванной горной массы при различных условиях взрывания

Примеры использования программы для автоматизированного определения гранулометрического состава взорванной горной массы для конкретных пород Сарбайского карьера приведены ниже (рис. 2.16-2.21). При расчетах приняты рациональные параметры расположения зарядов ВВ в

уступе. Для наглядности приведены кумулятивные кривые грансостава взорванной породы. Сводные данные по этим расчетам сведены в табл. 2.4 Рациональные расчетные параметры БВР для различных пород Сарбайского карьера при уступе высотой 20м, $\bar{r}_{пр}$=1,3, $r_{пр}$=0,16 м. приведены в табл. 2.5.

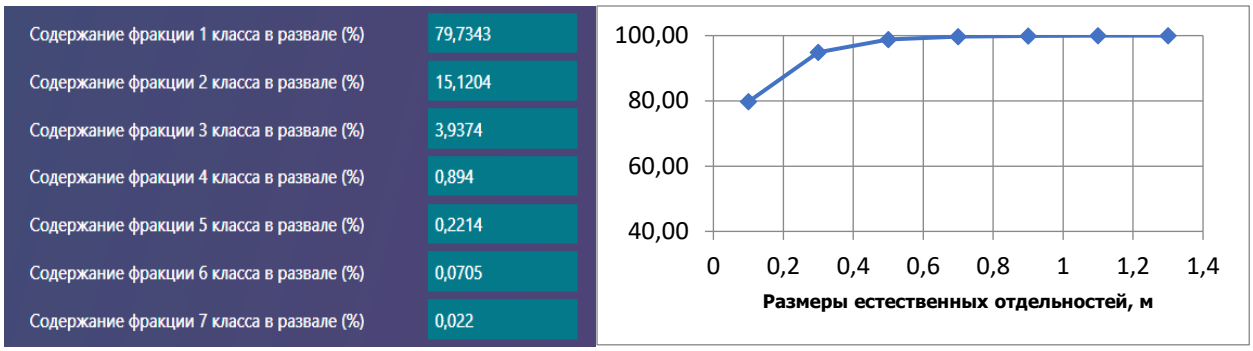


Рисунок 2.16. – Результат расчета грансостава взорванной горной массы и суммарного выхода фракций в альбитофировых рудах, блочности Б-1

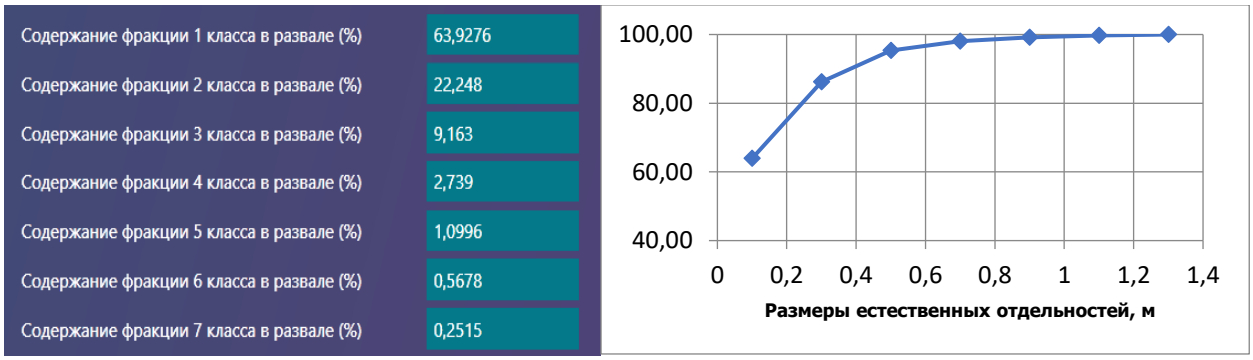


Рисунок 2.17. – Результат расчета грансостава взорванной горной массы и суммарного выхода фракций в диорит-порфиритовых рудах, блочности Б-2

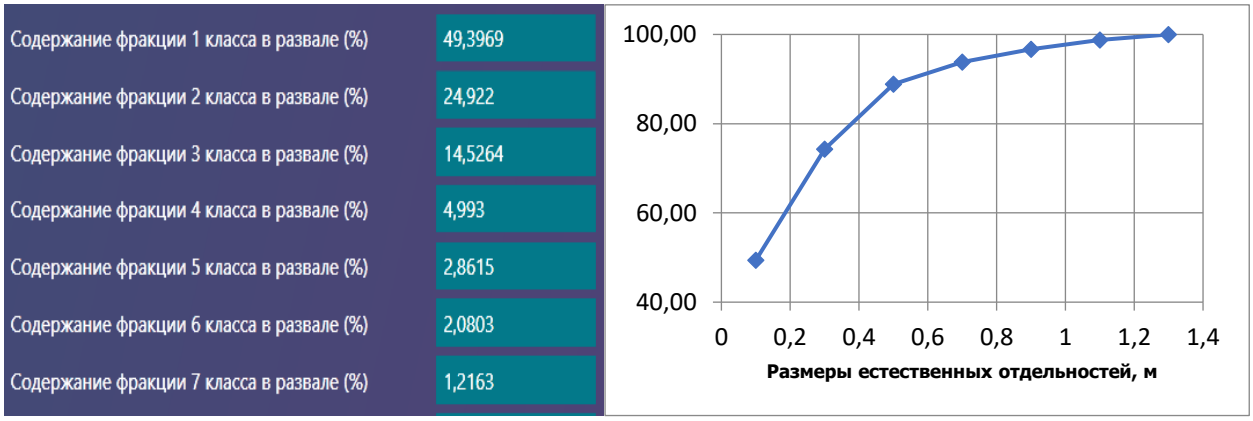


Рисунок 2.18. – Результат расчета грансостава взорванной горной массы и суммарного выхода фракций в магнетитовых рудах богатых, блочности Б-3

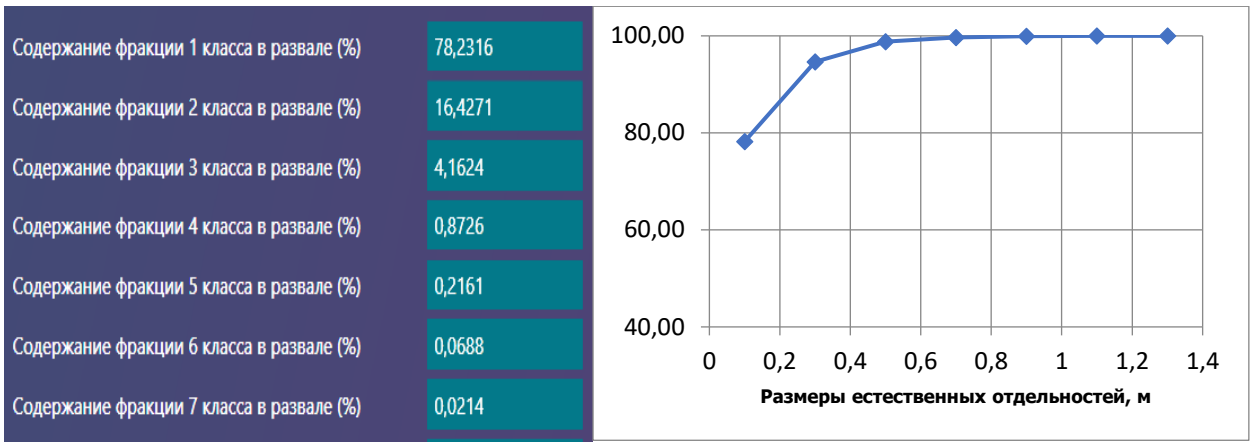


Рисунок 2.19. – Результат расчета грансостава взорванной горной массы и суммарного выхода фракций в туф альбитофировых рудах, блочности Б-1

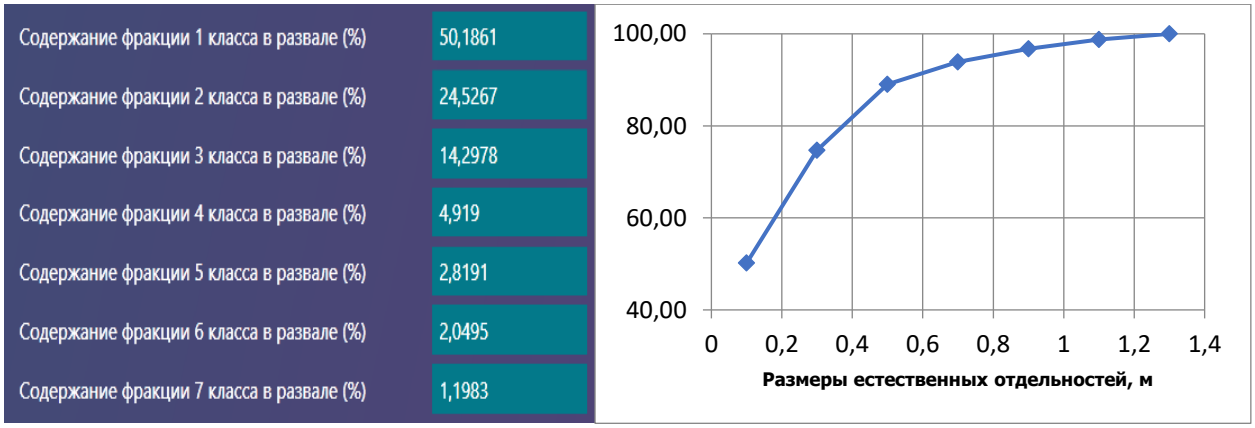


Рисунок 2.20. – Результат расчета грансостава взорванной горной массы и суммарного выхода фракций в скарнированных известняковых рудах, блочности Б-3

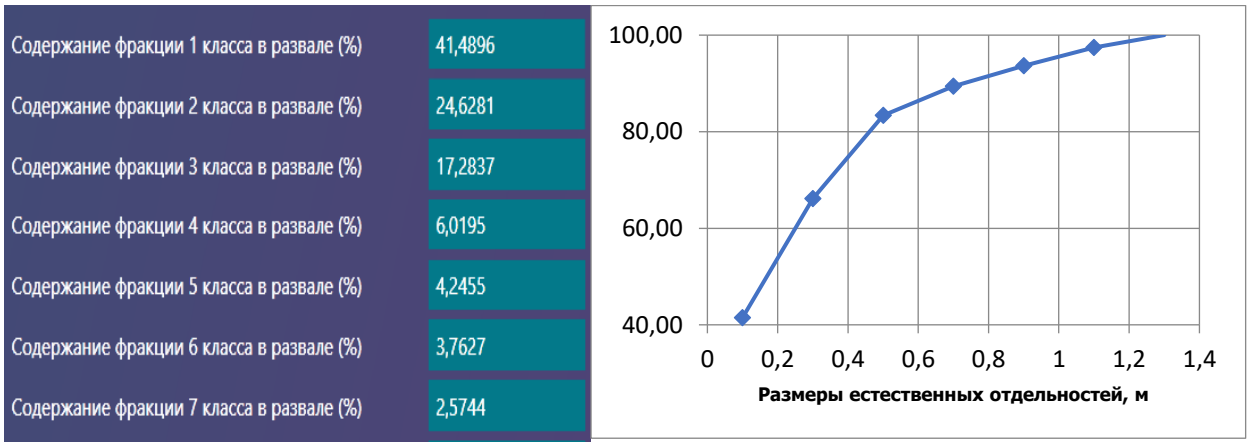


Рисунок 2.21. – Результат расчета грансостава взорванной горной массы и суммарного выхода фракций в роговиковых рудах, блочности Б-4

Таблица 2.4 Расчетный гранулометрический состав взорванной горной массы Сарбайского карьера при рациональных параметрах БВР

Породы и их блочность	Гранулометрический состав взорванной породы (%) размером (м)						
	<0,20	0,21-0,40	0,41-0,60	0,61-0,80	0,81-1,00	1,01-1,20	>1,20
Альбитофир Б1	79,73	15,12	3,94	0,89	0,22	0,07	0,02
Известняк глинистый Б1	76,77	17,64	4,40	0,88	0,22	0,07	0,02
Туф альбитофировый Б1	78,23	16,43	4,16	0,87	0,22	0,07	0,02
		16,4	4,16	0,88	0,22	0,07	0,02
	78,24	21,44			0,31		
Диорит-порфирит Б2	63,93	22,25	9,16	2,74	1,10	0,57	0,25
Известняк мраморизованный Б2	63,93	22,27	9,16	2,73	1,09	0,57	0,25
Мартит пористый Б2	64,25	21,98	9,08	2,76	1,11	0,57	0,25
Песчаник кварцевый Б2	64,33	21,99	9,06	2,71	1,09	0,56	0,25
Сиенит порфировый Б2	64,47	21,80	9,02	2,76	1,11	0,57	0,25
Туфы порфиры Б2	62,39	23,45	9,55	2,71	1,09	0,56	0,25
		22,29	9,17	2,73	1,09	0,57	0,25
	63,88	34,19			1,91		
Магнетитовая руда богатая Б3	49,40	24,92	14,53	4,99	2,86	2,08	1,22
Магнетитовая руда бедная Б3	51,39	23,62	13,85	4,98	2,86	2,08	1,21
Порфирит диабазовый Б3	53,78	21,90	13,00	5,07	2,91	2,11	1,24
Скарн пироксен эпидотовый Б3	51,65	23,30	13,72	5,08	2,91	2,12	1,24
Скарнированный известняк Б3	50,19	24,53	14,30	4,92	2,82	2,05	1,20
Крупнозернистый известняк Б3	50,13	24,48	14,29	4,97	2,85	2,07	1,21
		23,79	13,94	5,01	2,86	2,08	1,22
	51,09	42,74			6,16		
Роговики Б4	41,49	24,63	17,28	6,02	4,25	3,76	2,57
Эпидот-актинолитовые скарны Б4	43,53	23,19	16,39	6,12	4,32	3,83	2,62
Гранатовые скарны Б4	43,24	23,42	16,53	6,09	4,30	3,81	2,61
Оруденелые скарны Б4	44,87	22,00	15,69	6,32	4,46	3,95	2,70
Массивный известняк Б4	44,14	23,01	16,25	6,02	4,25	3,76	2,57
		23,25	16,42	6,11	4,31	3,82	2,61
	43,45	45,79			10,75		

Таблица 2.5 Расчетный гранулометрический состав взорванных горных пород Сарбайского и Куржункульского карьеров при фактических параметрах БВР

Горизонт, породы	№ замеров	Гранулометрический состав взорванных пород (%) размером (м)						
		<0,20	0,21–0,40	0,41–0,60	0,61–0,80	0,81–1,0	1,01–1,20	>1,21
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сарбайский карьер								
-360/-380 юго-запад; руда магнетитовая; крупноблочные (Б3)	1	51,49	25,18	14,33	4,02	2,31	1,68	0,98
-340-360 юг; диоритовые порфириты; среднеблочные (Б2)	2	67,63	21,51	8,22	1,55	0,62	0,32	0,14
-320-340 северо-запад; диоритовые порфириты; среднеблочные (Б2)	3	68,6	21,33	7,97	1,23	0,49	0,25	0,11
-180-200 восток; диоритовые порфириты; среднеблочные (Б2)	4	68,72	21,31	7,93	1,18	0,48	0,25	0,11
-260-280 ю/запад; диоритовые порфириты скарнированные сульфидами. Породы слаботрещиноватые и трудновзрываемые (Б2)	5	65,86	21,84	8,67	2,13	0,86	0,44	0,19
-260-280 запад.; диоритовые порфириты скарнированные слаботрещиноватые и очень трудновзрываемые (Б2)	6	67,58	21,52	8,23	1,57	0,63	0,32	0,14
-280-300; -275-280 запад.; диоритовые порфириты скарнированные, среднетрещи-новатые трудновзрываемые (Б2)	7	67,67	21,51	8,20	1,53	0,62	0,32	0,14
-300-320 запад.; диоритовые порфириты скарнированные, среднетрещиноватые трудновзрываемые (Б2)	8	65,8	21,84	8,68	2,15	0,86	0,45	0,19
-300-320 ю/запад. диоритовые порфириты среднетрещино-ватые, трудновзрываемые (Б2)	9	67,63	21,51	8,20	1,55	0,62	0,32	0,14
-340-360 северо-запад; диоритовые порфириты среднетрещиноватые, трудновзрываемые (Б2)	10	68,64	21,32	7,95	1,21	0,49	0,25	0,11

продолжение таблицы 2.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Куржункульский карьер								
+40/+25 северо-запад; магнетитовая руда бедная; крупноблочные (Б3); диоритовые порфириты; средне-мелкозернистые; среднеблочные (Б2)	11	50,96	23,58	13,90	5,17	2,96	2,15	1,26
+55+40 юго-восток; диоритовые порфириты средне-мелкозернистые; среднеблочные (Б2)	12	66,36	21,77	8,54	1,95	0,78	0,40	0,17
+70+55 юг; магнетитовая руда бедная, тонкозернистая; крупноблочные (Б3) диоритовые порфириты; среднеблочные (Б2)	13	51,14	23,6	13,88	5,08	2,9	2,12	1,24
+10/-5 север; блок сложен диоритовыми порфиритами, среднемелкозернистыми слабометасаматизир и рудой магнетитовой, бедной тонкозернистой (Б2)	14	66,27	21,76	8,56	1,99	0,80	0,41	0,18
+55/+40 сев./запад; блок сложен диоритовыми порфиритами, средне-мелкозернистыми слабометасаматизированной и рудой магнетитовой, бедной тонкозернистой (Б2)	15	65,17	21,95	8,84	2,36	0,95	0,49	0,22
+100/+85 юг; блок сложен диоритовыми порфиритами, средне-мелкозернистыми слабометасаматизированной и рудой магнетитовой, бедной тонкозернистой (Б2)	16	65,57	21,91	8,74	2,22	0,89	0,46	0,20
+145/+130 ю/запад; блок сложен диоритовыми порфиритами, средне-мелкозернистыми слабо-метасаматизированными (Б2)	17	65,68	21,85	8,71	2,21	0,89	0,46	0,20

Для проверки правомерности автоматизированного определении гранулометрического состава взорванных горных пород Сарбайского карьера (табл. 2.4) провели сравнение таковых с фактическими данными конкретных массовых взрывов. В этих целях выполнен автоматизированный расчет гранулометрического состава взорванных горных Сарбайского и Куржункульского карьеров (горизонты, породы взяты из табл. 2.2) с использованием фактических параметров массовых взрывов (табл. 2.3) В связи с заниженными значениями ЛСПП в расчетах они приняты равными 10 м. Результаты автоматизированного расчета сведены в табл.2.5.

Сопоставление фактически измеренного (табл. 2.2) и расчетного по разработанной методике автоматизированного определения гранулометрического состава взорванных горных пород Сарбайского и Куржункульского месторождений (табл. 2.5) показывает их полную идентичность. Среднее отклонение фракций размером до 0,2 м в среднеблочных массивах (Б-2) составляет не более 5%, в крупноблочных массива (Б-3) не более 1,0 %. Среднее отклонение крупных фракций (>1,2 м) от расчетного не превышает: в среднеблочные породах (Б-2) - 0,5%, в крупноблочных породах (Б-3)-0,3%.

В мелкоблочных массивах пород (Б-1) выход фракции размером меньше 0,21 находится на уровне 75-80%, выход негабаритов практически отсутствует (0,02%). В среднеблочных массивах пород (Б-2) эти показатели соответственно имеют значения 60-65% и 0,25%. В крупноблочных массивах пород (Б-3) они находится в переделах 50-55% и 1,0-1,3%. В весьма крупноблочных массивах пород (Б-4)-40-45% и 2,5-3,0%.

Распределение фракций между рассмотренными фракциями (менее 0,2 и более 1,2 м) во взорванной горной массе носит различный характер. Их содержание увеличится с ростом блочности массива пород. Такая закономерность имеет место в реальных условиях горных работ.

В целом, расчётный и фактический грансоставов взорванных пород находится в переделах допустимых отклонений. Это служит доказательством того, что принятые при вычислении объемов пород различных классов предположения соответствуют действительному механизму разрушения реального массива пород.

Разработанная методика является инновационной, впервые в горном деле реализован расчетный метод автоматизированного определения грансостава взорванной горной массы. Он базируется на учете предельного радиуса взрывной полости - фундаментального эффекта взрыва в твердой среде, который удачно взаимоувязывает исходные данные взрыва (физико-технические свойства массива пород, энергетические характеристики ВВ) и его конечные результаты

2.1.3.3 Тестирование программных продуктов для автоматизированного определения гранулометрического состава взорванной горной массы

В этих целях на карьерах АО «ССГПО»» совместно с работниками АО «ССГПО» были проведены четыре экспериментальных взрыва с расчетом прогнозируемого гранулометрического состава Взорванной горной массы.

Рекомендуемые параметры БВР к экспериментальному блоку №82 горизонт -360/-380 «запад» приведены в табл. 2.6. По геологическим данным выбранный блок состоит из диоритовых порфиритов IV категории взрываемости, который имеет следующие характеристики: плотность породы ρ = 2830 кг/м^3; скорость звука в породе с = 5100 м/с; пределы прочности на сжатие $\sigma_{сж}$ = 190 МПа и на растяжение $\sigma_р$ = 16 Мпа; коэффициент Пуассона ν = 0.24.

В качестве ВВ принят Гранулит-Э, имеющий следующие характеристики: плотность вещества ρ = 1150 кг/м^3; скорость детонации D = 3500 м/с.

Результаты экспериментального взрыва с параметрами и результатом БВР сведены в табл. 2.6. Измеренный гранулометрический состав взорванной горной массы приведен табл. 2.7. Фото гранулометрического состава взорванного блока горизонт -360-380 «запад» приведено на рис. 2.23.

По программному модулю «Гранулометрический состав взорванной горной массы» найден прогнозируемый гранулометрический состав взорванного экспериментального блока, который приведен на рис. 2.22. Как видно содержание фракций 1 класса (0-0,2 м) составляет 56,6%, 2 класса (0,2-0,4 м) 24,9%, 3 класса (0,4-0,6 м) 12,3%, 4 класса (0,6-0,8 м) 3,14%, 5 класса (0,8-1,0 м) 1,57%, 6 класса (1,0-1,2 м) 0,9%, 7 класса (>1,2 м) 0,4%.

Рисунок 2.22 – Прогнозируемый гранулометрический состав экспериментального блока -360/-380 «запад»

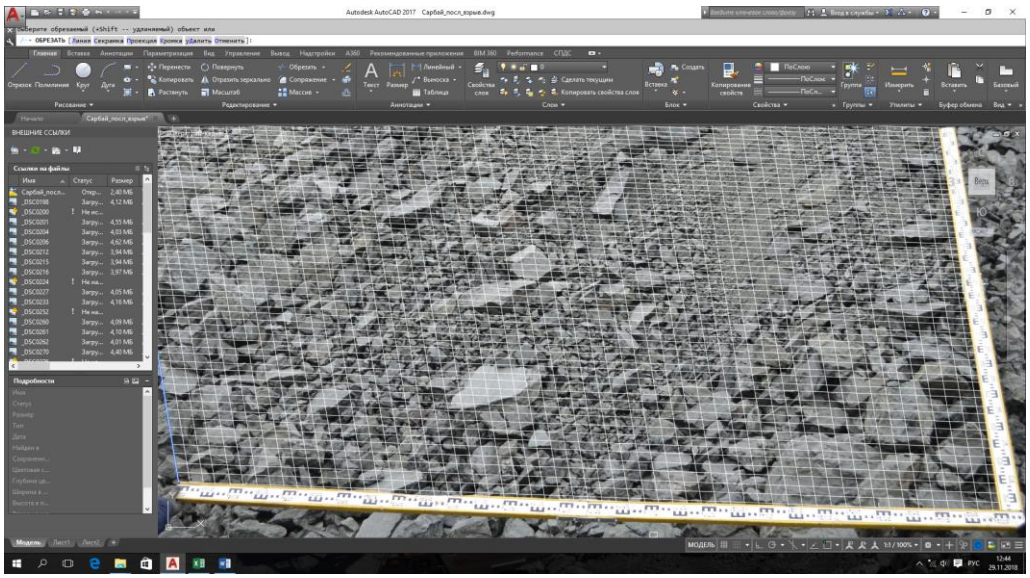


Рисунок 2.23 – Фото гранулометрического состава взорванного блока, Горизонт -360-380 запад. Порода – диоритовые порфириты.

Таблица 2.6 Расчетные и принятые параметры БВР

Параметры БВР	По программе	По УБВР	С учетом поправок
Всего скважин, шт	28	61	50
Вертикальных, шт	28	35	28
Наклонных, шт	0	26	22
Диаметр скважины, мм	245	245	245
Высота уступа, м	21	21	21
ЛСПП, м	7	2-6	3-9
Расстояние между скважинами, м	6,5	6	6,5
Расстояние между рядами скважин, м	6,5	6	6,5
Длина заряда над уровнем подошвы уступа, м	13	15	14
Длина незаряженной части скважины, м	8	6	7
Длина перебура скважины, м	2	3	2
Длина заряда в скважине, м	14.7	18	16
Глубина скважины, м	23	24	23
Масса заряда 0, кг	808	990	880
Масса заряда 15, кг	0	660	587
Масса заряда 30, кг	0	330	293
Удельный расход ВВ, кг/м^3	0,89	1,36	1,06
Выход горной массы м^3/пог.м	40,34	24,3	30
Объем блока, м^3	34000	35500	34000

Таблица 2.7 Гранулометрический состав взорванных пород (%) размером (м)

Горизонт, название породы	фото	Гранулометрический состав взорванных пород (%) размером (м)							
		<20	21-40	41-60	61-80	81-100	100-120	>120	Всего, %
-360-380 запад диорит-порфирит	1	56,3	24,84	10,26	6,01	1,41	1,07	0,11	100
	2	55,02	21,54	11,82	4,57	3,45	2,15	1,45	100
	3	54,57	19,43	12,14	4,77	4,56	2,57	1,96	100
	4	54,47	23,62	11,38	2,85	5,14	2,02	0,52	100
	5	56,39	21,43	13,57	4,75	2,23	1,58	0,05	100
	6	55,09	22,51	10,53	5,32	3,82	1,44	1,29	100
	7	50,12	23,01	13,31	4,75	3,74	3,11	1,96	100
	8	55,11	24,44	10,42	4,49	2,25	1,51	1,78	100
	9	53,25	22,25	11,15	4,26	4,06	3,12	1,91	100
	10	52,48	23,07	6,21	8,26	5,71	3,25	1,02	100
	11	55,14	28,05	5,17	5,15	3,12	2,43	0,94	100
	12	51,04	23,12	14,05	5,18	2,14	2,55	1,92	100
	13	55,47	25,03	12,45	4,46	1,52	1,03	0,04	100
	14	50,37	28,12	13,76	2,74	2,47	2,42	0,12	100
	15	54,08	27,31	15,02	1,12	1,32	1,13	0,02	100
	ср	53,56	23,93	12,95	3,99	2,82	1,84	0,9	100

Сопоставление данных рисунка 2.22 и таблицы 2.7 показывают, что процентное содержание фракций до 5-ого класса по расчету и фактическому измеренному грансоставу совпадает полностью. Отклонения этих содержаний в 5-7 классах лежат в пределах допустимых ошибок.

Рекомендуемые параметры БВР к экспериментальному блоку №97 горизонт -360/-380 «север» приведены в табл. 2.8. По геологическим данным выбранный блок состоит из диоритовых порфиритов IV категории взрываемости, который имеет следующие характеристики: плотность породы $\rho = 2830$ кг/м^3; скорость звука в породе $c = 5100$ м/с; пределы прочности на сжатие $\sigma_{сж} = 190$ МПа и на растяжение $\sigma_р = 16$ Мпа; коэффициент Пуассона $\nu = 0.18$.

В качестве ВВ принят Гранулит-Э, имеющий следующие характеристики: плотность вещества $\rho = 1050 \div 1150$ кг/м^3; скорость детонации $D = 3500$ м/с.

Результаты экспериментального взрыва с параметрами и результатом БВР сведены в табл. 2.8. Измеренный гранулометрический состав взорванной горной массы приведен табл. 2.9. Фото гранулометрического состава взорванного блока горизонт -360-380 «север» приведено на рис. 2.25.

Прогнозируемый гранулометрический состав взорванного экспериментального блока приведен на рис. 2.24. Как видно, содержание фракций 1 класса (0-0,2 м) составляет 52,37%, 2 класса (0,2-0,4 м) 22,75%, 3 класса (0,4-0,6 м) 13,48%, 4 класса (0,6-0,8 м) 5,3%, 5 класса (0,8-1,0 м) 3,17%, 6 класса (1,0-1,2 м) 2,0%, 7 класса (>1,2 м) 0,8%

Таблица 2.8 Расчетные и принятые параметры БВР

Параметры БВР	По программа	По УБВР	Рекомендованные параметры БВР
Всего скважин, шт	32	47	47
Вертикальных, шт	32	32	32
Наклонных, шт	0	15	15
Диаметр скважины, мм	245	245	245
Высота уступа, м	20	20-24	20-24
ЛСПП, м	7	6	2-6
Расстояние между скважинами, м	6	6	6
Расстояние между рядами скважин, м	6	6	6
Длина заряда над уровнем подошвы уступа, м	12,3	14-18	13,5-17,5
Длина незаряженной части скважины, м	7,7	6	6,5
Длина перебура скважины, м	2	3	2,5
Длина заряда в скважине, м	14.3	17-21	16-20
Глубина скважины, м	22	23	22,5-26,5
Масса заряда в скважине под углом 0°, кг	785	935-1155	880-1100
Масса заряда в скважине под углом 15°, кг	0	623-770	586,6-733,3
Масса заряда в скважине под углом 30°, кг	0	311,7-385	293-366,7
Удельный расход ВВ, кг/м^3	1,05	1,58	1,54
Объем буровых работ, п.м	704	1258,5	1211,5
Выход горной массы м^3/пог.м	33,8	21,77	22,60
Объем блока, м^3	27400	27400	27400

Рисунок 2.24 – Прогнозируемый гранулометрический состав экспериментального блока -360/-380 «север»

Таблица 2.9 Гранулометрический состав взорванных пород (%) размером (м)

Горизонт, название породы	фото	Гранулометрический состав взорванных пород (%) размером (м)							
		<20	21-40	41-60	61-80	81-100	100-120	>120	Всего, %
-360-380 север диорит-порфирит	1	48,01	22,75	15,84	6,58	3,47	3,45	0,12	100
	2	51,61	20,53	12,38	6,58	3,93	3,67	1,36	100
	3	58,65	17,52	9,64	5,68	6,75	1,74	1,46	100
	4	50,04	21,57	10,67	7,68	4,34	2,69	1,97	100
	5	56,45	16,49	8,67	7,85	4,95	3,46	1,88	100
	6	48,38	19,57	17,68	8,81	3,64	1,97	0,14	100
	7	48,17	25,15	12,78	4,89	5,87	2,64	0,64	100
	8	45,67	23,71	15,79	3,85	5,96	2,12	1,42	100
	9	47,64	22,54	19,24	2,81	3,74	2,34	1,41	100
	10	51,84	19,87	16,92	5,85	3,36	1,64	0,24	100
	11	53,61	17,45	13,29	7,82	3,92	3,19	0,38	100
	12	47,57	19,47	17,81	9,34	3,14	1,64	1,39	100
	13	46,34	24,67	15,64	6,82	3,63	2,68	0,64	100
	14	47,95	27,64	14,58	3,08	3,86	2,46	0,49	100
	15	47,99	25,82	10,61	6,54	5,69	2,64	0,6	100
	16	48,82	25,29	15,58	3,84	4,41	1,34	0,38	100
	17	47,18	23,28	16,73	5,57	3,68	2,64	0,94	100
	18	54,78	21,75	10,64	6,99	3,75	1,49	0,75	100
	19	50,57	26,57	15,67	2,75	2,38	1,64	0,69	100
	20	38,68	28,98	17,37	5,45	5,12	3,65	0,48	100
	ср	49,55	22,53	14,38	5,94	4,28	2,45	0,87	100

Рисунок 2.25– Фото гранулометрического состава взорванного блока, Горизонт -360-380 север. Порода – диоритовые порфириты.

Сопоставление данных рисунка 2.24 и таблицы 2.9 показывают, что процентное содержание фракций всех классов по расчету и факту коррелирует удовлетворительно.

Рекомендуемые параметры БВР к экспериментальному блоку №47 горизонт -215/-230м «северо-восток» приведены в табл. 2.10. По геологическим данным выбранный блок состоит из магнетитовых руд бедных IV категории взрываемости, который имеет следующие характеристики: плотность породы ρ = 3240 кг/м^3; скорость звука в породе с = 4900 м/с; пределы прочности на сжатие $\sigma_{сж}$ = 214 МПа и на растяжение $\sigma_р$ = 22 МПа; коэффициент Пуассона ν = 0.3.

В качестве ВВ принят Гранулит- ЭМ, имеющий следующие характеристики: плотность вещества ρ = 1430÷1470 кг/м^3; скорость детонации D = 3500 м/с.

Результаты экспериментального взрыва с параметрами и результатом БВР сведены в таблицу 2.11. Измеренный гранулометрический состав взорванной горной массы приведен табл. 2.10. Фото гранулометрического состава взорванного блока горизонт -215/-230 «северо-восток» приведено на рис.2.27.

Прогнозируемый гранулометрический состав взорванного экспериментального блока приведен на рис 2.26. Как видно, содержание фракций 1 класса (0-0,2 м) составляет 53,26%, 2 класса (0,2-0,4 м) 23,97%, 3 класса (0,4-0,6 м) 13,70%, 4 класса (0,6-0,8 м) 4,22%, 5 класса (0,8-1,0 м) 2,51%, 6 класса (1,0-1,2 м) 1,63%, 7 класса (>1,2 м) 0,67%

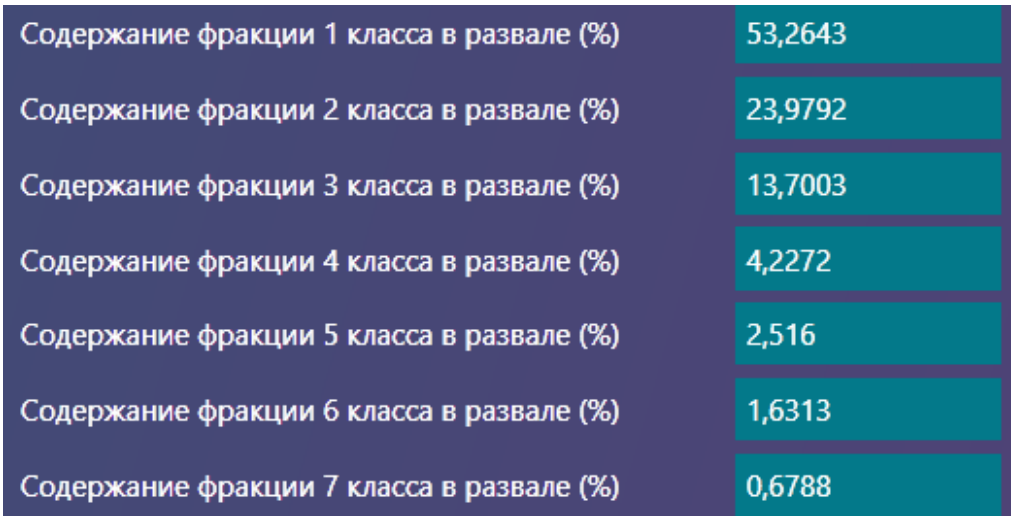


Рисунок 2.26– Прогнозируемый гранулометрический состав экспериментального блока -215/-230 «северо-восток»

Рисунок 2.27– Фото гранулометрического состава взорванного блока, Горизонт -215-230 «северо-восток». Порода – диоритовые порфириты.

Таблица 2.10 Гранулометрический состав взорванных пород (%) размером (м)

Горизонт, название породы	фото	Гранулометрический состав взорванных пород (%) размером (м)							
		<20	21-40	41-60	61-80	81-100	100-120	>120	Всего, %
-215-230 северо-восток Магнетитовые руды бедные	1	51,86	26,53	10,48	5,64	1,95	2,97	0,57	100
	2	54,73	21,16	14,83	3,91	2,76	1,76	0,85	100
	3	51,12	20,05	15,92	5,45	2,98	2,87	1,61	100
	4	51,8	26,21	11,12	6,82	2,64	0,93	0,48	100
	5	50,69	21,38	14,15	6,46	2,64	3,71	0,97	100
	6	49,45	23,68	12,06	10,38	2,69	1,39	0,35	100
	7	48,12	21,49	15,72	9,2	2,64	1,87	0,96	100
	8	52,15	24,19	12,13	6,86	2,2	1,69	0,78	100
	9	53,26	23,97	12,98	5,49	2,91	0,72	0,67	100
	10	47,18	25,12	11,28	9,66	2,94	1,89	1,93	100
	11	52,21	27,53	8,67	5,58	3,78	1,34	0,89	100
	12	50,4	24,78	12,34	5,91	3,64	1,94	0,99	100
	13	47,97	23,61	12,15	10,72	3,37	1,49	0,69	100
	14	52,33	21,45	15,02	5,53	3,18	1,64	0,85	100
	15	54,85	22,67	13,05	5,36	2,43	0,97	0,67	100
	ср	51,12	23,43	13,12	6,83	2,86	1,80	0,84	100

Таблица 2.11 Расчетные и принятые параметры БВР

Параметры БВР	По программа	По УБВР	Рекомендованные параметры БВР
Всего скважин, шт	34	53	40
Вертикальных, шт	34	42	34
Наклонных, шт	0	11	6
Диаметр скважины, мм	245	245	245
Высота уступа, м	17	17-18	17-18
ЛСПП, м	8	4-8	4-8
Расстояние между скважинами, м	7	6	7
Расстояние между рядами скважин, м	7	6	7
Длина заряда над уровнем подошвы уступа, м	10,3	11-12	10,5-11,5
Длина незаряженной части скважины под углом 0°, м	6,7	6	6,5
Длина незаряженной части скважины под углом 15°, м	0	11,5	11,5
Длина незаряженной части скважины под углом 30°, м	0	17,5	18
Длина забойки скважины под углом 0°, м	6,7	6	6,5
Длина забойки скважины под углом 15°, м	0	6	6,5
Длина забойки скважины под углом 30°, м	0	6	6,5
Длина перебура скважины, м	2	2	2
Длина заряда в скважине под углом 0°, м	12,3	13-14	12,5-13,5
Длина заряда в скважине под углом 15°, м	0	9	8,5
Длина заряда в скважине под углом 30°, м	0	4,5	4,5
Глубина скважины под углом 0°, м	19	19-20	19-20
Глубина скважины под углом 15°, м	0	20	20
Глубина скважины под углом 30°, м	0	22	22
Масса заряда в скважине под углом 0°, кг	847,14	715-770	862,5-931,5
Масса заряда в скважине под углом 15°, кг	0	477	575
Масса заряда в скважине под углом 30°, кг	0	238	287,5
Удельный расход ВВ (Гранулит-Э), кг/м^3	-	1,33	-
Удельный расход ВВ (Гранулит-ЭМ), кг/м^3	0,96	-	1,27
Объем буровых работ, п.м	646	1020	784
Выход горной массы м^3/пог.м	46	25,88	33,67
Объем блока, м^3	26400	26400	26400

Сопоставление данных рисунка 2.26 и таблицы 2.10 показывают, что процентное содержание фракций всех классов по расчету и факту коррелирует удовлетворительно.

Рекомендуемые параметры БВР к экспериментальному блоку №8 горизонт -215/-230 «юго-восток» приведены в табл. 2.12 По геологическим данным выбранный блок состоит из магнетитовых руд бедных IV категории взрываемости, который имеет следующие характеристики: плотность породы $\rho = 3240$ кг/м^3; скорость звука в породе $c = 4900$ м/с; пределы прочности на сжатие $\sigma_{сж} = 214$ МПа и на растяжение $\sigma_р = 22$ Мпа; коэффициент Пуассона $\nu = 0.3$.

В качестве ВВ принят Гранулит- ЭМ, имеющий следующие характеристики: плотность вещества $\rho = 1430 \div 1470$ кг/м^3; скорость детонации $D = 3500$ м/с.

Результаты экспериментального взрыва с параметрами и результатом БВР сведены в таблицу 2.12.

Таблица 2.12 Расчетные и принятые параметры БВР

Параметры БВР	По программе	По скорректированной программе	По УБВР	Рекомендованные параметры БВР
Всего скважин, шт	35	49	65	49
Вертикальных, шт	35	35	47	35
Наклонных, шт	0	14	18	14
Диаметр скважины, мм	245	245	245	245
Высота уступа, м	15	17	16-17	17
ЛСПП, м	8	8,3	3-6	7
Расстояние между скважинами, м	6,8	7	6	7
Расстояние между рядами скважин, м	6,8	7	6	7
Длина заряда над уровнем подошвы уступа, м	8,81	10,21	10-11	10,2
Длина незаряженной части скважины, м	6,19	6,79	6	6,8
Длина перебура скважины, м	1,82	2,06	2	2
Длина заряда в скважине, м	10,63	12,28	12-13	12,2
Глубина скважины, м	16,82	19	18-19	19
Масса заряда в скважине под углом 0°, кг	723	834	816-884	829,6
Масса заряда в скважине под углом 15°, кг	0	556	544-589	553
Масса заряда в скважине под углом 30°, кг	0	278	272-294	276,5
Удельный расход ВВ, кг/м^3	0,98	1,11	1,7	1,24
Объем буровых работ, п.м	588	855	1133	855
Выход горной массы м^3/пог.м	43,7	33,72	26,1	33,45
Объем блока, м^3	26200	32054	29600	28600

Прогнозируемый гранулометрический состав взорванного экспериментального блока приведен на рис 2.28. Как видно содержание фракций 1 класса (0-0,2 м) составляет 52,18%, 2 класса (0,2-0,4 м) 23,64%, 3 класса (0,4-0,6 м) 13,75%, 4 класса (0,6-0,8 м) 4,66%, 5 класса (0,8-1,0 м) 2,67%, 6 класса (1,0-1,2 м) 1,94%, 7 класса (>1,2 м) 1,13%.

Приведенные фактические данные гранулометрического состава взорванных пород в экспериментальных блоках подтверждают работоспособность программного модуля «Гранулометрический состав взорванной горной массы»

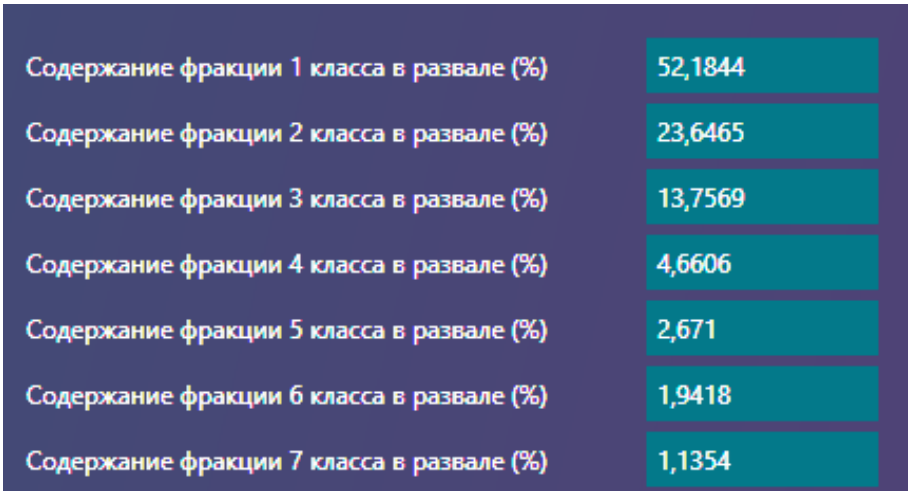


Рисунок 2.28– Прогнозируемый гранулометрический состав экспериментального блока -215/-230 «юго-восток»

2.2 ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ «РАЗМЕЩЕНИЕ РАЗНОРОДНЫХ ПОРОД В РАЗВАЛЕ»

2.2.1 Установление закономерностей размещения частей взрываемого блока в развале

Для установления внутренней структуры развала пород возникает необходимость введения понятия о координатных сетках взрываемого и взорванного блоков уступа. В этих целях взрываемый блок нужно разбить на определенное число частей плоскостями, проведенными параллельно откосу уступа и горизонту. Например, при однорядном расположении скважин взрываемый блок указанными плоскостями необходимо разбить на 16 равных частей (см.рис. 2.29). При двухрядном расположении скважин взрываемый блок разбивается на 24 части, т.е. к рассмотренному при однорядных скважинах добавляются два наклонных равновеликих слоя толщиной, равной половине расстояния между рядами скважин. (см.рис. 2.30). При четырехрядном расположении скважин блок разбивается на 40 части, т.е. с очередным увеличением количества рядов скважин прибавляется по два наклонных слоя (см.рис. 2.31).

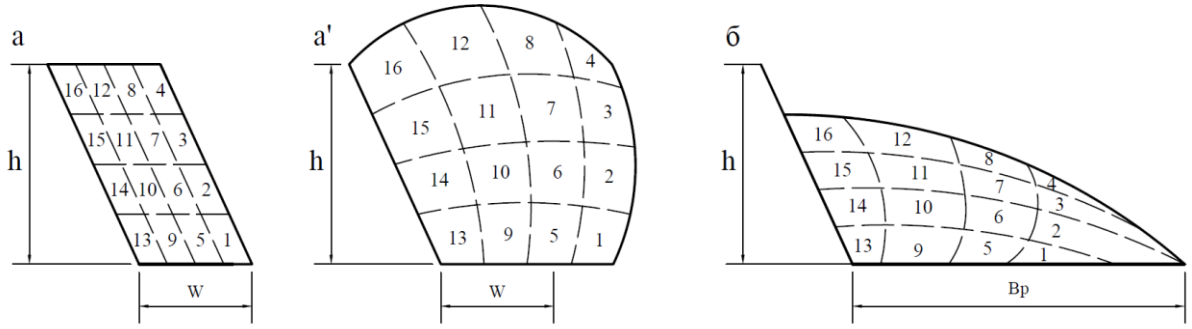
Следы горизонтальных разбивающих плоскостей в разрезе уступа представляют собой горизонтальные оконтуривающие линии элементов уступа. В их число входят также следы кровли и подошвы уступа. Аналогично следы наклонных разбивающих плоскостей представляют собой наклонные оконтуривающие линии рассматриваемых частей уступа. Оконтуривающие наклонные линии включают в свой состав линию откоса уступа и линию отрыва взрываемого блока от массива пород.

Ранее проведенными исследованиями [54,83,84] установлены закономерности размещения фиксированных частей уступа в развале. Положения рассматриваемых линий при различных способах взрывания в развале взорванной горной массы приведены на рис. 2.29-2.32

Как видно, в рассмотренных случаях оконтуривающие фиксированные элементы уступа (1-40) линии во взорванном состоянии претерпевают определенную деформацию. Так, при однорядном взрывании первая наклонная оконтуривающая линия (откос уступа) после взрыва располагается на подошве уступа и в верхнем удаленном районе отброшенной части развала (см.рис. 2.29) Вторая (первая от откоса уступа) наклонная оконтуривающая линия в развале имеет дугообразную форму с наименьшим радиусом кривизны, а третья и четвертая наклонные линии – дуги с большими радиусами кривизны (см.рис. 2.29). По длине эти наклонные оконтуривающие отрезки изменяются незначительно. В то же время все горизонтальные оконтуривающие линии удлиняются сильно (до 2 раз). Наибольшей

деформации подвергается срединная горизонтальная оконтуривающая линия (см.рис. 2.29).

При двухрядном КЗВ линия откоса уступа в развале располагается как при однорядным взрывании, несколько уменьшаясь по длине в верней части развала. Вторая оконтуривающая наклонная линия в верхней части развала получает наклон в сторону перемещения (см.рис. 2.30). Аналогическую деформацию в меньшем масштабе имеет и третья оконтуривающая линия. Все последующие оконтуривающие наклонные линии в верней части развала сдвинуты относительно своего первоначального положения в сторону перемещения взорванной массы (см.рис. 2.30).



а-в массиве, а’-в инерциальном полете, б-в развале

Рисунок 2.29 – Схема размещения частей уступа при однорядном взрывании

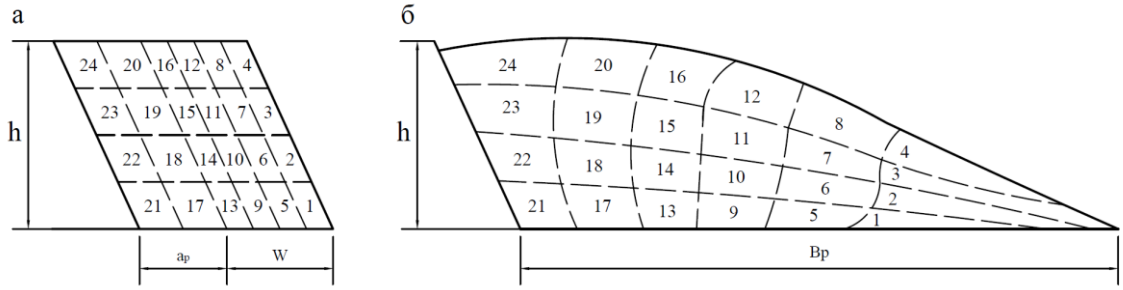


Рисунок 2.30 – Схема размещения частей уступа в массиве и развале пород при двухрядном КЗВ

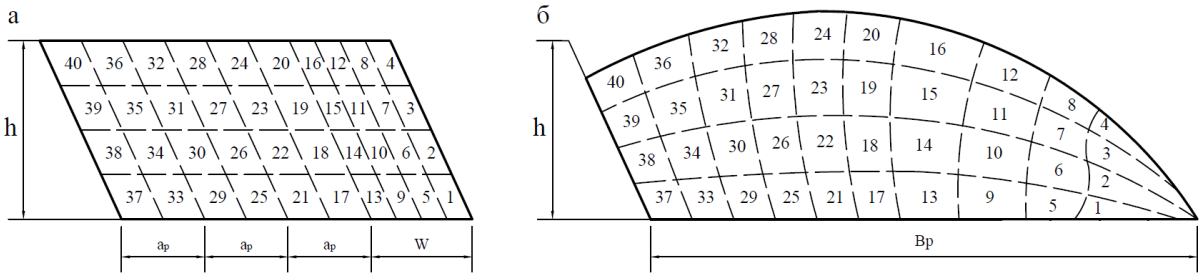


Рисунок 2.31 – Схема размещения частей уступа при четырехрядном КЗВ на свободную поверхность

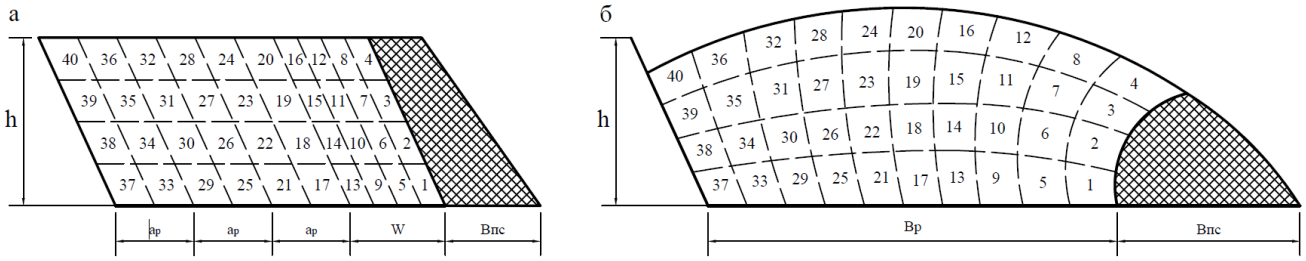


Рисунок 2.32 – Схема размещения частей уступа при четырехрядном КЗВ на подпорную стенку

При четырехрядном КЗВ на свободную поверхность вторая (первая от откоса уступа) наклонная оконтуривающая линия имеет двоякую кривизну, как и в случае двухрядного КЗВ (см. рис. 2.31). Остальные наклонные отрезки имеют наклон в сторону перемещения пород, который уменьшается по мере приближения к контуру отбиваемого слоя уступа. Их длины больше чем в массиве. Относительное удлинение горизонтальных оконтуривающих линий заметно меньше, чем при однорядном взрывании (см.рис. 2.29 и 2.31).

При трехрядном КЗВ на подпорную стенку все наклонные оконтуривающие отрезки выпрямляются, их длина увеличивается (см. рис. 2.32). Чем больше ширина подпорной стенки, тем длиннее эти отрезки (до максимального значения). Горизонтальные оконтуривающие отрезки имеют наименьшую деформацию по сравнению со взрыванием на свободную поверхность (см. рис. 2.31 и 2.32).

Из проведенного анализа следует, что местоположения, геометрические характеристики элементов взорванного блока в развале тесно взаимосвязаны с положением их оконтуривающих линий в развале взорванных пород. Для выявления этих взаимосвязей совокупность взаимно пересекающихся горизонтальных и наклонных оконтуривающих линий частей (элементов) взрываемого блока массива (в разрезе) названа координатной сеткой взрываемого блока. Совокупность взаимно пересекающихся деформированных горизонтальных и наклонных оконтуривающих линий частей уступа в развале названа координатной сеткой взорванного блока (в разрезе). Деформированные оконтуривающие линии в развале в общем случае имеют неправильную геометрическую форму, их длины и расстояния между ними различны [83, 84, 96].

Совместное использование координатных сеток взрываемого и взорванного блоков позволяет установить внутреннюю структуру развала пород, найти места расположения различных элементов уступа в развале, установить их конфигурации и другие геометрические характеристики.

Для этого контуры рассматриваемых фигур в выбранном масштабе необходимо нанести на координатную сетку взрываемого блока, а по

координатной сетке взорванного блока установить их деформированные контуры[96].

2.2.2 Графо-аналитическое определение зон мелкого, среднего и крупного дробления в развале пород

При взрывной подготовке горных пород к выемке немаловажным ее результатом является распределение кусков пород в развале по крупности, так как оно предопределяет эффективную работу выемочно-погрузочного оборудования. Предварительное знание характера распределения кусков раздробленных пород в развале позволит работникам производства заблаговременно принять меры к устранению нежелательных ситуаций, а если это по технологическим причинам не предотвратимо, то наилучшим образом организовать работу горно-транспортного оборудования.

Размещение различных зон дробления непосредственно связано с расположением различных частей (элементов) уступа в развале пород. Последние в полной мере характеризуются положением оконтуривающих линий этих частей в развале, т.е. координатной сеткой взорванного блока.

Совместно используя предлагаемые координатные сетки несложно установить места расположения зон мелкого, среднего и крупного дробления пород при различных способах взрывания. Для этого контуры заданных геометрических фигур в выбранном масштабе наносятся на координатную сетку взрываемого блока. Фиксируются их характерные точки(части). В соответствующих ячейках координатной сетки развала определяются положения изучаемых точек. Далее путем соединения найденных точек плавной кривой устанавливаются деформированные контуры заданных фигур в развале, следовательно, их размещение во взорванной горной массе.

Для решения поставленных конкретных задач на поперечном разрезе взрываемого блока вычерчиваются размеры зон мелкого, среднего и крупного дробления в принятом масштабе (рис. 2.33а – 2.35а). Причем зона мелкого дробления располагается вблизи взорванного заряда ВВ, затем размещается зона среднего дробления. Зона крупного дробления охватывает породы в области кровли и откоса уступа. Размещение этих зон в развале представлены на рис. 2.33б-2.35б.

Объемы этих зон могут быть найдены расчетным путем. Обычно к первой зоне относят куски размером до 0,20 м, ко второй зоне — куски размером от 0,21 по 0,80 м и к третьей зоне — фракции размером более 0,81 м. При соблюдении рациональных параметров буровзрывных работ, как видно из табл. 2.4 на 20-метровых уступах объем зоны мелкого дробления составляет (%): в мелкоблочных породах — 75-80%, в среднеблочных— 60-65% и в крупноблочных породах — 50-55%, в весьма крупноблочных

массивах 40-45%. Объем зоны среднего дробления соответственно составляет 20-25, 30-35, 40-45 и 45-50%, объем зоны крупного дробления соответственно составляет – 0,3-0,4, 1,5-2,0, 6,0-7,0 и 10-12%.

Как видно из рис. 2.33а, при однорядном взрывании первая зона в уступе располагается в районе взорванного заряда, а в развале несколько вытягивается в направлении линии наименьшего сопротивления (ЛНС). Вторая зона во взрываемом блоке размещается за пределами первой зоны в районе забойки и первых двух наклонных слоев, а в развале — за первой зоной в виде скобообразного слоя. Третья зона в массиве располагается в верхней части и на откосе уступа, а после взрыва — в верхнем и нижнем слоях развала.

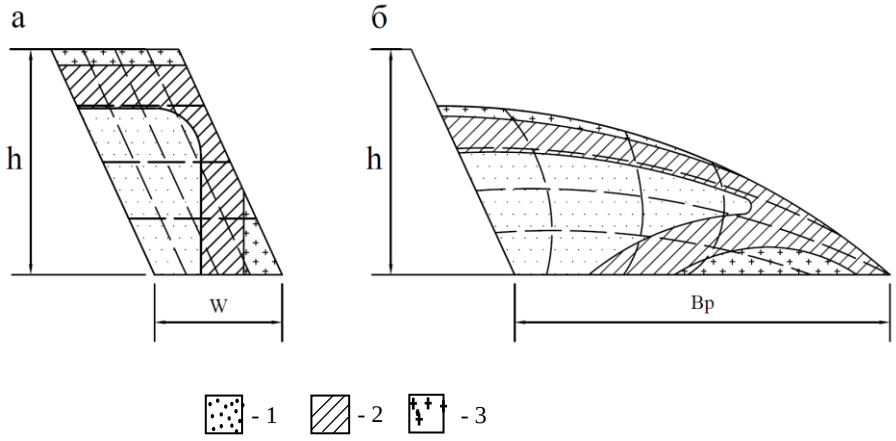


Рисунок 2.33 – Размещение зон дробления при однорядном взрывании.
Зоны дробления: 1 - мелкого, 2 - среднего, 3 – крупного

В случае четырехрядного КЗВ на свободную поверхность в районе влияния зарядов первого ряда характер разрушения уступа аналогичен дроблению при однорядном вызрываниям. В области действия зарядов второго и третьего рядов значительно увеличиваются объемы первых двух зон. Первая зона дробления располагаясь вокруг взорванных зарядов указанных рядов скважин, сливаются (см.рис. 2.33а, рис. 2.34а). Вторая зона располагается в районе верхних двух горизонтальных слоев толщиной, равной мощности одного горизонтального слоя. В отброшенной части развала размещение зон дробления такое же, как при однорядном взрывании. В остальной части развала размещение зон дробления аналогично таковому в массиве. В условиях рассмотренных карьеров крупные фракции во взорванном блоке преимущественно располагаются в их верхней части (см. рис. 2.33 б, 2.34 б).

При четырехрядном КЗВ на подпорную стенку (см. рис. 2.35) как и в предыдущем случае, во взорванной массе значительно увеличиваются объемы

зон мелкого и среднего дробления за счет увеличения размеров зоны интенсивного дробления пород. Зона крупного дробления более сконцентрировано, чем при четырехрядном КЗВ на свободную поверхность (см. рис. 2.34б, 2.35.б).

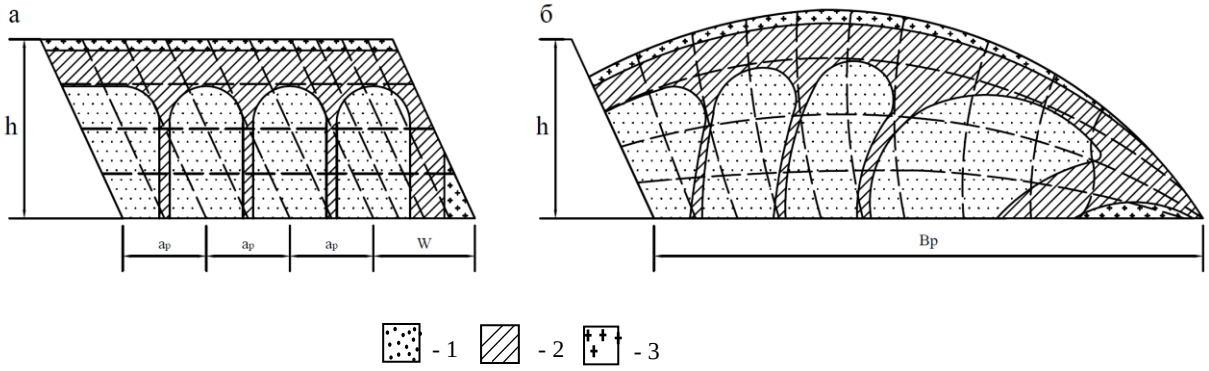


Рисунок 2.34 – Размещение зон дробления при трехрядном взрывании.
Зоны дробления: 1 - мелкого, 2 - среднего, 3 – крупного

Размеры рассмотренных зон дробления и соотношения между ними, следовательно, внутренняя структура развала, различны для разных условий взрывания. Они зависят от основных факторов, предопределяющих качество дробления взорванной горной массы [96].

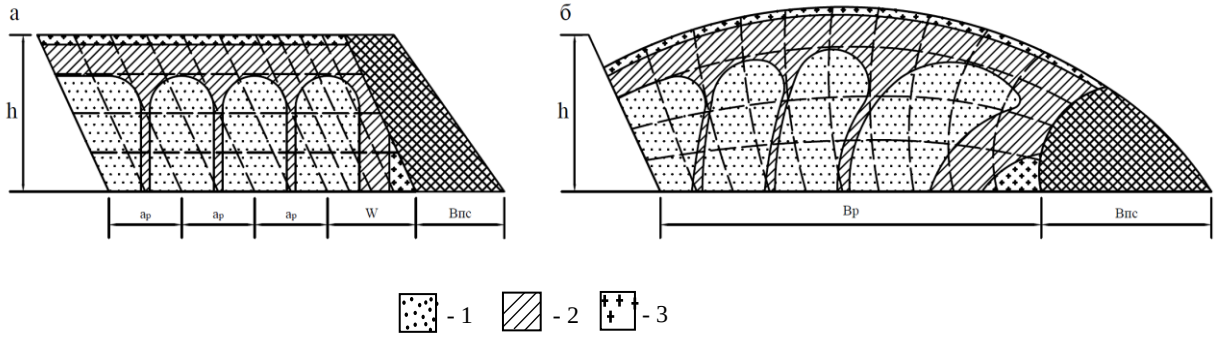


Рисунок 2.35 – Размещение зон дробления при трехрядном КЗВ на подпорную стенку.
Зоны дробления: 1 - мелкого, 2 - среднего, 3 – крупного

2.2.3 Геометрические характеристики элементов взорванного блока уступа

К геометрическим характеристикам элементов взорванного блока относятся их площади, оконтуривающие линии, коэффициенты разрыхления элементов по горизонтальным и наклонным слоям и координаты узловых точек координатной сетки взорванного блока. Они представлены на рис. 2.33, 2.34, 2.35.

На основе работ [64,85], ниже приведены примеры расчетного определения указанных характеристик элементов взорванного блока для диорит-порфиритов Сарбайского карьера. Характеристики пород: $\rho_0 = 2830$ кг/м^3, $c = 5100$ м/с, $\sigma_{сж} = 190$ МПа, $\sigma_р = 16$ МПа, $\nu = 0{,}24$. Параметры расположения зарядов: высота уступа $h = 15{,}0$ м, линия сопротивления по подошве уступа $W = 10{,}0$ м, расстояние между скважинами $a = 7{,}5$ м, между рядами скважин $a_р = 7{,}5$ м, длина перебура $l_n = 2{,}0$ м, длина забойки $l_з = 7{,}0$ м, масса скважинного заряда $Q = 450$ кг. Расположение скважин однорядное, четырехрядное. Взрывание короткозамедленное (КЗВ) на свободную плоскость и с подпорной стенкой. Ширина отброшенной части развала 22,0 м. Ширина подпорной стенки по верху $B_{пс} = 3{,}0$ м, по низу $B_{пс} = 6{,}0$ м. Ширина подпорной стенки по низу входит в состав ширины отброшенной части развала. Удельный расход ВВ при однорядном взрывании $q = 0{,}4$ кг/м^3, четырехрядном взрывании $q = 0{,}49$ кг/м^3.

Схемы размещения элементов взорванного уступа при различных условиях взрывания в масштабе 1:468,75 приведены на рис. 2.33, 2.34, 2.35. Площади и коэффициенты разрыхления пород в зонах взорванного блока вычислены с использованием программы AutoCad. В данном случае слоями взорванного блока, соответствующими искомым точкам координатной сетки являются зоны массива или развала породы, ограниченные откосом уступа в тыльной части, нижней площадкой уступа и оконтуривающими линиями, которым принадлежат искомые точки. Они сведены в табл. 2.13-2.15. Нумерация слоев по вертикали γ ($\gamma = 1{,}2 \ldots 4$) ведется снизу вверх, а по горизонтали δ ($\delta = 1{,}2 \ldots 10$) слева на право. Этому порядку соответствуют индексы рассматриваемых характеристик элементов взорванного блока ($S^*_{1,1}, S^*_{1,2}, .., S^*_{4,10}; k^*_{p1,1}, k^*_{p1,2}, .., k^*_{p4,10}$). Площади приведены в кв. метрах (м^2).

Таблица 2.13. Площади и коэффициенты разрыхления пород в слоях взорванного блока при однорядном взрывании

S^*_{11}	S^*_{12}	S^*_{13}	S^*_{14}	S^*_{21}	S^*_{22}	S^*_{23}	S^*_{24}
10,59	21,33	32,15	44,85	25,03	50,47	76,94	107,68
S^*_{31}	S^*_{32}	S^*_{33}	S^*_{34}	S^*_{41}	S^*_{42}	S^*_{43}	S^*_{44}
39,75	81,82	125,14	175,04	54,72	113,83	174,96	244,18
k^*_{p11}	k^*_{p12}	k^*_{p13}	k^*_{p14}	k^*_{p21}	k^*_{p22}	k^*_{p23}	k^*_{p24}
1,13	1,14	1,14	1,20	1,33	1,35	1,37	1,44
k^*_{p31}	k^*_{p32}	k^*_{p33}	k^*_{p34}	k^*_{p41}	k^*_{p42}	k^*_{p43}	k^*_{p44}
1,41	1,45	1,48	1,56	1,46	1,52	1,56	1,63

Таблица 2.14. Площади и коэффициенты разрыхления пород в слоях взорванного блока при четырехрядном КВЗ на свободную поверхность

S_{11}^*	S_{12}^*	S_{13}^*	S_{14}^*	S_{15}^*	S_{16}^*	S_{17}^*	S_{18}^*	S_{19}^*	$S_{1,10}^*$
14,54	29,86	45,41	61,10	77,03	93,74	106,13	118,71	131,58	145,07
S_{21}^*	S_{22}^*	S_{23}^*	S_{24}^*	S_{25}^*	S_{26}^*	S_{27}^*	S_{28}^*	S_{29}^*	$S_{2,10}^*$
29,96	60,96	93,18	126,68	161,39	198,40	225,37	253,17	282,14	312,78
S_{31}^*	S_{32}^*	S_{33}^*	S_{34}^*	S_{35}^*	S_{36}^*	S_{37}^*	S_{38}^*	S_{39}^*	$S_{3,10}^*$
46,99	94,49	145,35	197,55	252,42	309,88	352,04	396,33	442,74	491,90
S_{41}^*	S_{42}^*	S_{43}^*	S_{44}^*	S_{45}^*	S_{46}^*	S_{47}^*	S_{48}^*	S_{49}^*	$S_{4,10}^*$
64,37	130,75	198,92	271,68	347,75	426,57	484,92	545,93	610,02	678,96
k_{p11}^*	k_{p12}^*	k_{p13}^*	k_{p14}^*	k_{p15}^*	k_{p16}^*	k_{p17}^*	k_{p18}^*	k_{p19}^*	$k_{p1,10}^*$
1,03	1,06	1,08	1,09	1,10	1,11	1,13	1,15	1,17	1,19
k_{p21}^*	k_{p22}^*	k_{p23}^*	k_{p24}^*	k_{p25}^*	k_{p26}^*	k_{p27}^*	k_{p28}^*	k_{p29}^*	$k_{p2,10}^*$
1,07	1,08	1,10	1,13	1,15	1,18	1,20	1,23	1,25	1,28
k_{p31}^*	k_{p32}^*	k_{p33}^*	k_{p34}^*	k_{p35}^*	k_{p36}^*	k_{p37}^*	k_{p38}^*	k_{p39}^*	$k_{p3,10}^*$
1,11	1,12	1,15	1,17	1,20	1,22	1,25	1,28	1,31	1,35
k_{p41}^*	k_{p42}^*	k_{p43}^*	k_{p44}^*	k_{p45}^*	k_{p46}^*	k_{p47}^*	k_{p48}^*	k_{p49}^*	$k_{p4,10}^*$
1,14	1,16	1,18	1,21	1,24	1,26	1,29	1,32	1,36	1,39

Таблица 2.15. Площади и коэффициенты разрыхления пород в слоях взорванного блока при четырехрядном КЗВ с подпорной стенкой

S_{11}^*	S_{12}^*	S_{13}^*	S_{14}^*	S_{15}^*	S_{16}^*	S_{17}^*	S_{18}^*	S_{19}^*	$S_{1,10}^*$
14,13	28,72	43,40	58,76	74,63	90,88	103,67	116,90	129,23	142,96
S_{21}^*	S_{22}^*	S_{23}^*	S_{24}^*	S_{25}^*	S_{26}^*	S_{27}^*	S_{28}^*	S_{29}^*	$S_{2,10}^*$
28,39	57,51	87,48	119,46	152,55	186,29	212,42	240,05	268,85	298,26
S_{31}^*	S_{32}^*	S_{33}^*	S_{34}^*	S_{35}^*	S_{36}^*	S_{37}^*	S_{38}^*	S_{39}^*	$S_{3,10}^*$
42,94	87,43	134,03	184,29	236,26	289,55	329,74	372,81	418,68	465,82
S_{41}^*	S_{42}^*	S_{43}^*	S_{44}^*	S_{45}^*	S_{46}^*	S_{47}^*	S_{48}^*	S_{49}^*	$S_{4,10}^*$
58,39	118,71	183,41	252,50	324,61	399,44	455,04	515,08	579,55	647,29
k_{p11}^*	k_{p12}^*	k_{p13}^*	k_{p14}^*	k_{p15}^*	k_{p16}^*	k_{p17}^*	k_{p18}^*	k_{p19}^*	$k_{p1,10}^*$
1,00	1,02	1,03	1,04	1,06	1,08	1,11	1,13	1,15	1,17
k_{p21}^*	k_{p22}^*	k_{p23}^*	k_{p24}^*	k_{p25}^*	k_{p26}^*	k_{p27}^*	k_{p28}^*	k_{p29}^*	$k_{p2,10}^*$
1,01	1,02	1,04	1,06	1,08	1,10	1,13	1,16	1,19	1,22
k_{p31}^*	k_{p32}^*	k_{p33}^*	k_{p34}^*	k_{p35}^*	k_{p36}^*	k_{p37}^*	k_{p38}^*	k_{p39}^*	$k_{p3,10}^*$
1,02	1,04	1,06	1,09	1,12	1,14	1,17	1,21	1,24	1,27
k_{p41}^*	k_{p42}^*	k_{p43}^*	k_{p44}^*	k_{p45}^*	k_{p46}^*	k_{p47}^*	k_{p48}^*	k_{p49}^*	$k_{p4,10}^*$
1,04	1,06	1,09	1,12	1,15	1,18	1,21	1,25	1,29	1,33

Найденные значения $S^*_{\gamma\delta}, k^*_{\gamma\delta}$ служат исходными данными для аналитического определения узловых точек координатной сетки взорванного блока уступа.

2.2.4 Аналитическое определение положения узловых точек координатной сетки взорванного блока

Координаты узловых точек координатной сетки взорванного блока определяются по следующим формулам [85]:

$$x_{ij} = k^x_{ij}(\epsilon_\lambda + m_j); \qquad y_{ij} = k^y_{ij} * l_i. \tag{2.11}$$

где x_{ij}, y_{ij} – координаты узловых точек координатной сетки, т.е. точек пересечения i-ой и j-ой оконтуривающих линий элементов взорванного блока уступа, i $(i = 1{,}2 \dots 5)$, j $(j = 1{,}2 \dots 11)$; k^x_{ij}, k^y_{ij} – коэффициенты пропорциональности изменения координат узловых точек соответственно по горизонтальному и вертикальному направлениям; ϵ_λ, m_j, l_i – константы уравнения.

Константа ϵ_λ одинакова для однорядного и многорядного расположения скважин и определяется по зависимости:

$$\epsilon_\lambda = (h - l_i) \cdot ctg\alpha; \tag{2.12}$$

Здесь индексы ϵ_λ обозначают номера узловых точек на линии отрыва пород от массива снизу вверх $(\lambda = 1{,}2 \dots 5)$, h – высота уступа, α – угол откоса уступа, l_i – ордината i-ой оконтуривающей горизонтальной линии взрываемого блока.

$$l_1 = 0;\ l_2 = \frac{h}{4};\ l_3 = \frac{h}{2};\ l_4 = \frac{3h}{4};\ l_5 = h. \tag{2.13}$$

Константа m_j – расстояние (по горизонтали) между рассматриваемой оконтуривающей наклонной линией и линией отрыва пород от массива во взрываемом блоке.

При однорядном взрывании:

$$m_1 = 0;\ m_2 = \frac{W}{4};\ m_3 = \frac{W}{2};\ m_4 = \frac{3W}{4};\ m_5 = W; \tag{2.14}$$

при четырехрядном КЗВ:

$$m_1 = 0; m_2 = \frac{a_p}{2}; m_3 = a_p; m_4 = \frac{3a_p}{2}; m_5 = 2a_p; m_6 = \frac{5a_p}{2}; m_7 = 3a_p;$$
$$m_8 = 3a_p + \frac{W}{4}; m_9 = 3a_p + \frac{W}{2}; m_{10} = 3a_p + \frac{3W}{4}; m_{11} = 3a_p + W. \quad (2.15)$$

где w – линия сопротивления по подошве уступа, a_p – расстояние между рядами скважин.

Коэффициенты пропорциональности изменения координат узловых точек связаны с интегральной характеристикой состояния развала – с коэффициентом разрыхления пород в соответствующих слоях развала ($k_{p(\gamma\delta)}$) и с соотношением, учитывающим длину отброшенной части развала B_o, константы l_i, m_j, т.е. с параметрами [97]:

$$p^x_{\gamma\delta} = k_{p(\gamma\delta)}\sqrt{\frac{B_o}{m_j}},\ p^y_{\gamma\delta} = k_{p(\gamma\delta)}\sqrt{\frac{B_o}{l_i}}\ , \quad (2.16)$$

где $\gamma = 1,2,3,4$, $\delta = 1,2 \dots 10$, $i = \gamma + 1$, $j = \delta + 1$.

Аппроксимирующие полиномиальные уравнения для определения искомых коэффициентов пропорциональности координат узловых точек координатной сетки развала пород выглядят следующим образом [86]:

$$k^x_{ij} = a^x_i {p^x_{\gamma\delta}}^5 + b^x_i {p^x_{\gamma\delta}}^4 + c^x_i {p^x_{\gamma\delta}}^3 + d^x_i {p^x_{\gamma\delta}}^2 + e^x_i p^x_{\gamma\delta} + f^x_i,$$
$$k^y_{ij} = a^y_j {p^y_{\gamma\delta}}^2 + b^y_j p^y_{\gamma\delta} + c^y_j, \quad (2.17)$$

где $a^x_i, b^x_i, c^x_i, d^x_i, e^x_i, f^x_i$ – константы первого уравнения (2.17), связанные с i-ой горизонтальной оконтуривающей линией; a^y_j, b^y_j, c^y_j – константы второго уравнения (2.17), связанные с j-ой наклонной оконтуривающей линей.

2.2.5 Аналитическое определение внутренних точек координатной сетки взорванного блока массива пород

Как показывает обзор литературных источников, к решению рассматриваемой задачи можно привлечь метод определения перемещений точек конечных элементов, применяемый в механике сплошной среды. Он называется методом конечных элементов. Зная координаты узловых точек координатной сетки развала горных пород можно перейти к определению перемещения внутренних точек каждого элемента в развале. Для этого необходимо воспользоваться функцией перемещения элемента. В нашем случае четырехугольного элемента с узлами $\varphi, \chi, \psi, \omega$ (рис. 2.36), перемещение каждого узла элемента будет иметь по два компонента [55,68,74,97]:

$$\{\delta_\varphi\} = \begin{Bmatrix} u_\varphi \\ v_\varphi \end{Bmatrix}, \tag{2.18}$$

где u_k, v_k – перемещения узловой точки координатной сетки взорванного блока по горизонтальному и вертикальному направлениям соответсвенно.

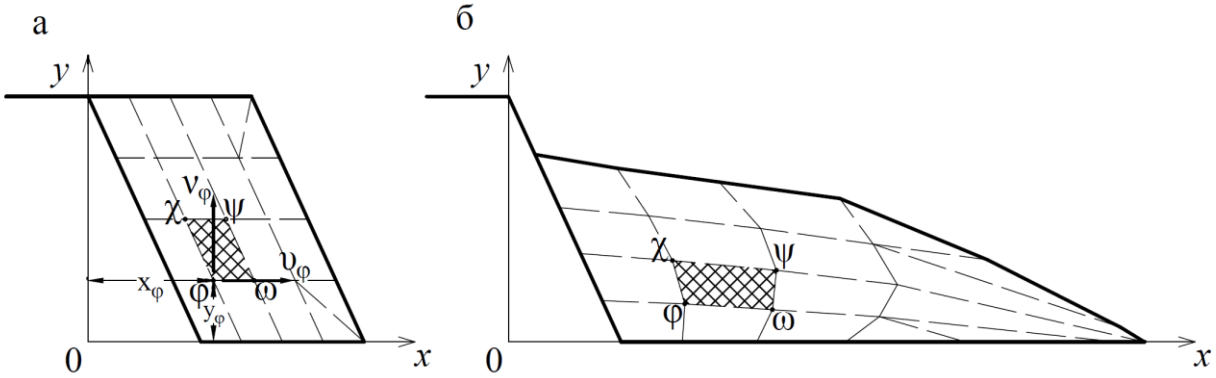


Рисунок 2.36 – Координаты элемента уступа взрываемого (а) и взорванного (б) блоков массива горных пород

Восемь компонет перемещений элемента координатной сетки образуют вектор [58-61]:

$$\{\delta\}^e = \begin{Bmatrix} \delta_\varphi \\ \delta_\chi \\ \delta_\psi \\ \delta_\omega \end{Bmatrix}. \tag{2.19}$$

Эти компоненты определяются координатами узловых точек координатной сетки взорванного блока, т.е. [97]:

$$u_\varphi = x_{ij}, v_\varphi = y_{ij}, u_\chi = x_{i+1j}, v_\chi = y_{i+1j},$$
$$u_\psi = x_{ij+1}, v_\psi = y_{ij+1}, u_\omega = x_{i+1j+1}, v_\omega = y_{i+1j+1}. \tag{2.20}$$

Перемещения точек внутри элемента должны однозначно определяться этими восьмью величинами. Они представляют собой линейные полиномы следующего вида:

$$u = a_1 + a_2 x + a_3 y + a_4 xy;$$
$$v = a_5 + a_6 x + a_7 y + a_8 xy, \tag{2.21}$$

где x, y – координаты искомой точки в координатной сетке взрываемого блока.

Как видно из рис. 2.36, в целях улучшения точности решения некоторые элементы взрываемого и взорванного блоков массива горной породы разделены на треугольные элементы.

Система уравнений, определяющая перемещения точек внутри элемента координатной сетки взорванного блока, будет иметь следующий вид [55,68,74]:

$$\{f\} = \begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} = [N]\{\delta\}^e, \tag{2.22}$$

где $[N]$ – функция формы элемента;

$$[N] = [P][C]^{-1} \tag{2.23}$$

Здесь

$$[P] = [1 \quad x \quad y \quad xy], \tag{2.24}$$

$$[C] = \begin{bmatrix} 1 & x_\varphi & y_\varphi & x_\varphi y_\varphi \\ 1 & x_\chi & y_\chi & x_\chi y_\chi \\ 1 & x_\psi & y_\psi & x_\psi y_\psi \\ 1 & x_\omega & y_\omega & x_\omega y_\omega \end{bmatrix}, \tag{2.25}$$

где $x_\varphi, y_\varphi, x_\chi, y_\chi, x_\psi, y_\psi, x_\omega, y_\omega$ – координаты узловых точек координатной сетки взрываемого блока.

Зная конечные перемещения каждой узловой точки элемента координатной сетки взорванного блока можно выписать следующие системы уравнений [87-89]:

$$\begin{Bmatrix} u_\varphi \\ u_\chi \\ u_\psi \\ u_\omega \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 x_\varphi & a_3 y_\varphi & a_4 x_\varphi y_\varphi \\ a_1 & a_2 x_\chi & a_3 y_\chi & a_4 x_\chi y_\chi \\ a_1 & a_2 x_\psi & a_3 y_\psi & a_4 x_\psi y_\psi \\ a_1 & a_2 x_\omega & a_3 y_\omega & a_4 x_\omega y_\omega \end{bmatrix}, \begin{Bmatrix} v_\varphi \\ v_\chi \\ v_\psi \\ v_\omega \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} a_5 & a_6 x_\varphi & a_7 y_\varphi & a_8 x_\varphi y_\varphi \\ a_5 & a_6 x_\chi & a_7 y_\chi & a_8 x_\chi y_\chi \\ a_5 & a_6 x_\psi & a_7 y_\psi & a_8 x_\psi y_\psi \\ a_5 & a_6 x_\omega & a_7 y_\omega & a_8 x_\omega y_\omega \end{bmatrix}. \tag{2.26}$$

Из этой системы уравнений несложно определить константы a_1, $a_2 \ldots a_8$. Для этого полученную систему уравнений представим в виде [69-71]:

$$\begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_\varphi & y_\varphi & x_\varphi y_\varphi \\ 1 & x_\chi & y_\chi & x_\chi y_\chi \\ 1 & x_\psi & y_\psi & x_\psi y_\psi \\ 1 & x_\omega & y_\omega & x_\omega y_\omega \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{Bmatrix} u_\varphi \\ u_\chi \\ u_\psi \\ u_\omega \end{Bmatrix}; \begin{Bmatrix} a_5 \\ a_6 \\ a_7 \\ a_8 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_\varphi & y_\varphi & x_\varphi y_\varphi \\ 1 & x_\chi & y_\chi & x_\chi y_\chi \\ 1 & x_\psi & y_\psi & x_\psi y_\psi \\ 1 & x_\omega & y_\omega & x_\omega y_\omega \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{Bmatrix} v_\varphi \\ v_\chi \\ v_\psi \\ v_\omega \end{Bmatrix}; \tag{2.27}$$

Таким образом перемножив обратную матрицу $[C]$ и векторы перемещений $\{u\}^e, \{v\}^e$ получим вектор столбец со значениями искомых констант a_1, $a_2 \ldots a_8$. Подставив их в уравнения (2.21), определим перемещение любой внутренней точки элемента координатной сетки взорванного блока [90]. Все вышеописанные действия справедливы и для треугольного элемента. Для этого достаточно понизить размерность матриц и векторов убрав компоненты с индексом ω и произведение xy [97].

2.2.6 Аналитическое определение размеров зон дробления пород в развале горной массы

Как сказано выше, обычно породы в развале по крупности делят на три зоны: мелкого, среднего и крупного дробления. К первой зоне относят фракции кусков размером до 0,20 м, ко второй зоне – фракции кусков размером от 0,21 до 0,80 м и к третьей зоне – фракции размером более 0,81 м, т.е.:

$$d_1 = p(x_1);\ d_2 = p(x_2) + p(x_3) + p(x_4);\ d_3 = p(x_5) + p(x_6) + p(x_7), \qquad (2.28)$$

где d_1, d_2, d_3 – процентное содержание пород в соответствующих зонах.

При соблюдении рациональных параметров буровзрывных работ объем зоны мелкого дробления составляет (%): в мелкоблочных породах (Б-1) – 60-70, в среднеблочных породах (Б-2) – 45-55 и в крупноблочных (Б-3) – 40-50. Объем зоны среднего дробления соответственно составляет 25-35, 30-40 и 30-40 %, объем зоны крупного дробления – 5-10, 10-15 и 10-20 % [54, 97].

Для упрощения расчетов размеров и формы зон дробления при однорядном взрывании зону мелкого дробления в массиве разделим на 3 части (см. рис.2.37а): первая часть – половина цилиндра высотой скважинного заряда в сторону свободной поверхности радиусом g_{z1}; вторая часть – четверть сферы над скважинным зарядом радиусом g_{z1}; третья часть - область за скважиной шириной g_{z1} и высотой $g_{z1} + h_3$. Зная гранулометрический состав взорванных пород в массиве, можно написать:

$$V(s_1) + V(s_2) + V(s_3) = V(d_1), \qquad (2.29)$$

где $V(s_1), V(s_2), V(s_3)$ – объемы 1, 2 и 3 частей зоны мелкого дробления; $V(d_1)$ – объем зоны мелкого дробления, $V(d_1) = V \cdot d_1$. Подставляя их значения в (2.29) и проводя соответствующие математические операции, получим:

$$\frac{1}{3}\left(\pi+3\cdot\mathrm{ctg}\alpha\right)\cdot g_{z1}^{3}+\frac{1}{2}h_3\left(\pi+4\cdot\mathrm{ctg}\alpha\right)\cdot g_{z1}^{2}+h_3^{2}\cdot\mathrm{ctg}\alpha\cdot g_{z1}-V(d_1)=0 \qquad (2.30)$$

Обозначая постоянные при переменной соответственно A_0, A_1, A_2, A_3, имеем:

$$B_1=\frac{A_1}{A_0};\ B_2=\frac{A_2}{A_0};\ B_3=\frac{A_3}{A_0};\ p_k=-\frac{B_1^2}{3}+B_2;\ q_k=\frac{2B_1^3}{27}-\frac{B_1B_2}{3}+B_3;$$

В соответствии с формулой Кардано [90]:

$$g_{z1}=y_k-\frac{B_1}{3}, \qquad (2.31)$$

где $y_k=\sqrt[3]{-\frac{q_k}{2}+\sqrt{\frac{q_k^2}{4}+\frac{p_k^3}{27}}}+\sqrt[3]{-\frac{q_k}{2}-\sqrt{\frac{q_k^2}{4}+\frac{p_k^3}{27}}}$.

Усредненное значение размера зоны мелкого дробления вычисляется по формуле:

$$g_{z1}^{*}=\frac{2\pi g_{z1}^{2}+3\pi h_3 g_{z1}}{12\left(h_3+g_{z1}\right)}\approx 0.69\cdot g_{z1} \qquad (2.32)$$

Для нахождения размеров зон среднего и крупного дробления достаточно найти одну из них. Удобнее найти размер зоны крупного дробления т.к. эту зону можно разделить на две части (см. рис. 2.37а): первая часть – область в верхней части блока массива пород, подошва которой находится на расстоянии g_{z2} от границы зоны мелкого дробления; вторая часть – треугольная область в передней части блока массива пород на расстоянии g_{z2} от скважины. Зная гранулометрический состав во взорванном массиве, можно написать:

$$V(l_1)+V(l_2)=V(d_3), \qquad (2.33)$$

где $V(l_1), V(l_2)$ – объемы 1 и 2 частей зоны крупного дробления; $V(d_3)$ – объем зоны крупного дробления, $V(d_3)=V\cdot d_3$. Подставляя их значения в (2.33) получим:

$$(h-g_{z1}-g_{z2})\cdot a_p\cdot W+\frac{1}{2}a_p\mathrm{tg}\alpha(W-g_{z1}^{*}-g_{z2})^2=V(d_3) \qquad (2.34)$$

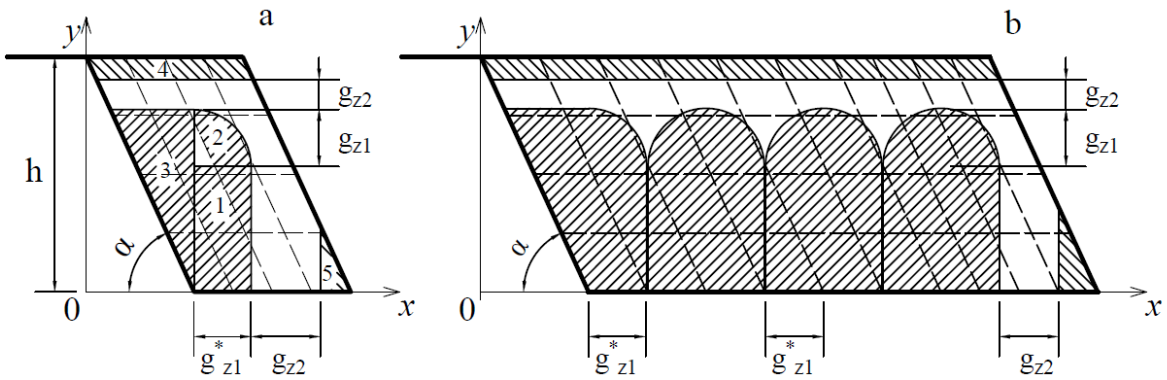


Рисунок 2.37 – Размеры зон дробления в массиве пород.

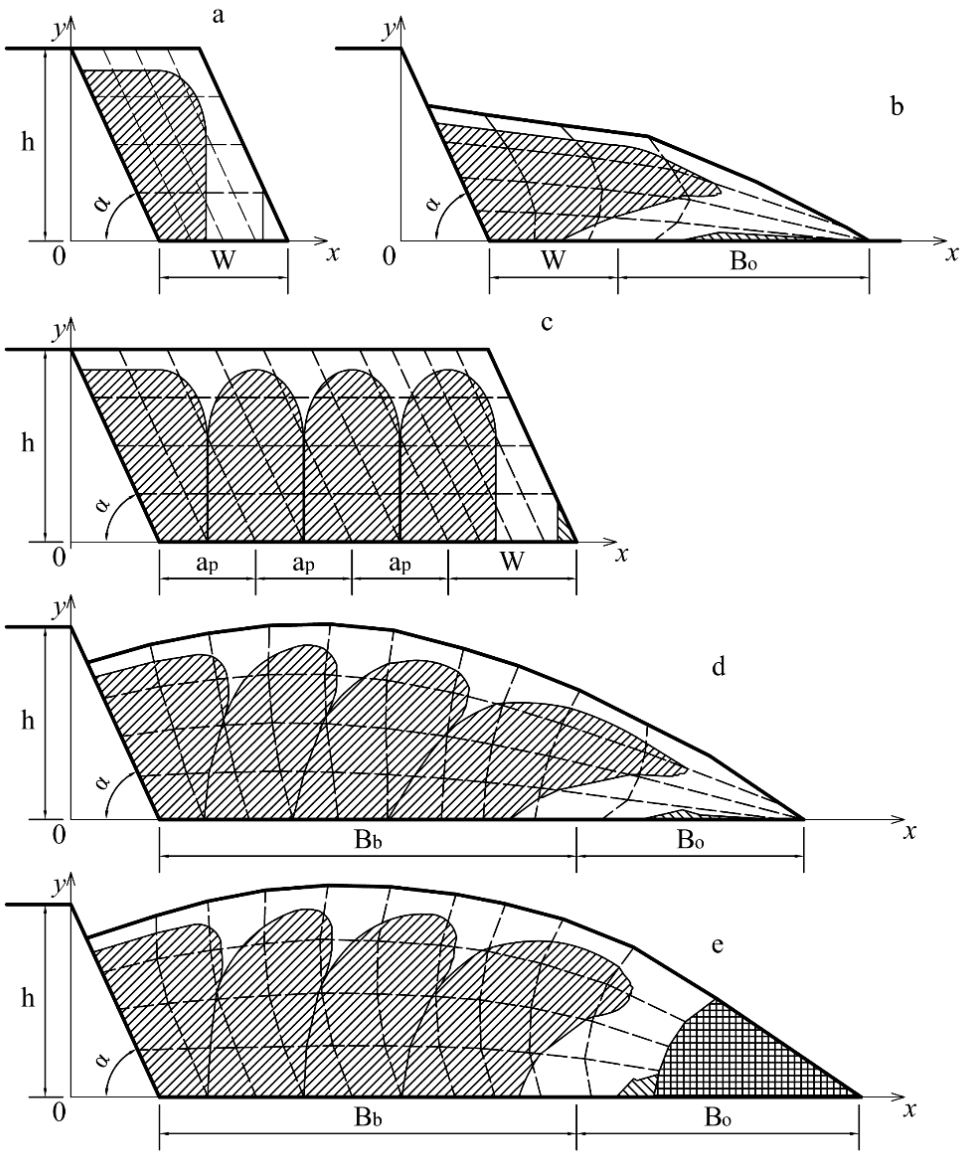


Рисунок 2.38 – Примеры расчета зон дробления пород в массиве и развале: при однорядном взрывании (a), (b); четырехрядном КЗВ на свободную поверхность (c), (d); четырехрядном КЗВ с подпорной стенкой (e).

Размер зоны среднего дробления определяется из выражения:

$$\frac{1}{2}\left(a_p \mathrm{tg}\alpha\right)\cdot g_{z2}^2 - \left[W\cdot a_p + a_p \mathrm{tg}\alpha\left(W - g_{z1}^*\right)\right]\cdot g_{z2} - \\ -V(d_3) + W\cdot a_p\cdot\left(h - g_{z1} - h_3\right) + \frac{1}{2}a_p \mathrm{tg}\alpha\left(W - g_{z1}^*\right)^2 = 0 \quad (2.35)$$

Для определения размеров зон дробления пород в развале необходимо оперировать положением их характерных точек в массиве. Воспользовавшись методикой определения внутренних точек координатной сетки и отрисовав контуры границ зон дробления в массиве пород легко определить положение этих границ в развале породы после взрыва [97].

2.2.7 Программное обеспечение по размещению разнородных пород в развале

На основе созданных аналитических методов определения размещения и размеров зон дробления в развале, положения узловых и внутренних точек координатной сетки развала был разработан программный модуль «Размещение разнородных пород в развале» в среде Microsoft Visual Studio 2019 [79-82]. Он объединяет методы определения технологических характеристик взорванной горной массы, геометрические, качественные и количественные характеристики развала пород. Программа позволяет проводить удобный и гибкий расчет результатов БВР, а точнее определять положения узловых и внутренных точек координатной сетки развала породы, в зависимости от гранулометрического состава взорванной горной массы определять размеры и положения зон дробления в массиве и развале пород.

Описание алгоритма

1. Вводим: ρ_0, c, ν, $\sigma_{сж}$, $\sigma_р$, $\rho_{вв}$, D, H, d_0, p, α, k, $p(x_1)$, $p(x_2)$, $p(x_3)$, $p(x_4)$, $p(x_5)$, $p(x_6)$, $p(x_7)$
2. Расчитываются основные параметры в программном модуле «Гранулометрический состав взорванной горной массы»: $p'(x_1)$, $p'(x_2)$, $p'(x_3)$, $p'(x_4)$, $p'(x_5)$, $p'(x_6)$, $p(x_7)$
3. Определение положения узловых точек координатной сетки взорванного блока: x_{ij}, y_{ij}.
4. Определение внутренних точек координатной сетки взорванного блока по найденным узловым точка: u, v
5. Определение размеров зон мелкого, среднего и крупного дробления во взрываемом и взорванном блоках: g_{z1}, g_{z2}
6. Отрисовка блока и развала с внутренними зонами дробления по полученным координатам.

Начало

ρ_0, c, ν, $\sigma_{сж}$,$\sigma_р$, $\rho_{вв}$, D, H, d_0, p, α, k,
$p(x_1)$, $p(x_2)$, $p(x_3)$, $p(x_4)$, $p(x_5)$, $p(x_6)$, $p(x_7)$.

$p(x_1)$, $p(x_2)$, $p(x_3)$, $p(x_4)$, $p(x_5)$, $p(x_6)$, $p(x_7)$;

$$x_{ij} = k_{ij}^{x}(\epsilon_\lambda + m_j); \qquad y_{ij} = k_{ij}^{y} * l_i.$$
$$\epsilon_\lambda = (h - l_i) \cdot ctg\alpha$$
$$l_1 = 0;\ l_2 = \frac{h}{4};\ l_3 = \frac{h}{2};\ l_4 = \frac{3h}{4};\ l_5 = h.$$
$$m_1 = 0;\ m_2 = \frac{W}{4};\ m_3 = \frac{W}{2};\ m_4 = \frac{3W}{4};\ m_5 = W;$$
$$p_{\gamma\delta}^{x} = k_{p(\gamma\delta)}\sqrt{\frac{B_o}{m_j}}, \qquad p_{\gamma\delta}^{y} = k_{p(\gamma\delta)}\sqrt{\frac{B_o}{l_i}}$$
$$k_{ij}^{x} = a_i^x p_{\gamma\delta}^{x\,5} + b_i^x p_{\gamma\delta}^{x\,4} + c_i^x p_{\gamma\delta}^{x\,3} + d_i^x p_{\gamma\delta}^{x\,2} + e_i^x p_{\gamma\delta}^{x} + f_i^x,$$
$$k_{ij}^{y} = a_j^y p_{\gamma\delta}^{y\,2} + b_j^y p_{\gamma\delta}^{y} + c_j^y,$$

$$\{\delta_\varphi\} = \begin{Bmatrix} u_\varphi \\ v_\varphi \end{Bmatrix} \qquad \{\delta\}^e = \begin{Bmatrix} \delta_\varphi \\ \delta_\chi \\ \delta_\psi \\ \delta_\omega \end{Bmatrix} u_\varphi = x_{ij},\ v_\varphi = y_{ij},\ u_\chi = x_{i+1j},\ v_\chi = y_{i+1j},$$

$$u_\psi = x_{ij+1},\ v_\psi = y_{ij+1},\ u_\omega = x_{i+1j+1},\ v_\omega = y_{i+1j+1}$$
$$u = a_1 + a_2 x + a_3 y + a_4 xy \qquad v = a_5 + a_6 x + a_7 y + a_8 xy$$
$$\begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_\varphi & y_\varphi & x_\varphi y_\varphi \\ 1 & x_\chi & y_\chi & x_\chi y_\chi \\ 1 & x_\psi & y_\psi & x_\psi y_\psi \\ 1 & x_\omega & y_\omega & x_\omega y_\omega \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{Bmatrix} u_\varphi \\ u_\chi \\ u_\psi \\ u_\omega \end{Bmatrix}; \begin{Bmatrix} a_5 \\ a_6 \\ a_7 \\ a_8 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_\varphi & y_\varphi & x_\varphi y_\varphi \\ 1 & x_\chi & y_\chi & x_\chi y_\chi \\ 1 & x_\psi & y_\psi & x_\psi y_\psi \\ 1 & x_\omega & y_\omega & x_\omega y_\omega \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{Bmatrix} v_\varphi \\ v_\chi \\ v_\psi \\ v_\omega \end{Bmatrix}$$

$$d_1 = p(x_1);\ d_2 = p(x_2) + p(x_3) + p(x_4);\ d_3 = p(x_5) + p(x_6) + p(x_7)$$
$$V(s_1) + V(s_2) + V(s_3) = V(d_1),\ V(l_1) + V(l_2) = V(d_3)$$
$$\frac{1}{3}\left(\pi + 3 \cdot \mathrm{ctg}\alpha\right) \cdot g_{z1}^3 + \frac{1}{2} h_3 \left(\pi + 4 \cdot \mathrm{ctg}\alpha\right) \cdot g_{z1}^2 + h_3^2 \cdot \mathrm{ctg}\alpha \cdot g_{z1} - V(d_1) = 0$$
$$g_{z1}^* = \frac{2\pi g_{z1}^2 + 3\pi h_3 g_{z1}}{12\left(h_3 + g_{z1}\right)} \approx 0.69 \cdot g_{z1}$$
$$(h - g_{z1} - g_{z2}) \cdot a_p \cdot W + \frac{1}{2} a_p \mathrm{tg}\alpha (W - g_{z1}^* - g_{z2})^2 = V(d_3)$$
$$\frac{1}{2}\left(a_p \mathrm{tg}\alpha\right) \cdot g_{z2}^2 - \left[W \cdot a_p + a_p \mathrm{tg}\alpha \left(W - g_{z1}^*\right)\right] \cdot g_{z2} -$$
$$-V(d_3) + W \cdot a_p \cdot \left(h - g_{z1} - h_3\right) + \frac{1}{2} a_p \mathrm{tg}\alpha \left(W - g_{z1}^*\right)^2 = 0$$

Конец

Рисунок 2.39 – Блок - схема

Спецификация программы

ρ_0 – плотность породы, кг/м^3;
c – скорость звука в породе, м/с;
ν – коэффициент Пуассона;
$\sigma_{сж}$ – предел прочности на сжатие, Па;
$\sigma_р$ – предел прочности на растяжение, Па;
$\rho_{вв}$ – плотность взрывчатого вещества, кг/м^3;
D – скорость детонации, м/с;
H – высота взрываемого блока, м;
d_0 – диаметр скважины, м;
p – вместимость единицы длины скважины, кг/м;
α – угол откоса уступа, градус;
k – коэффициент пропорциональности дробления, k = 1;
p'(x_1) - содержание кусков первого класса крупности во взорванной породе;
p'(x_2) - содержание кусков второго класса крупности во взорванной породе;
p'(x_3) - содержание кусков третьего класса крупности во взорванной породе;
p'(x_4) - содержание кусков четвертого класса крупности во взорванной породе;
p'(x_5) - содержание кусков пятого класса крупности во взорванной породе;
p'(x_6) - содержание кусков шестого класса крупности во взорванной породе;
p'(x_7) - содержание кусков седьмого класса крупности во взорванной породе.
d_1 – процентная доля зоны мелкого дробления в развале пород;
d_2 – процентная доля зоны среднего дробления в развале пород;
d_3 – процентная доля зоны крупного дробления в развале пород;
g_{z1} – ширина зоны мелкого дробления во взорванном массиве;
g_{z2} – ширина зоны среднего дробления во взорванном массиве;
x_{ij}, y_{ij} – координаты узловой точки координатной сетки взорванного блока массива пород;
u, *v* – перемещение внутренней точки координатной сетки взорванного блока массива пород.

3 РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ (ИЭП) ДЛЯ ИМИТАЦИИ, ВИЗУАЛИЗАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЗРЫВОВ И УПРАВЛЕНИЯ ИМИ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

3.1 ПРОГРАММНЫЕ МОДУЛИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ БВР НА ОТКРЫТЫХ КАРЬЕРАХ

3.1.1 Программное обеспечение определения гранулометрического состава естественных отдельностей в массиве пород

Наличие трещин различного направления и толщины в массивах горных пород оказывает сильное влияние на водопроницаемость массива, на устойчивость горных выработок различного назначения, результаты буровзрывных работ и т.д. Существенное влияние трещиноватости (блочности) пород на крупность взорванной горной массы отмечалось давно и многими исследователями[1-6]. Ими же в последующем было определено, что трещиноватый массив состоит из естественных отдельностей и имеет определенный гранулометрический состав.

Б.Р.Ракишевым впервые в горном деле предложена классификация массивов горных пород по блочности с указанием процентного содержания естественных отдельностей в них [5]. По его классификации естественные отдельности по крупности подразделяются на семь фракций: до 0,2 м, в пределах от 0,21 до 0,4, от 0,41 до 0,6, от 0,61 до 0,80, от 0,81 до 1,0, от 1,1 до 1,2 и более 1,21 м [54,69]. По найденному грансоставу естественных отдельностей в конкретных массивах вычисляется их средний размер. По этому параметру осуществляется классификация массивов пород по блочности или трещиноватости. Пример реализации такой методики иллюстрируется данными табл. 3.1 Они получены на основе обработки многочисленных измерений, проведенных на карьерах черной и цветной металлургии Казахстана [5].

Эта горно-геологическая характеристика необходима для проектирования параметров технологических процессов горных работ, в частности для классификации массивов пород по блочности (трещиноватости), прогнозирования кусковатости взорванных горных пород и размещения различных зон дробления пород в развале, что очень важно в процессе экскавации горной массы. О важности и востребованности работ такого рода отмечено в работах [91-93]

Согласно этой классификации и аналитическому методу определения гранулометрического состава естественных отдельностей в массиве пород, предложенной Б. Ракишевым [94,95], был разработан программный модуль в среде Microsoft Visual Studio [79-82].

Программа включает комплекс программных средств для организации и проведения автоматизированных расчетов, обработки и представления

измеренной информации, сохранения результатов измерений в базе данных, генерации отчетов по результатам исследований.

Таблица 3.1. Классификация массивов горных пород по блочности (трещиноватости) с указанием содержания естественных отдельностей.

Классы массивов по блочности	Массивы по блочности (степень трещиноватости)	Содержание в массиве (%) естественных отдельностей размером (м)							Средний диаметр отдельности, м
		<0,20	0,21–0,40	0,41–0,60	0,61–0,80	0,81–1,00	1,01–1,20	>1,21	
I	Мелкоблочные (чрезвычайно трещиноватые)	81,2	10,3	7,0	0,8	0,7	-	-	0,16
II	Среднеблочные (сильнотрещиноватые)	48,0	27,0	10,5	6,0	4,2	3,3	1,0	0,31
III	Крупноблочные (Среднетрещиноватые)	29,5	20,2	14,0	11,8	10,6	8,7	5,2	0,50
IV	Весьма крупноблочные (малотрещиноватые)	17,5	16,1	14,6	13,2	12,7	12,9	13,0	0,66

В отличие от ранее известных, разработанная методика расчета гранулометрического состава естественных отдельностей в массиве горных пород позволяет, не прибегая к эксперименту, установить процентное содержание естественных отдельностей в массивах различных участков рассматриваемого месторождения.

Блок – схема программы показана на рис. 3.1. Алгоритм работы описан ниже.

Описание алгоритма

1. Начало;

2. Ввод процентного содержания отдельностей в массиве: $p(x_1)$, $p(x_2)$, $p(x_3)$, $p(x_4)$, $p(x_5)$, $p(x_6)$, $p(x_7)$ (значения берутся из данных обработки фотографий откосов уступов);

3. Построение графиков зависимости процентного содержания естественных отдельностей от их размеров для массивов пород различной блочности (графики строятся автоматически на основании введенных данных);

4. Определение линий регрессии (y_1, y_2, y_3, y_4), констант этих уравнений (a, b), и коэффициентов детерминации (R_1^2, R_2^2, R_3^2, R_4^2) в зависимости от размеров отдельностей (x) (линии регрессии и их формулы строятся автоматически и оформляются в отдельном файле вместе с графиком);

5. Ввод констант уравнений линий регрессии: a, b (необходимо ввести полученные константы из графиков в специальное поле на программе);

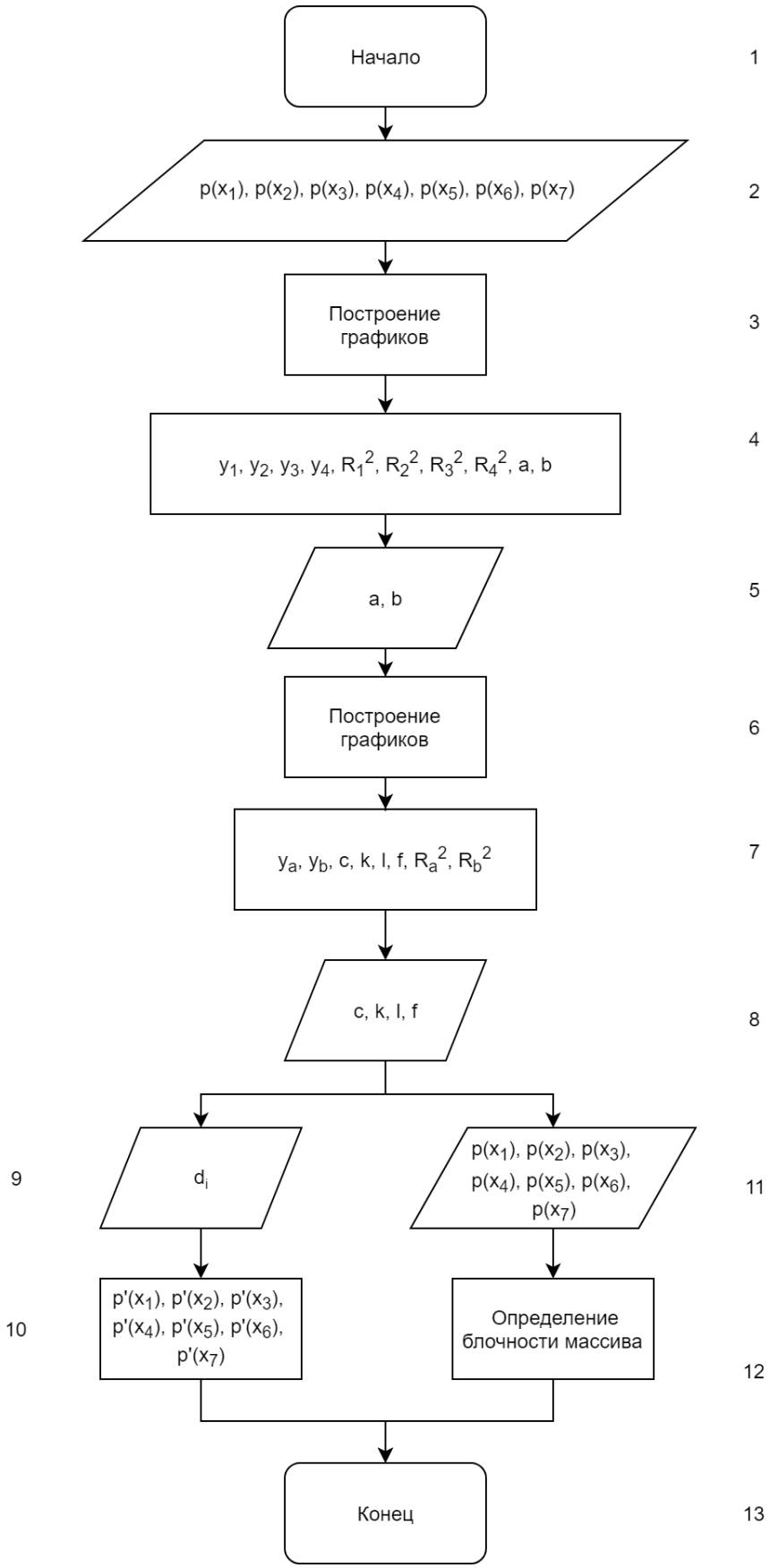


Рисунок 3.1 – Блок - схема алгоритма работы программы

6. Построение графиков зависимости констант a, b от среднего диаметра отдельностей (графики строятся автоматически на основании введенных данных).

7. Определение линий регрессии $a(y_a)$, $b(y_b)$, констант этих уравнений (c, k, l, f) и коэффициентов детерминации (R_a^2, R_b^2) в зависимости от среднего диаметра отдельностей (линии регрессии и их формулы строятся автоматически и оформляются в отдельном файле вместе с графиком);

8. Заполнение поля «Константы зависимости a и b» постоянными c, k, l, f (необходимо ввести полученные константы из графиков в специальное поле на программе);

9. Ввод произвольного (заданного) значения среднего диаметра отдельностей: d_e (эти данные вносятся для выбранного участка массива горных пород);

10. Вывод процентного содержания отдельностей в массиве: $p'(x_1)$, $p'(x_2)$, $p'(x_3)$, $p'(x_4)$, $p'(x_5)$, $p'(x_6)$, $p'(x_7)$ (их расчетные значения);

11. Ввод произвольного (замеренного) процентного содержания отдельностей в массиве: $p(x_1)$, $p(x_2)$, $p(x_3)$, $p(x_4)$, $p(x_5)$, $p(x_6)$, $p(x_7)$;

12. Определение блочности (трещиноватости) массивов пород от введенных значений процентного содержания отдельностей.

13. Конец.

Спецификация программы

$p(x_1)$ – содержание в массиве отдельностей размером < 0.20;

$p(x_2)$ – содержание в массиве отдельностей размером 0.21-0.40;

$p(x_3)$ – содержание в массиве отдельностей размером 0.41-.60;

$p(x_4)$ – содержание в массиве отдельностей размером 0.61-0.80;

$p(x_5)$ – содержание в массиве отдельностей размером 0.81-1.0;

$p(x_6)$ – содержание в массиве отдельностей размером 1.0-1.20;

$p(x_7)$ – содержание в массиве отдельностей размером >1.20;

y_1 – уравнение линии регрессии для мелкоблочных массивов;

y_2 – уравнение линии регрессии для среднеблочных массивов;

y_3 – уравнение линии регрессии для крупноблочных массивов;

y_4 – уравнение линии регрессии для весьма крупноблочных массивов;

R_1^2 – коэффициент детерминации линии регрессии для мелкоблочных массивов;

R_2^2 – коэффициент детерминации линии регрессии для среднеблочных массивов;

R_3^2 – коэффициент детерминации линии регрессии для крупноблочных массивов;

R_4^2 – коэффициент детерминации линии регрессии для весьма крупноблочных массивов;

a – константа уравнения линии регрессии зависимости процентного содержания различных отдельностей в массиве;

b – константа уравнения линии регрессии процентного содержания различных отдельностей в массиве;

y_a – уравнение линии регрессии зависимости a от значения среднего диаметра отдельности в массиве;

y_b – уравнение линии регрессии зависимости b от значения среднего диаметра отдельности в массиве;

R_a^2 – коэффициент детерминации линии регрессии зависимости a от значения среднего диаметра отдельности в массиве;

R_b^2 – коэффициент детерминации линии регрессии зависимости b от значения среднего диаметра отдельности в массиве;

c – константа уравнения линии регрессии a в зависимости от значения среднего диаметра отдельности в массиве;

k – константа уравнения линии регрессии a в зависимости от значения среднего диаметра отдельности в массиве;

l – константа уравнения линии регрессии b в зависимости от значения среднего диаметра отдельности в массиве;

f – константа уравнения линии регрессии b в зависимости от значения среднего диаметра отдельности в массиве;

d_e – произвольный (заданный) средний диаметр отдельностей в массиве;

$p'(x_1)$ – расчетное содержание в массиве отдельностей размером < 0.20;

$p'(x_2)$ – расчетное содержание в массиве отдельностей размером 0.21-0.40;

$p'(x_3)$ – расчетное содержание в массиве отдельностей размером 0.41-.60;

$p'(x_4)$ – расчетное содержание в массиве отдельностей размером 0.61-0.80;

$p'(x_5)$ – расчетное содержание в массиве отдельностей размером 0.81-1.0;

$p'(x_6)$ – расчетное содержание в массиве отдельностей размером 1.0-1.20;

$p'(x_7)$ – расчетное содержание в массиве отдельностей размером >1.20;

Далее представлено руководство для пользователя «Шаг за шагом».

Для того чтобы начать работу с приложением нужно двойным нажатием левой кнопки мыши открыть файл приложения “Model.exe” в корневой папке, как показано на рисунке 3.2.

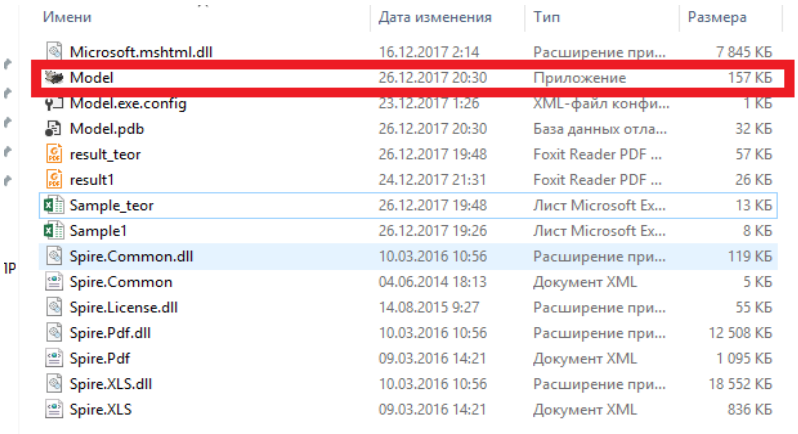


Рисунок 3.2 – Корневая папка «Определение грансостава естественных отдельностей массива пород»

В открывшемся окне программы заполняем таблицу согласно требованию расчета регрессионной модели, а точнее для построения теоретической модели регрессии заполняем верхние ячейки, соответствующие блочности массивов пород (МП) из табл. 3.1, как показано на рисунке 3.3. Табличные значения могут быть изменены в режиме реального времени.

Рисунок 3.3 – Классификация массивов горных пород по блочности

Далее нажимаем левой клавишей мыши на опцию программы «Расчет грансостава МП».

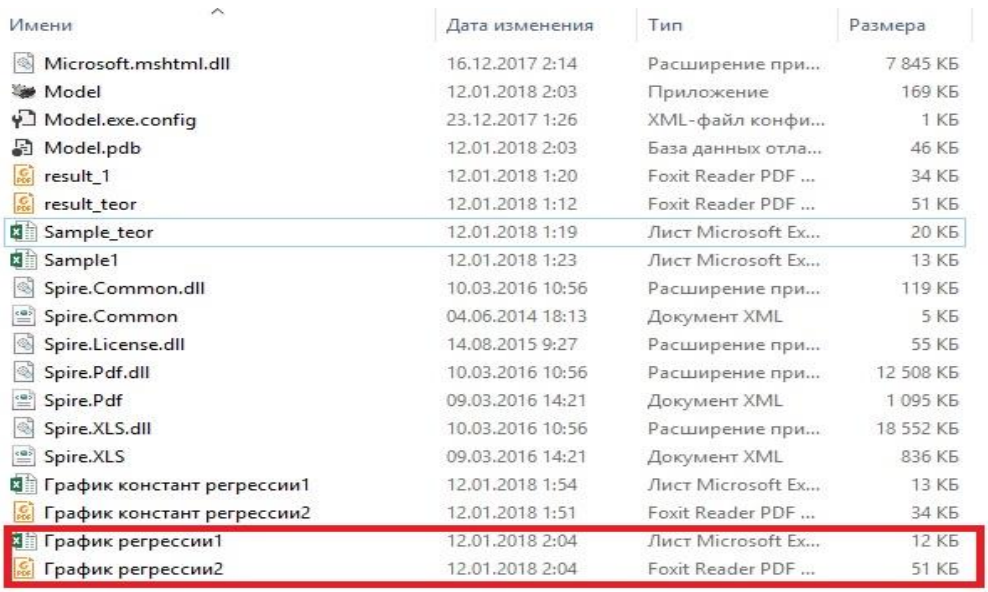


Рисунок 3.4 – Представление результатов расчетов в формате PDF и XLSX(Excel)

После этого действия в корневой папке «Определение грансостава ЕОМП» появятся файл «График регрессии1.xlsx» и «График регрессии2.pdf» (рисунок 3.4), в них будут находиться построенные графики с уравнением

тренда для каждого вида блочности (рисунки 3.5-3.8), соответственно классификации из таблицы 3.1.

Результаты представлены в виде графиков, трендов, уравнений регрессии и коэффициентов регрессии по каждому классу.

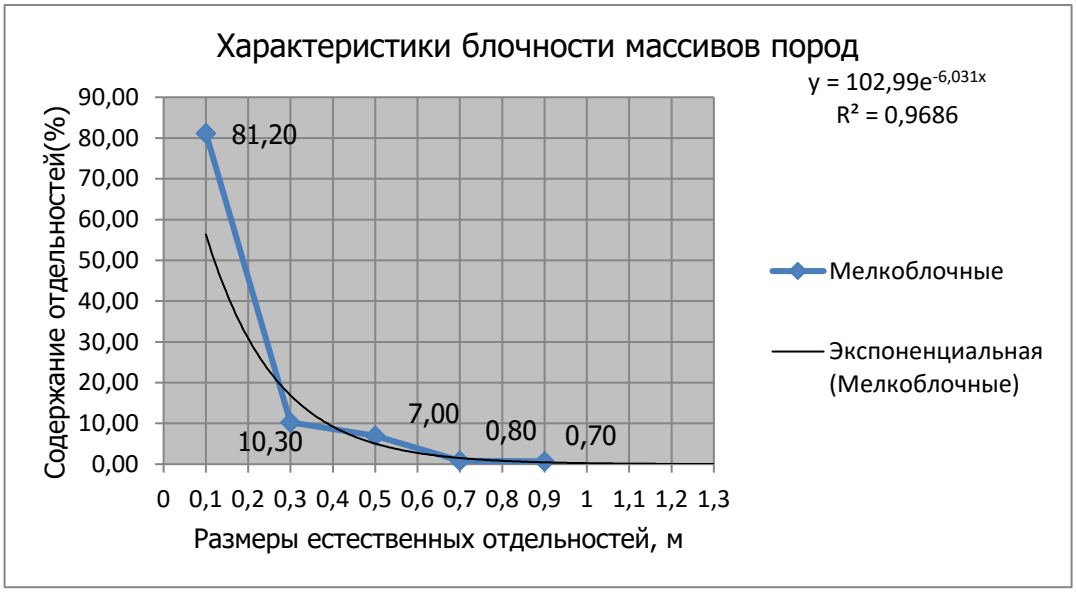


Рисунок 3.5 – Представление результатов расчетов в проекте «Регрессионные модели» для мелкоблочных массивов

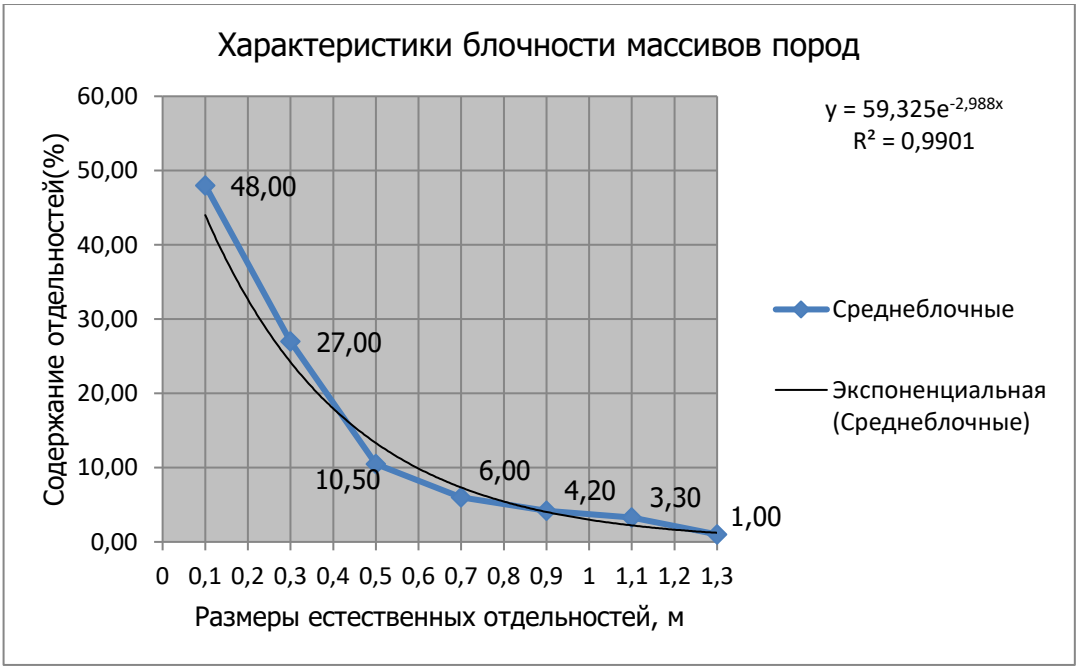


Рисунок 3.6 – Представление результатов расчетов в проекте «Регрессионные модели» для среднеблочных массивов

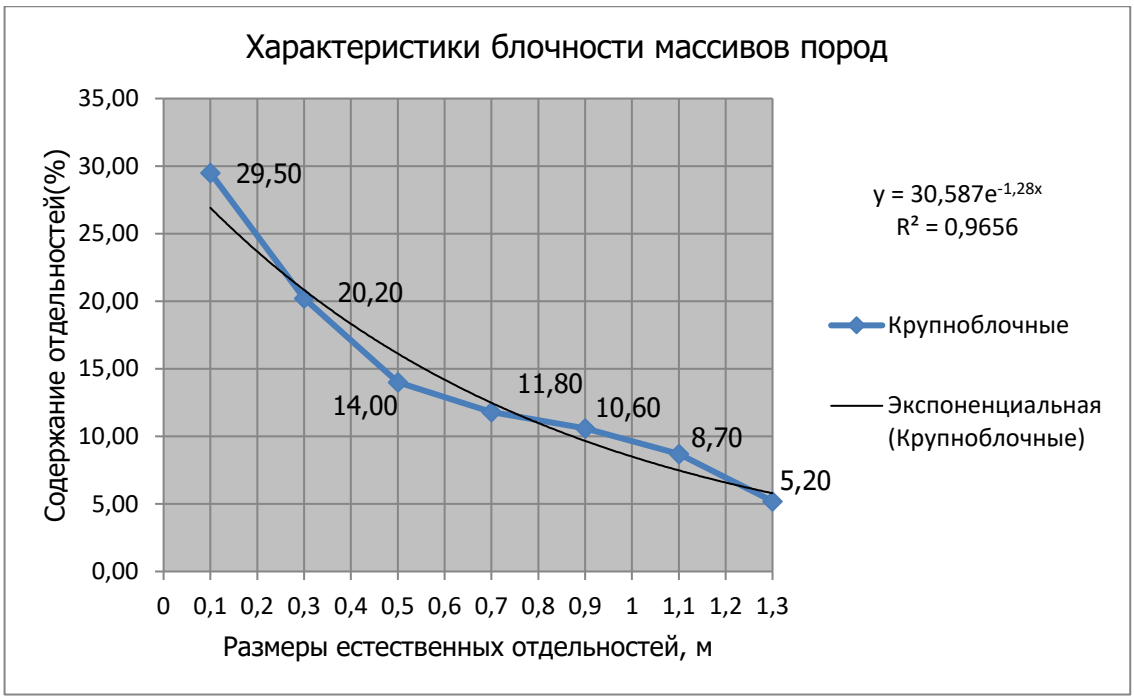


Рисунок 3.7 – Представление результатов расчетов в проекте «Регрессионные модели» для крупноблочных массивов

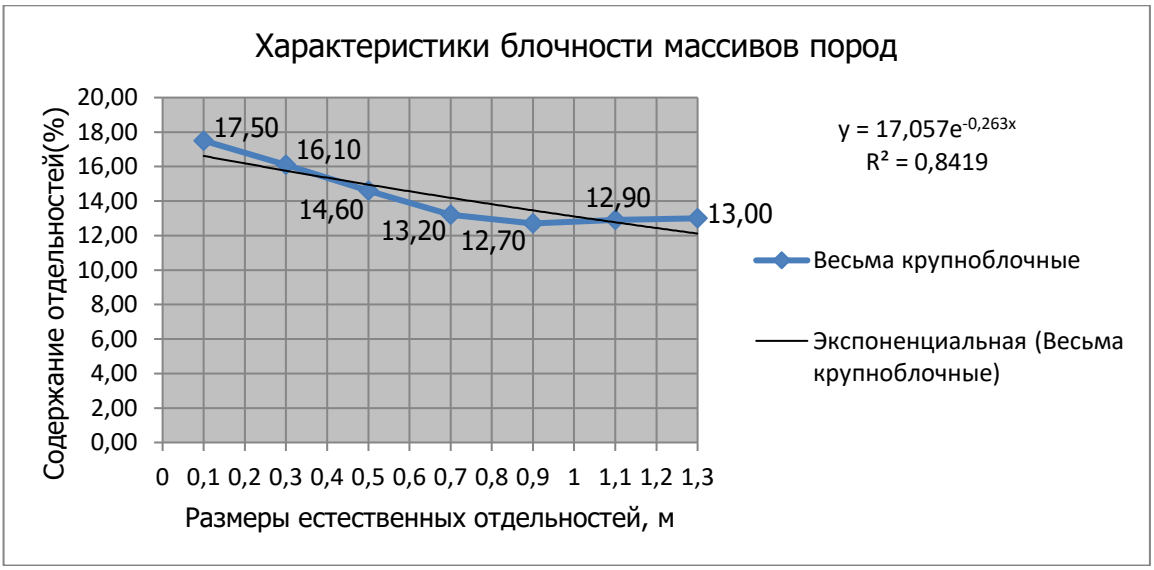


Рисунок 3.8 – Представление результатов расчетов в проекте «Регрессионные модели» для весьма крупноблочных массивов

Уравнения регрессий для мелкоблочных и среднеблочных массивов соответственно представлены в следующем виде:

$$y = 102{,}99e^{-6{,}03x}, \quad y = 59.325e^{-2{,}988x}, \tag{3.1}$$

Уравнения регрессий для крупноблочных и весьма крупноблочных массивов соответственно имеют вид:

$$y = 30{,}587e^{-1{,}28x}, \quad y = 17{,}06e^{-0{,}26x} \tag{3.2}$$

Как видно, содержание естественных отдельностей в массивах пород различной блочности в общем случае изменяется по экспоненциальному закону:

$$y = ae^{-bx}. \tag{3.3}$$

Здесь «a», «b» - константы для каждой категории блочности.

Значения констант и коэффициентов детерминации сведены в таблицу 3.2.

Таблица 3.2. Константы и коэффициенты детерминации R^2

Блочность массива	Константы		Коэффициент детерминации R^2
	a	b	
Мелкоблочные (d_e = 0,16м)	102,99	6,03	0,931
Среднеблочные (d_e = 0,31м)	59,325	2,988	0,9694
Крупноблочные (d_e = 0,50м)	30,587	1,28	0,9605
Весьма крупноблочные (d_e = 0,66м)	17,06	0,26	0,8171

Из данных уравнений переписываем коэффициенты в ячейки, находящиеся в правой стороне основного окна программы. Левый столбец ячеек для коэффициентов a, а правый столбец ячеек для коэффициентов b (рисунок 3.9).

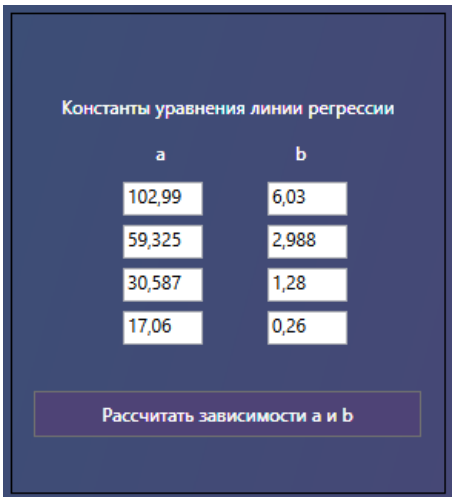


Рисунок 3.9 – Константы уравнений линий регрессии

После заполнения ячеек с коэффициентами нажимаем на опции «Рассчитать зависимости a и b».

Далее открываем файл «График константы регрессии1.xlsx» или «График константы регрессии1.pdf» из корневой папки программы (рисунок 3.10). В

этом файле будут находиться графики зависимостей констант уравнений регрессии от среднего диаметра отдельности массива (рисунок 3.11).

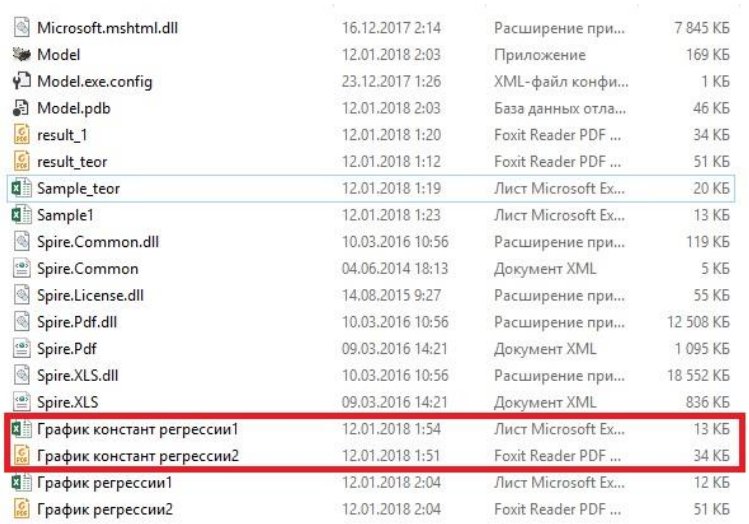


Рисунок 3.10 – Файлы «График констант регрессии1.xlsx» и «График константы регрессии2.pdf» в корневой папке

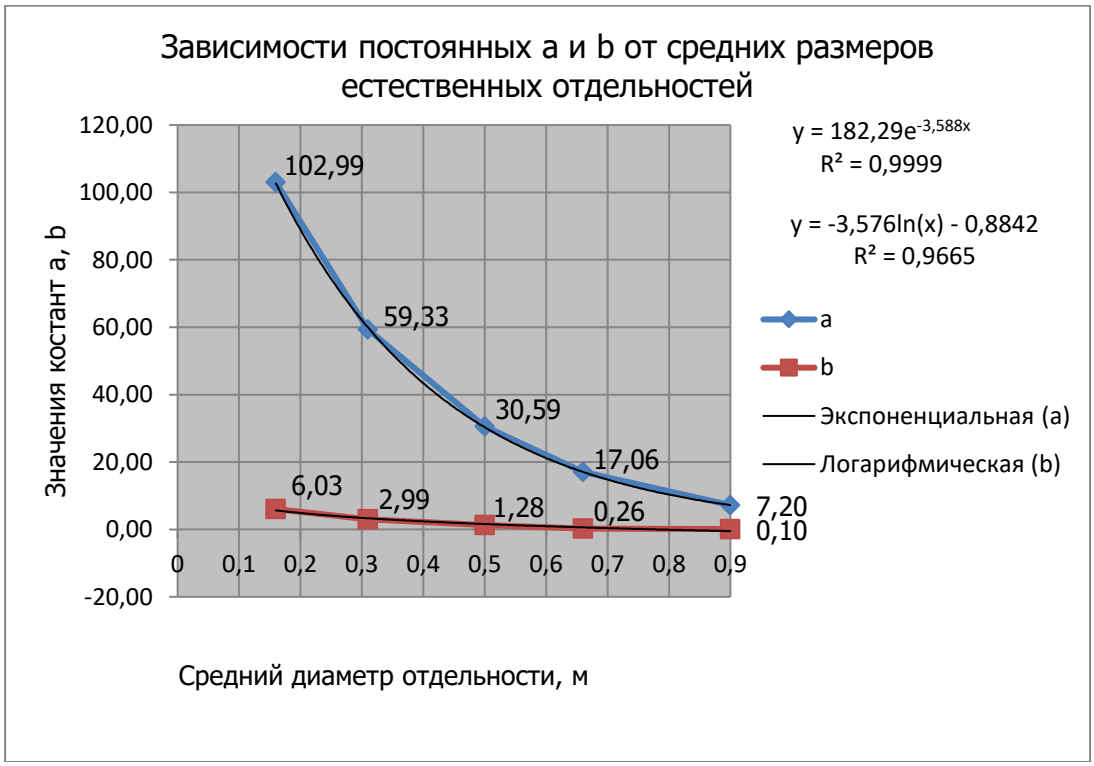


Рисунок 3.11 - Графики зависимостей констант уравнений регрессии

Таким образом, по среднему размеру естественной отдельности можно установить значения «a» и «b», а затем процентное содержание естественных отдельностей в массиве горных пород.

Для этого необходимо заполнить поле «Константы зависимости a и b» коэффициентами уравнений регрессии из графика зависимости a и b от среднего диаметра отдельности, как показано на рисунке 3.12.

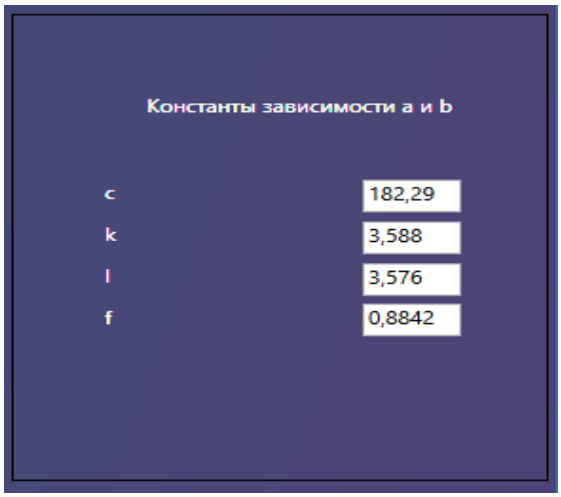


Рисунок 3.12 – Константы зависимости a и b

Далее заполните ячейку «Введите средний диаметр отдельности». Путем нажатия кнопки «Рассчитать блочность массива». При этом будет выведена информация «Содержание в массиве (%) отдельностей размером (м)» и константы a и b (рисунок 3.13).

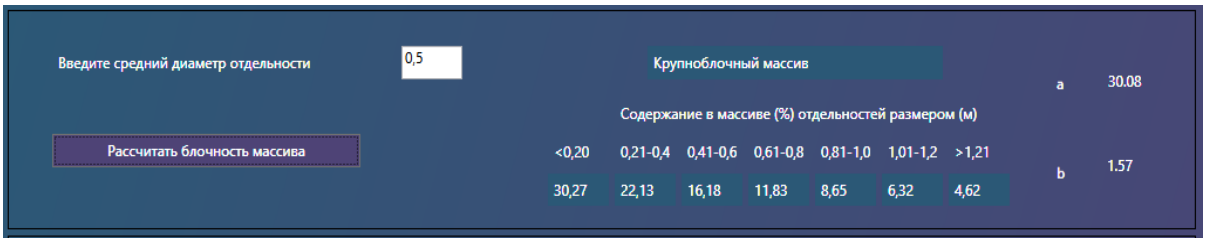


Рисунок 3.13 – Рассчет блочности массива пород

При нажитии же кнопки «Определить блочность массива» и заполнении ячеек содержания отдельностей будет определена блочность заданного массива (рисунок 3.14).

Рисунок 3.14 – Определение блочности массива пород

3.1.2 Примеры использования программы для определения горно-геологических характеристик массивов пород

Поскольку в геологических отчетах и другой технической документации горных предприятий обычно указывается лишь расстояние между естественными трещинами всех порядков (т.е. d_e), то разработанная методика служит надежным инструментом для определения процентного содержания естественных отдельностей в массиве горных пород. Последняя характеристика необходима для проектирования параметров технологических процессов горных работ. В частности, для классификации массивов пород по блочности (трещиноватости), прогнозирования кусковатости горных пород и размещения различных зон дробления в развале, что очень важно в процессе экскавации горной массы. На рисунке 3.15 показаны использование программы для определения блочности пород при произвольно заданных значениях процентного содержания в массиве пород и алгоритм действий

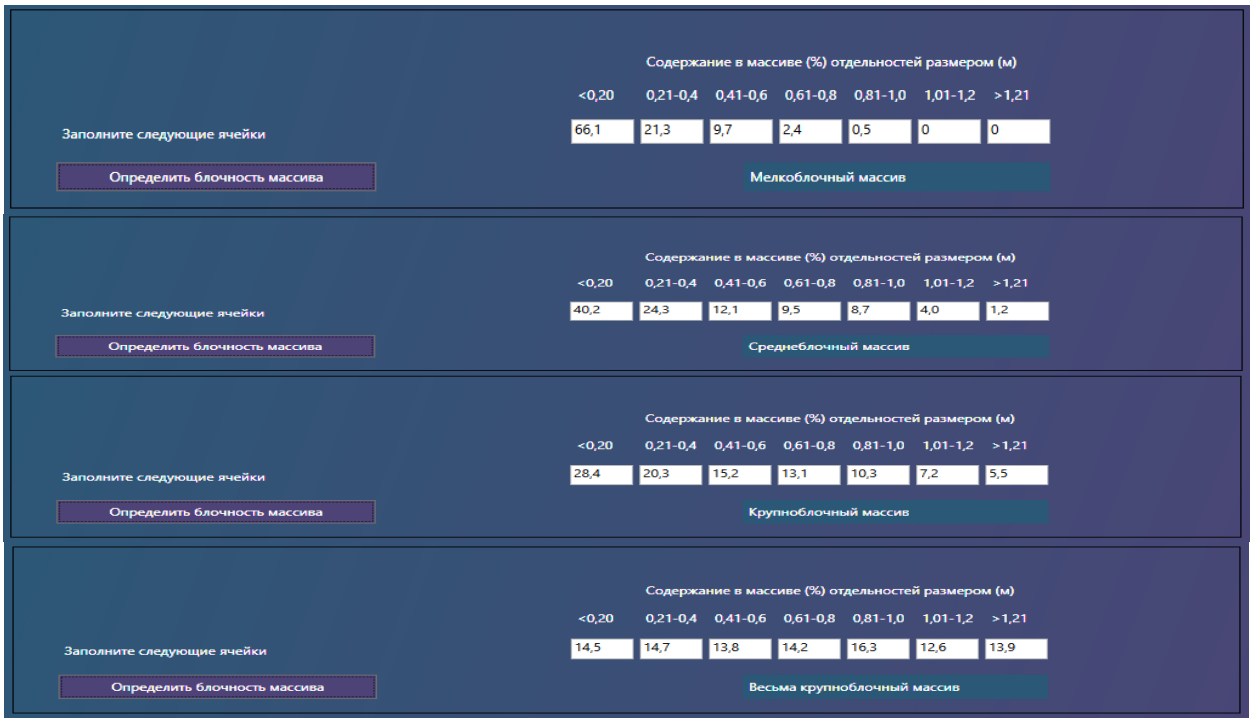


Рисунок 3.15 – Определение блочности пород при произвольно заданных значениях процентного содержания отдельностей в массиве пород

На рисунке 3.16 показаны использование программы для определения гранулометрического состава естественных отдельностей в массиве пород, коэффициентов a и b, блочности массива при произвольно заданных значениях d_e и алгоритм действий.

Значение среднего диаметра отдельности (среднее расстояние между трещинами) должны быть взяты из геологических отчетов и другой технической документации. Они могут быть измерены, найдены путем

обработки фотографий откосов отдельных блоков или геофизическим методом. Для теоретического анализа могут быть приняты произвольно.

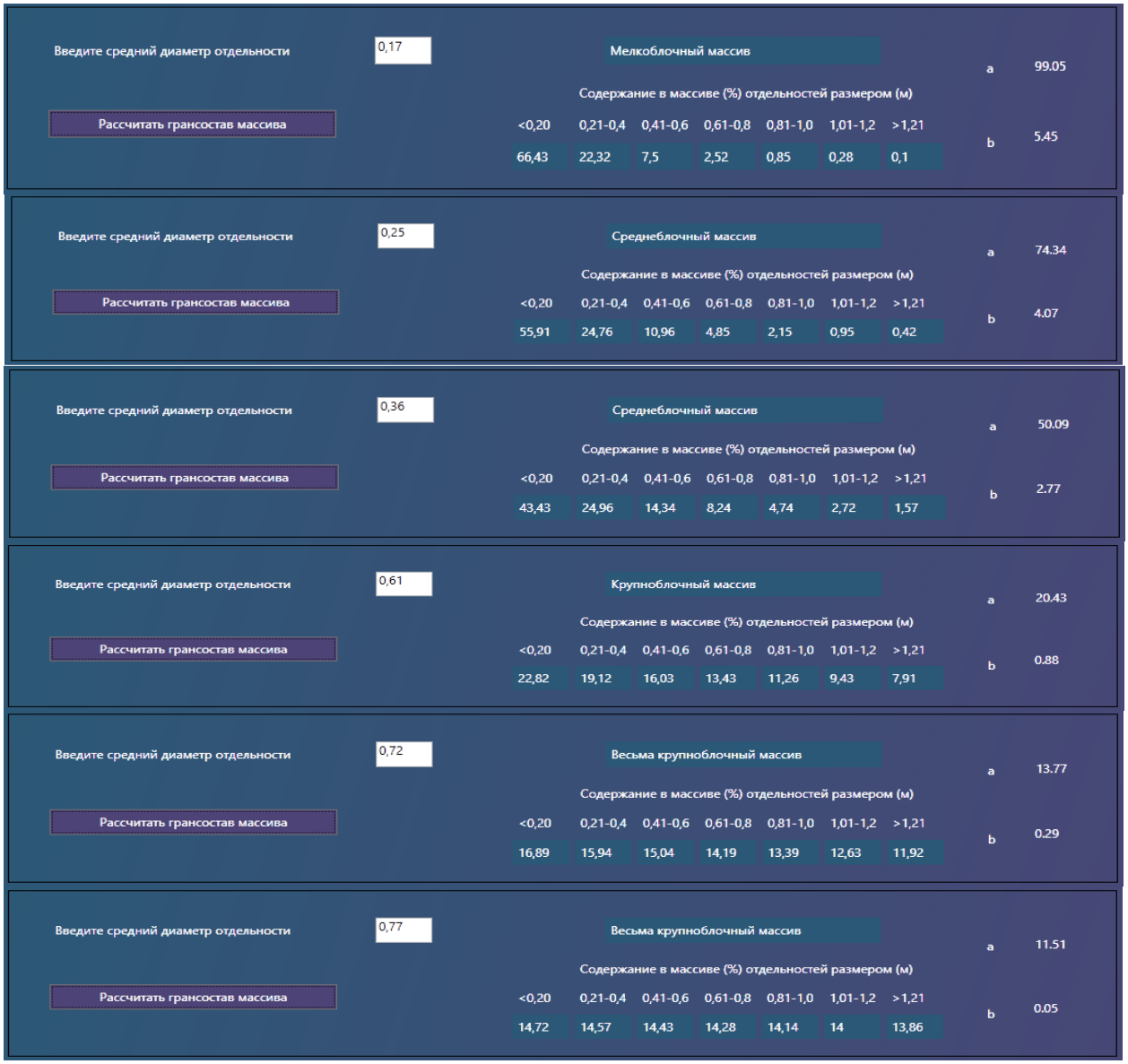


Рисунок 3.16 – Расчет грансостава массива в зависимости от среднего размера отдельности

3.1.3 Программное обеспечение определения характеристик пород при взрывной нагрузке

Для определения максимальных размеров взрывной полости при взрыве цилиндрического заряда в массиве с двумя свободными поверхностями достаточно ограничиться рассмотрением камуфлетной стадии взрыва. Из работ Ракишева Б. [47,94] предельный относительный радиус полости находится по выражению:

$$\overline{r}_{пр} \approx 1, \qquad \overline{r}_{пр} = (P_н / P_c)^{1/4}. \tag{3.4}$$

Для того чтобы пользоваться уравнением (3.4), нужно знать значения величин $P_н$, $P_с$. Расширение полости под действием газообразных продуктов детонации (ПД) начинается с момента отделения фронта ударной волны от поверхности раздела ПД – среда. К этому времени в замкнутом объеме в продуктах детонации устанавливается одинаковое среднее давление, значение которого вдвое меньше давления на фронте детонационной волны. Следовательно, это давление для рассматриваемой стадии взрыва является начальным, т. е.:

$$P_н = 1/8\rho_{ВВ}D^2, \tag{3.5}$$

где $\rho_{вв}$ – плотность ВВ; D – скорость детонации ВВ.

Прочностная характеристика породы в однородном скальном массиве при ν=0,25 с некоторым округлением равняется

$$P_c = \sigma_{сж}\left(\frac{\rho_0 c^2}{5\sigma_{сж}}\right)^{1/4}. \tag{3.6}$$

Выражение (3.6) получено из рассмотрения квазистатического расширения полости, которое имеет место на заключительной стадии взрыва. Поскольку в начальный момент действие взрыва на стенки полости носит ударный характер, в уравнение (3.6) следует внести поправку, учитывающую это условие. По экспериментальным данным ряда авторов для твердых тел (металлов, крепких камней) этот коэффициент в среднем равняется 1,5 [51,52]. С учетом этой поправки прочностная характеристика пород в условиях взрывного нагружения определяется по формуле

$$P_c = \sigma_{сж}\left(\frac{\rho_0 c^2}{\sigma_{сж}}\right)^{1/4}. \tag{3.7}$$

Как видно из уравнения (3.7), прочностная характеристика пород в условиях всестороннего динамического сжатия зависит как от сжимаемости, так и от предела прочности породы на раздавливание. Выражение в скобках представляет собой безразмерную величину, учитывающую условие всестороннего динамического сжатия среды при действии взрыва ВВ. Иначе говоря это величина выражает коэффициент динамичности пород ($к_д$) при действии взрыва в условиях всестороннего сжатия и равняется

$$к_д = \left(\frac{\rho_0 c^2}{\sigma_{сж}}\right)^{1/4}. \tag{3.8}$$

Величина $к_д$ показывает, во сколько раз увеличивается сопротивляемость пород разрушению в ближней зоне взрыва при всесторонней динамической нагрузке.

На основе вышеописанной теории определения прочностных характеристик пород и предельного радиуса взрывной полости был разработан программный модуль «Прочностные характеристики взрываемых пород и предельный радиус взрывной полости» в среде Microsoft Visual Studio 2019.

Минимальные системные требования: операционная система Microsoft Windows 7 SP1 с установленным пакетом .NET Framework 4.6.4[79-82], 32-разрядный (x86) или 64-разрядный (x64) процессор с тактовой частотой 1 ГГц или выше, 2 ГБ (для 32-разрядного процессора) или 4 ГБ (для 64-разрядного процессора) ОЗУ., 100 МБ свободного места на жестком диске, программная среда Visual Studio[79-82].

Программа включает комплекс программных средств для организации и проведения автоматизированных расчетов, обработки и представления измерительной информации, сохранения результатов измерений в базе данных, генерации отчетов по результатам исследований.

В отличие от ранее известных, разработанная методика расчета не прибегая к эксперименту, позволяет установить прочностную характеристику пород, коэффициент динамичности и относительный радиус полости в любых горных породах. Блок- схемы программы приведена на рис. 3.17. Алгоритм работы описан ниже.

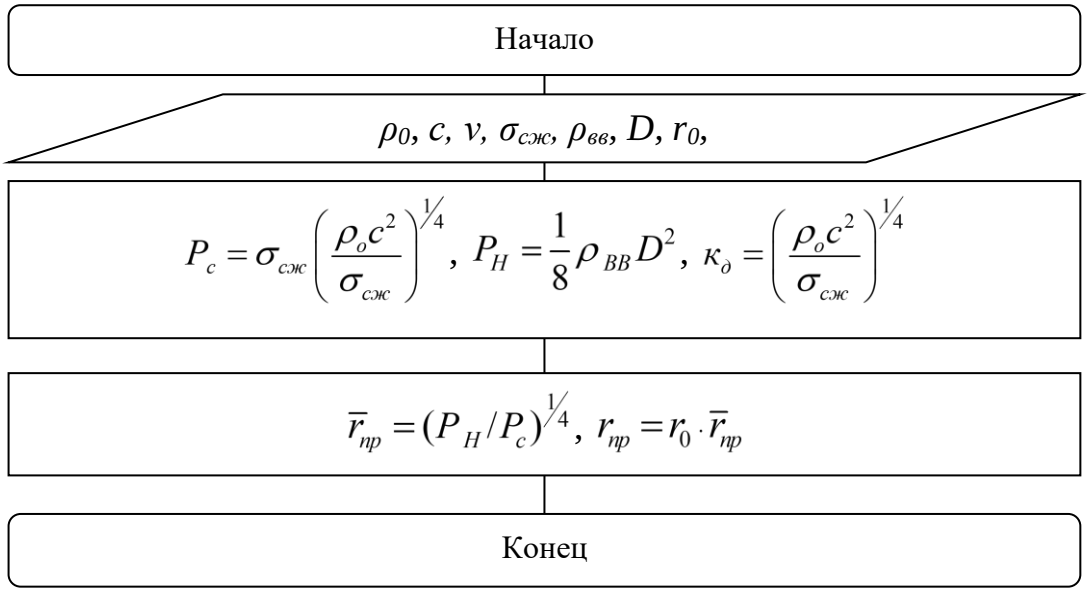


Рисунок 3.17 – Блок - схема алгоритма работы программы

Описание алгоритма

1. Начало

2. Вводятся исходные данные: ρ_0, c, $\sigma_{сж}$, $\rho_{вв}$, D, r_0.

3. Определяются: P_c, P_H, $к_д$

4. Определяются: $\bar{r}_{пр}$, $r_{пр}$

8. Выводятся на экран результаты вычислений.

9. Конец.

Спецификация программы

ρ_0 - плотность породы, кг/м^3;

c - скорость звука в породе, м/с;

$\sigma_{сж}$ - предел прочности на сжатие, МПа;

$\rho_{вв}$ - плотность взрывчатого вещества, кг/м^3;

D - скорость детонации, м/с;

$P_н$ - начальное давление продуктов детонации, МПа;

$P_с$ - прочностная характеристика породы, МПа;

$к_д$ – коэффициент динамичности пород;

$\bar{r}_{пр}$ – относительный предельный радиус полости;

$r_{пр}$ - предельный радиус полости, м;

r_0 – радиус скважины.

Для того чтобы начать работу с приложением нужно двойным нажатием левой кнопки мыши открыть файл приложения “calcul.exe” в корневой папке, как показано на рисунке 3.18.

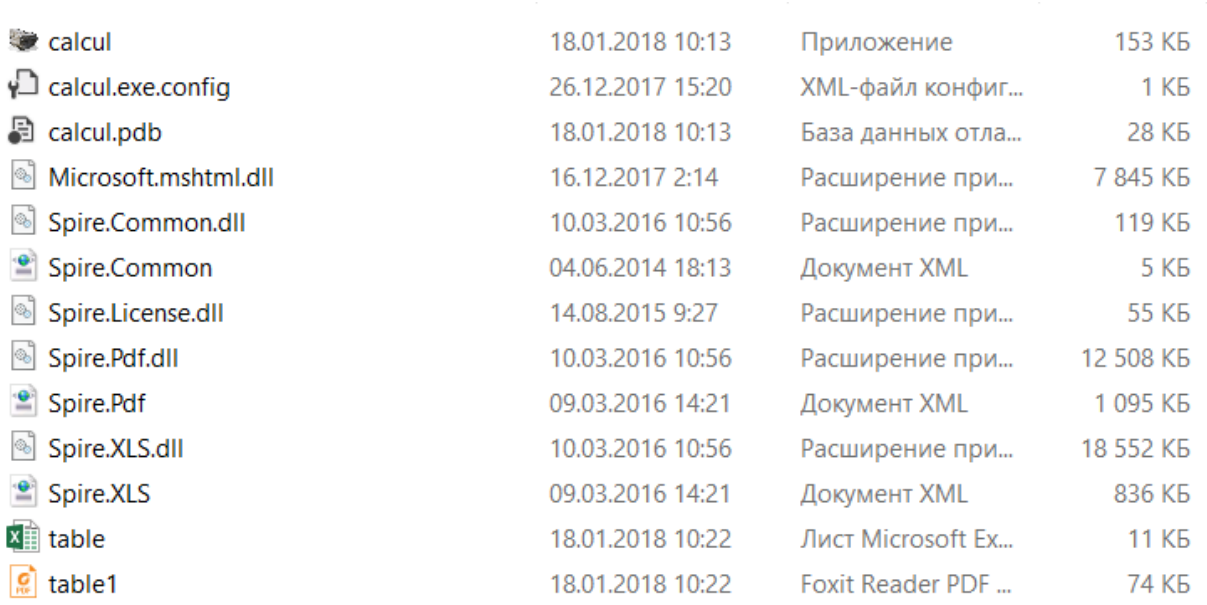


Рисунок 3.18 – Корневая папка

В открывшемся окне заполняем параметры для расчета характеристик пород при взрывной нагрузке, а точнее вводим табличные данные свойств рассматриваемой породы и ВВ в ячейки, расположенные в левой части программы, как показано на рисунке 2.19. Табличные значения могут быть изменены в режиме реального времени.

Рисунок 3.19 – Табличные свойства рассматриваемой пород и взрывчатого вещества

Далее, при необходимости, записывается название рассматривоемой породы в ячейку, расположенную в левой части программы, как показано на рисунке 3.20.

Рисунок 3.20 – Название рассматриваемой породы

В программе имеются разработанные шаблоны для проведения расчета характеристик пород при взрывной нагрузке. Для этого необходимо нажать на всплывающем списке, расположенном ниже ячейки название рассматриваемой породы, как показано на рисунке 3.21-3.22.

Рисунок 3.21 – Вид неактивного всплывающего окна

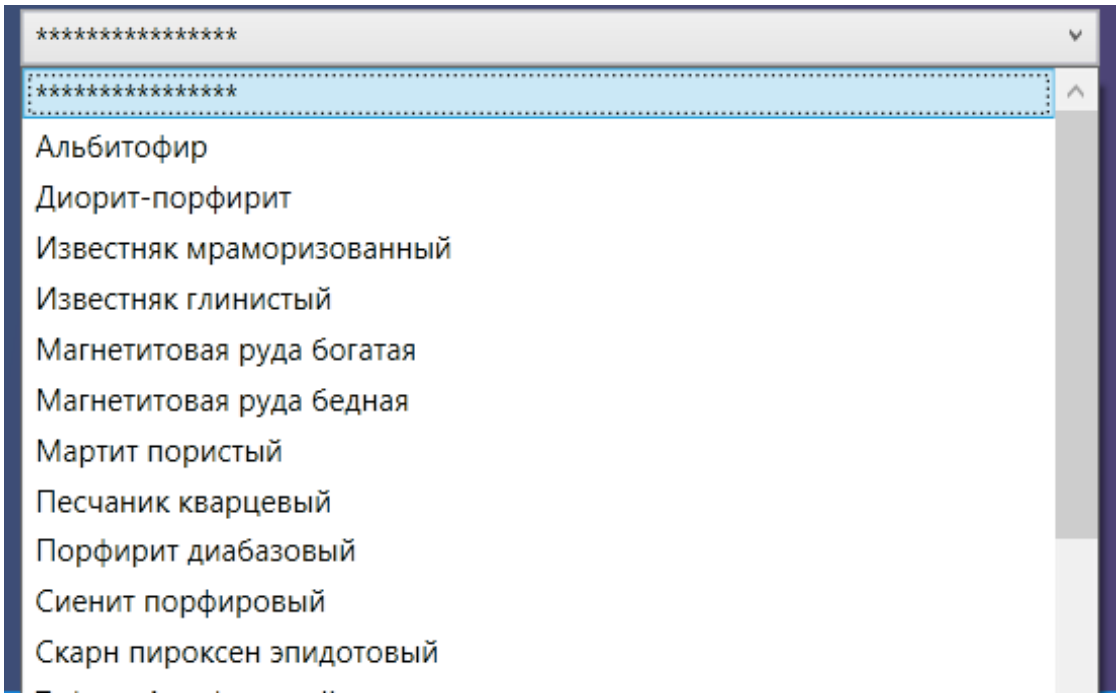


Рисунок 3.22 – Вид активного всплывающего окна

После внесения необходимых данных или выбора породы из всплывающего списка для расчета характеристик пород при взрывной нагрузке необходимо нажать на кнопку «Расчет», расположенную в нижней левой части программы (рисунок 3.23).

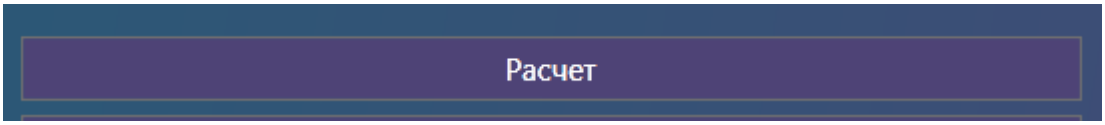


Рисунок 3.23 – Вид кнопки «Расчет»

Результат расчета будет выведен в правой части программы в табличной форме (рисунок 3.24).

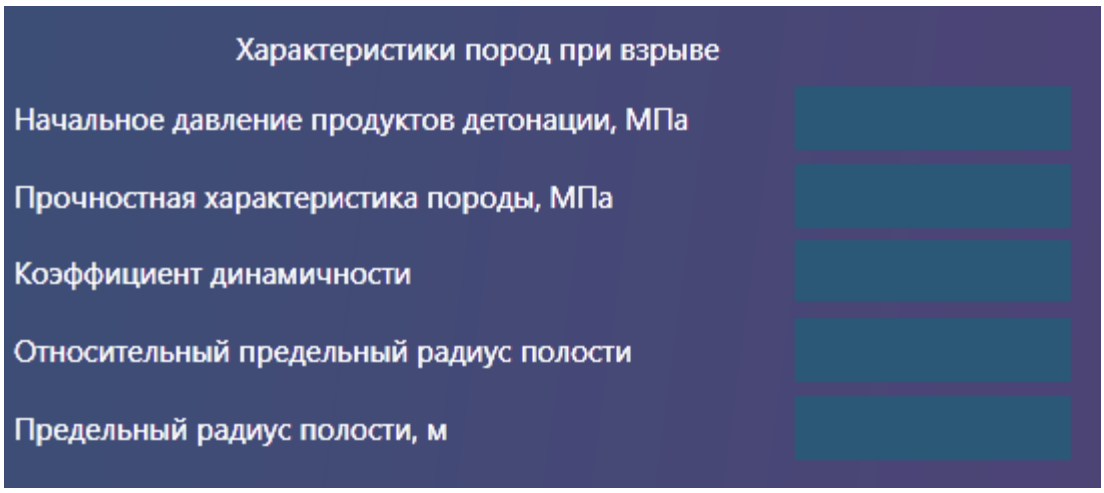


Рисунок 3.24 – Вид таблицы с результатами расчета

Так же сохраняет расчет в формате «Excel» в виде таблицы. В данной таблице выдаются результаты расчета при скорости детонации от 3500 до 5000 м/с и плотности взрывчатого вещества, от 0,9 до 1,5 кг/м^3 (рисунки 3.25-3.26).

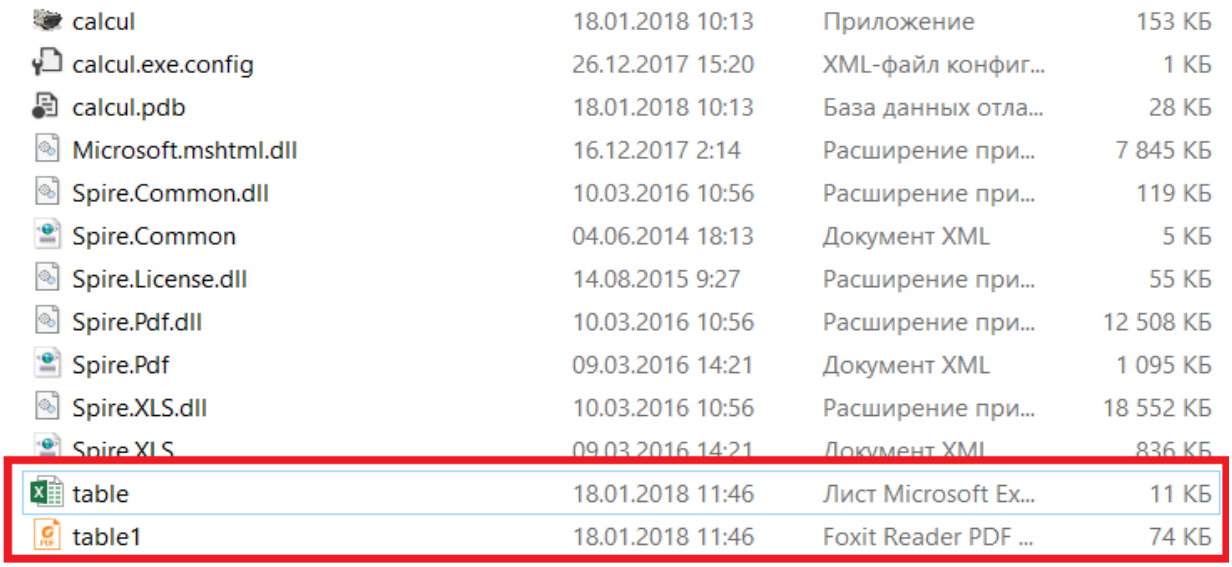
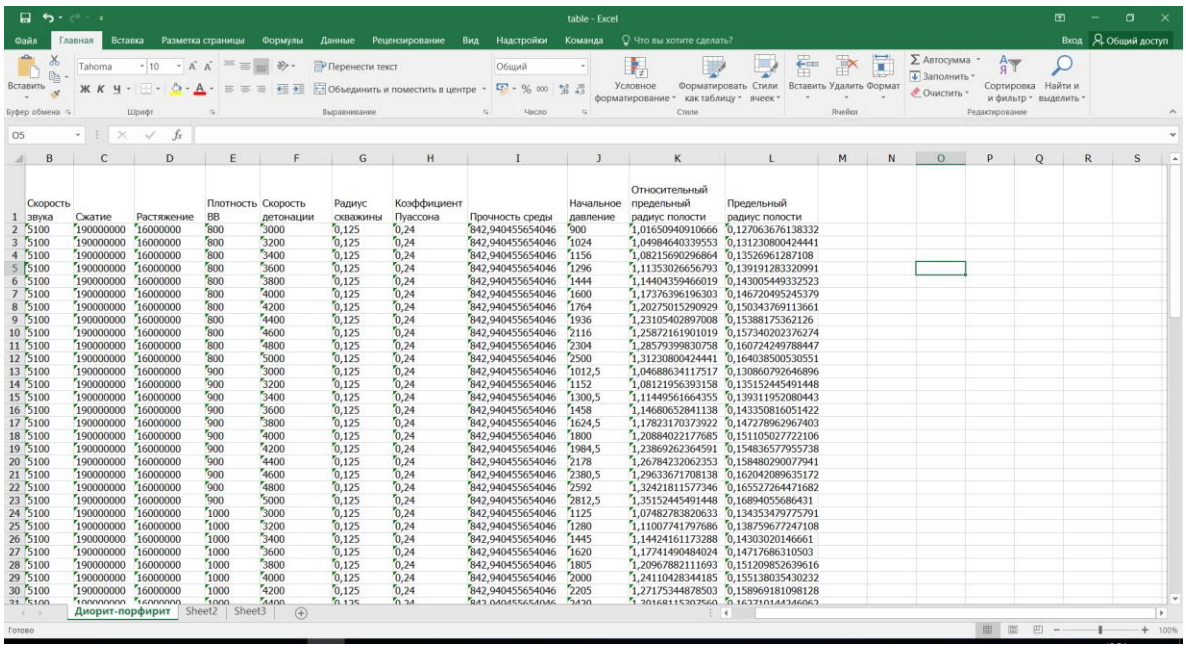


Рисунок 3.25 – Расположение файла таблицы в корневой папке программы



	Скорость звука	Сжатие	Растяжение	Плотность ВВ	Скорость детонации	Радиус скважины	Коэффициент Пуассона	Прочность среды	Начальное давление	Относительный предельный радиус полости	Предельный радиус полости
2	5100	190000000	16000000	800	3000	0,125	0,24	842,940455654046	900	1,01650940910666	0,127063676138332
3	5100	190000000	16000000	800	3200	0,125	0,24	842,940455654046	1024	1,04984640339553	0,131230800424441
4	5100	190000000	16000000	800	3400	0,125	0,24	842,940455654046	1156	1,08215690296864	0,13526961287108
5	5100	190000000	16000000	800	3600	0,125	0,24	842,940455654046	1296	1,11353026656793	0,139191283320991
6	5100	190000000	16000000	800	3800	0,125	0,24	842,940455654046	1444	1,14404359466019	0,143005449332523
7	5100	190000000	16000000	800	4000	0,125	0,24	842,940455654046	1600	1,17376396196303	0,146720495245379
8	5100	190000000	16000000	800	4200	0,125	0,24	842,940455654046	1764	1,20275015290929	0,150343769113661
9	5100	190000000	16000000	800	4400	0,125	0,24	842,940455654046	1936	1,23105402897008	0,15388175362126
10	5100	190000000	16000000	800	4600	0,125	0,24	842,940455654046	2116	1,25872161901019	0,157340202376274
11	5100	190000000	16000000	800	4800	0,125	0,24	842,940455654046	2304	1,28579399830758	0,160724249788447
12	5100	190000000	16000000	800	5000	0,125	0,24	842,940455654046	2500	1,31230800424441	0,164038500530551
13	5100	190000000	16000000	900	3000	0,125	0,24	842,940455654046	1012,5	1,04688634117517	0,130860792646896
14	5100	190000000	16000000	900	3200	0,125	0,24	842,940455654046	1152	1,08121956393158	0,135152445491448
15	5100	190000000	16000000	900	3400	0,125	0,24	842,940455654046	1300,5	1,11449561664355	0,139311952080443
16	5100	190000000	16000000	900	3600	0,125	0,24	842,940455654046	1458	1,14680652841138	0,143350816051422
17	5100	190000000	16000000	900	3800	0,125	0,24	842,940455654046	1624,5	1,17823170373922	0,147278962967403
18	5100	190000000	16000000	900	4000	0,125	0,24	842,940455654046	1800	1,20884022177685	0,151105027722106
19	5100	190000000	16000000	900	4200	0,125	0,24	842,940455654046	1984,5	1,23869262364591	0,154836577955738
20	5100	190000000	16000000	900	4400	0,125	0,24	842,940455654046	2178	1,26784232062353	0,158480290077941
21	5100	190000000	16000000	900	4600	0,125	0,24	842,940455654046	2380,5	1,29633671708138	0,162042089635172
22	5100	190000000	16000000	900	4800	0,125	0,24	842,940455654046	2592	1,32421811577346	0,165527264471682
23	5100	190000000	16000000	900	5000	0,125	0,24	842,940455654046	2812,5	1,35152445491448	0,16894055686431
24	5100	190000000	16000000	1000	3000	0,125	0,24	842,940455654046	1125	1,07482783820633	0,134353479775791
25	5100	190000000	16000000	1000	3200	0,125	0,24	842,940455654046	1280	1,11007741797686	0,138759677247108
26	5100	190000000	16000000	1000	3400	0,125	0,24	842,940455654046	1445	1,14424161173288	0,143030201466661
27	5100	190000000	16000000	1000	3600	0,125	0,24	842,940455654046	1620	1,17741490484024	0,14717686310503
28	5100	190000000	16000000	1000	3800	0,125	0,24	842,940455654046	1805	1,20967882111693	0,151209852639616
29	5100	190000000	16000000	1000	4000	0,125	0,24	842,940455654046	2000	1,24110428344185	0,155138035430232
30	5100	190000000	16000000	1000	4200	0,125	0,24	842,940455654046	2205	1,27175344878503	0,158969181098128

Рисунок 3.26 – Вид таблицы с результатами в программе «Excel»

3.1.4 Примеры использования программы для определения характеристик пород при взрывной нагрузке

На рисунках 3.27-3.31 показаны примеры использования программы для определения искомых характеристик при взрывной нагрузке в альбитофирах, песчаниках кварцевых, скарнированных известняках, эпидот-актинолитовых скарнах и массивных известняках Сарбайского месторождения.

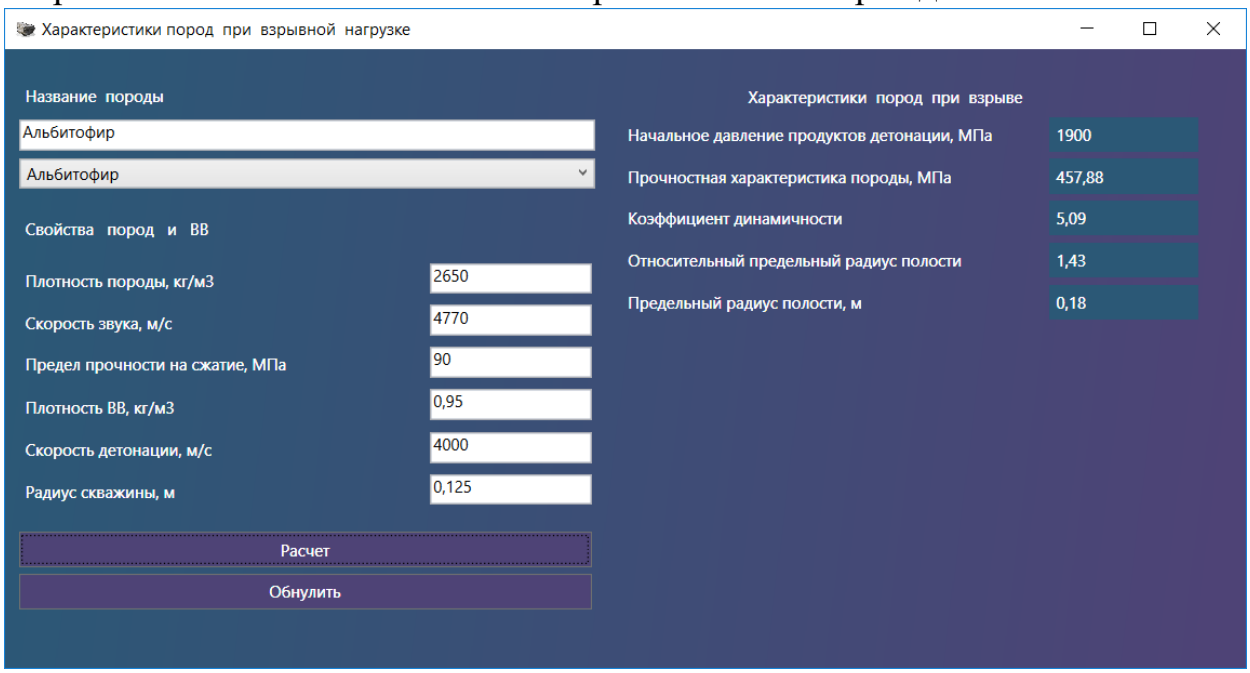


Рисунок 3.27 – Расчет характеристик для альбитофиров

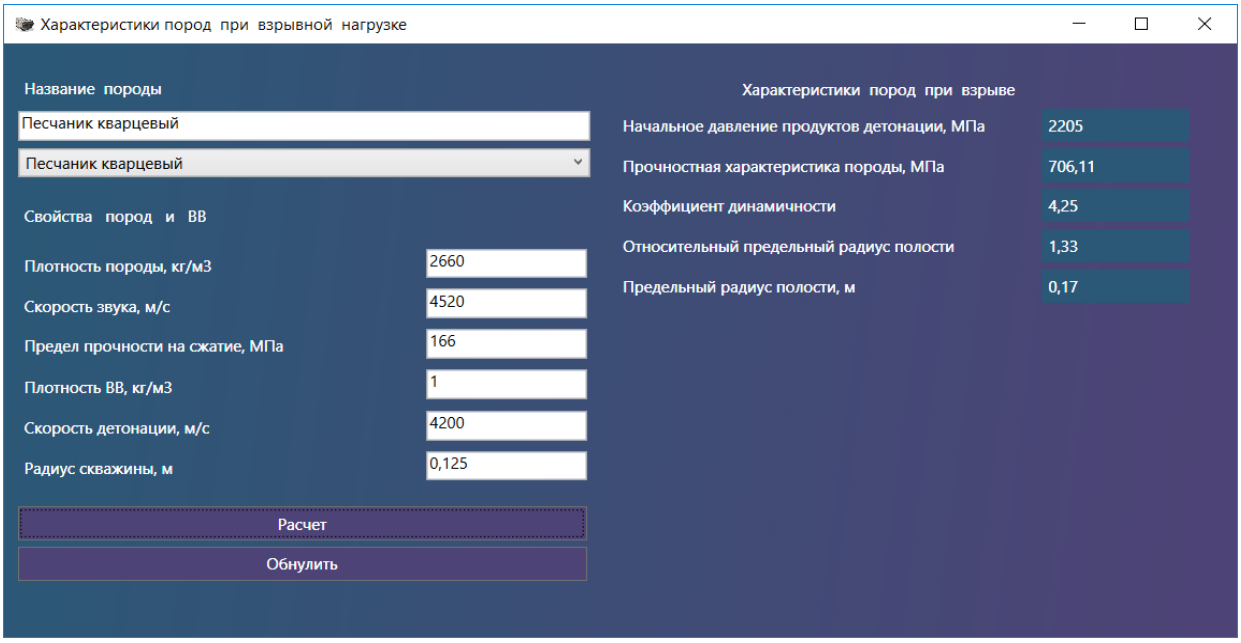


Рисунок 3.28 – Расчет характеристик для песчаников кварцевых

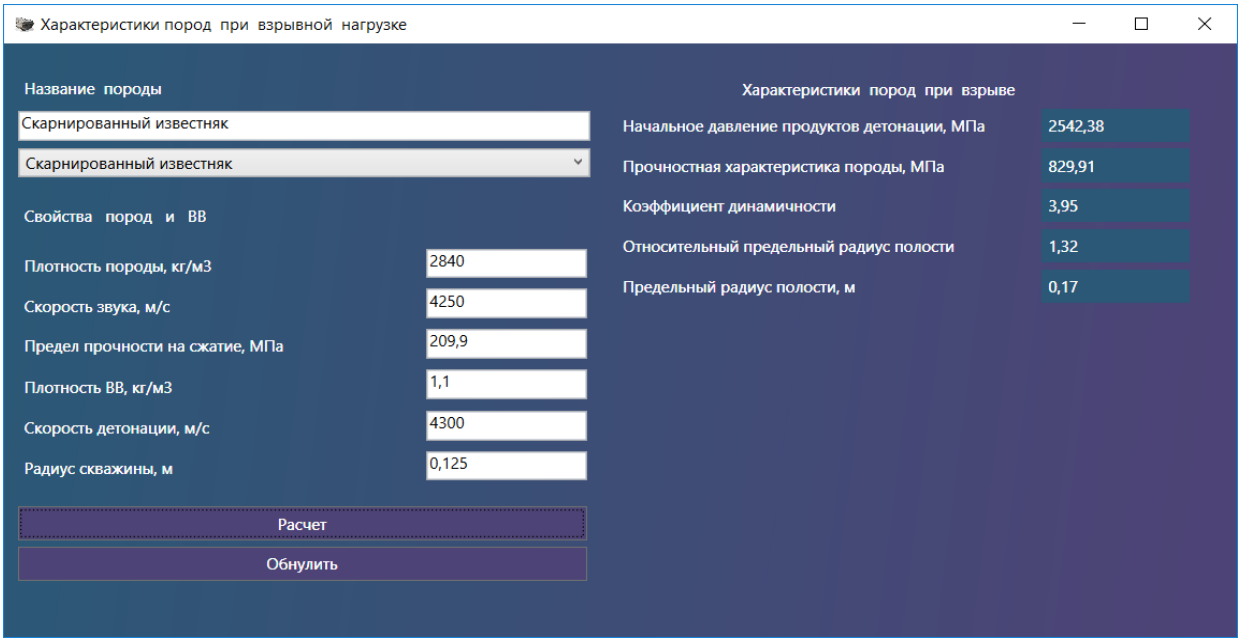


Рисунок 3.29 – Расчет характеристик для скарнированных известняков

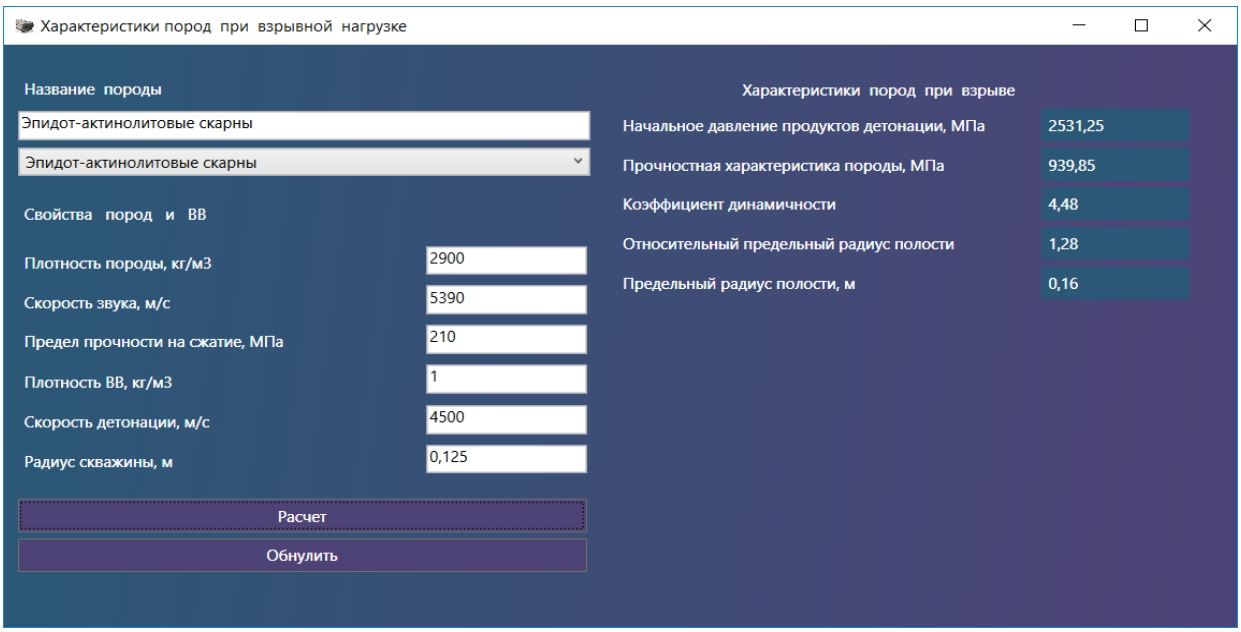


Рисунок 3.30 – Расчет характеристик для эпидот-актинолитовых скарнов

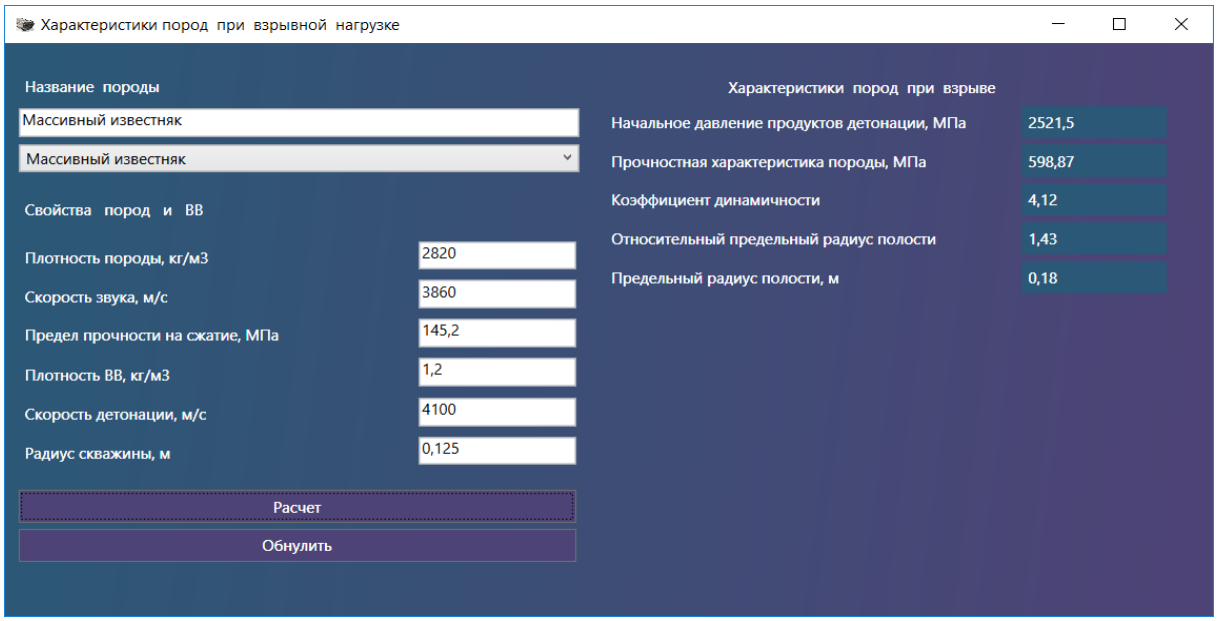


Рисунок 3.31 – Расчет характеристик для массивных известняков

3.1.5 Программное обеспечение для определения размеров зоны интенсивного дробления пород

Минимальные системные требования: операционная система Microsoft Windows 7 SP1 с установленным пакетом. NET Framework 4.6.4 [79-82], 32-разрядный (x86) или 64-разрядный (x64) процессор с тактовой частотой 1 ГГц или выше, 2 ГБ (для 32-разрядного процессора) или 4 ГБ (для 64-разрядного

процессора) ОЗУ, 100 МБ свободного места на жестком диске, программная среда Visual Studio[81,82].

Программа включает комплекс программных средств для организации и проведения автоматизированных расчетов, обработки и представления измерительной информации, сохранения результатов измерений в базе данных, генерации отчетов по результатам исследований.

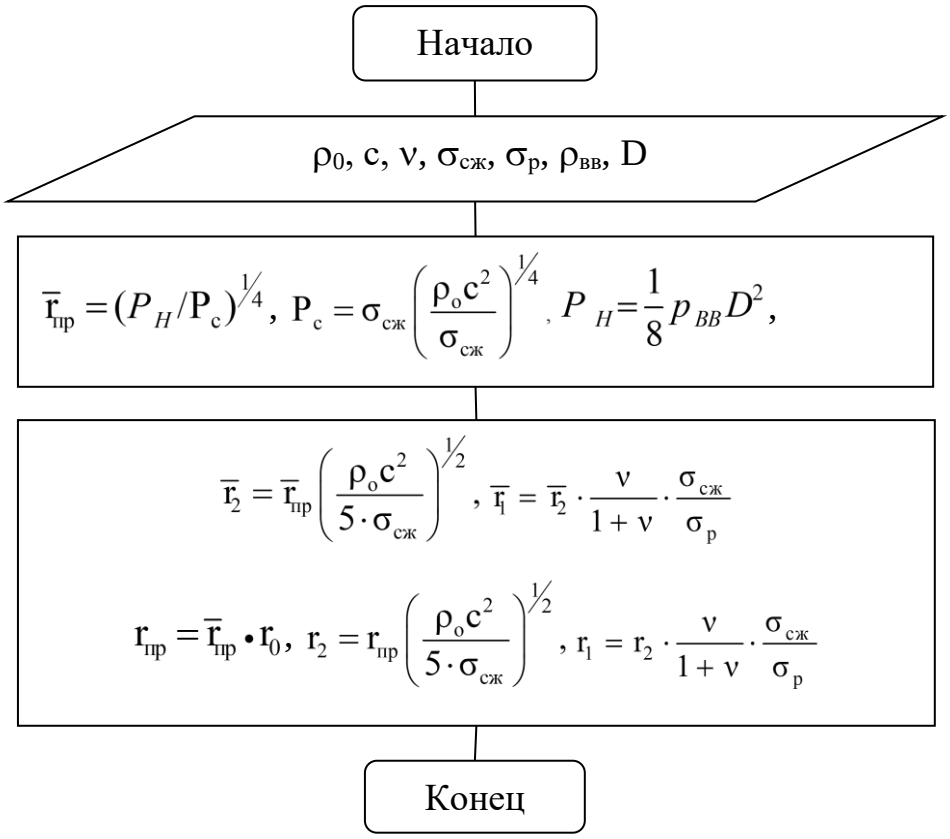


Рисунок 3.32 – Блок - схема программы

Описание алгоритма

1. Начало
2. Вводятся исходные данные: ρ_0, c, ν, $\sigma_{сж}$, $\sigma_р$, $\rho_{вв}$, D.
3. Определяются: $\bar{r}_2$, $\bar{r}_1$, r_1, r_2,
4. Выводятся на экран результаты вычислений.
5. Конец.

Спецификация программы

ρ_0 - плотность породы, кг/м^3;

c - скорость звука в породе, м/с;

ν – коэффициент Пуассона;

$\sigma_{сж}$ - предел прочности на сжатие, Па;
$\sigma_р$ - предел прочности на растяжение, Па;
$\rho_{вв}$ - плотность взрывчатого вещества, кг/м^3;
D - скорость детонации, м/с;
$\overline{r}_2$ - относительный радиус зоны мелкого дробления, м;
$\overline{r}_1$ - относительный радиус зоны радиальных трещин, м;
r_2 - радиус зоны мелкого дробления, м;
r_1 - радиус зоны радиальных трещин, м;

Для того чтобы начать работу с приложением нужно двойным нажатием левой кнопки мыши открыть файл приложения “calcul.exe” в корневой папке, как показано на рис. 3.33.

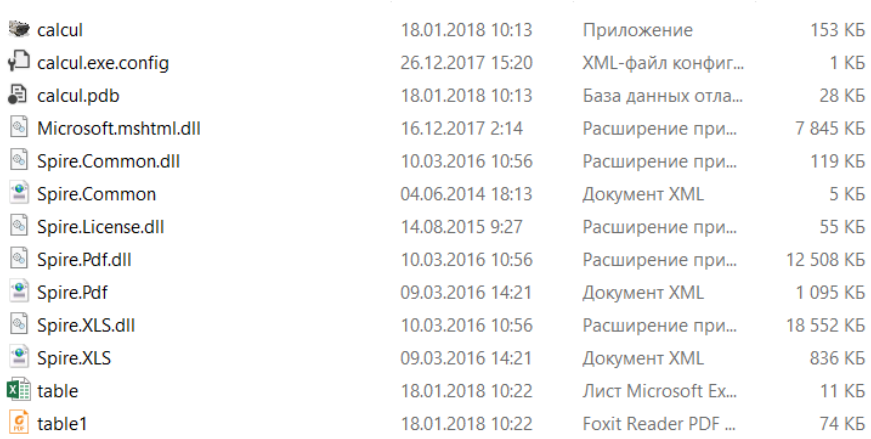


Рисунок 3.33 – Корневая папка

В открывшемся окне заполняют параметры для расчета размеров зон разрушения, а точнее вводим табличные данные свойств рассматриваемой породы и ВВ в ячейки, расположенные в левой части программы, как показано на рис. 3.34. Табличные значения могут быть изменены в режиме реального времени.

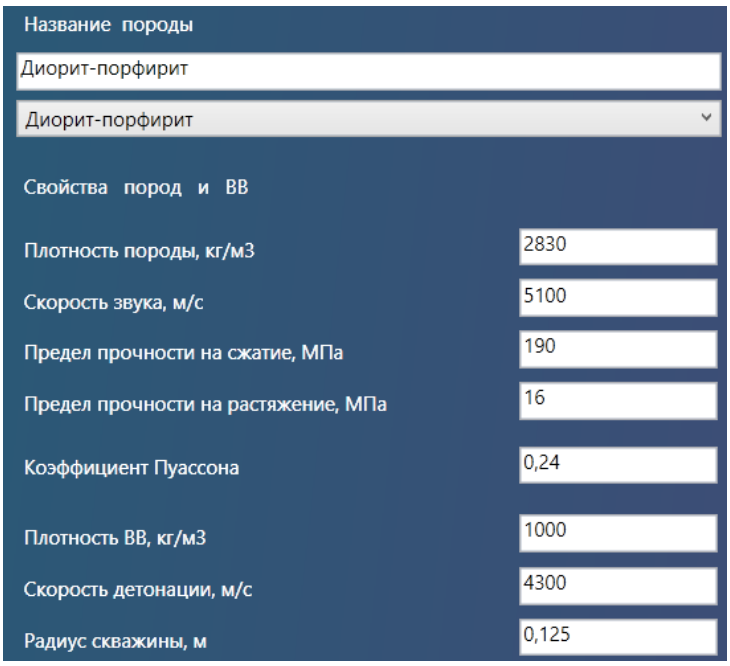


Рисунок 3.34 – Табличные свойсва рассматриваемой породы и взрывчатого вещества

Далее, при необходимости, записывается название рассматриваемой породы в ячейку, расположенную в левой части программы, как показано на рис. 3.35.

Рисунок 3.35 – Название рассматриваемой породы

В программе имеются разработанные шаблоны для проведения расчета размеров зон разрушения. Для этого необходимо нажать на всплывающее окно, расположенном ниже ячейки названия рассматриваемой породы, как показано на рис. 3.36-3.37.

Рисунок 3.36 – Вид неактивного всплывающего окна

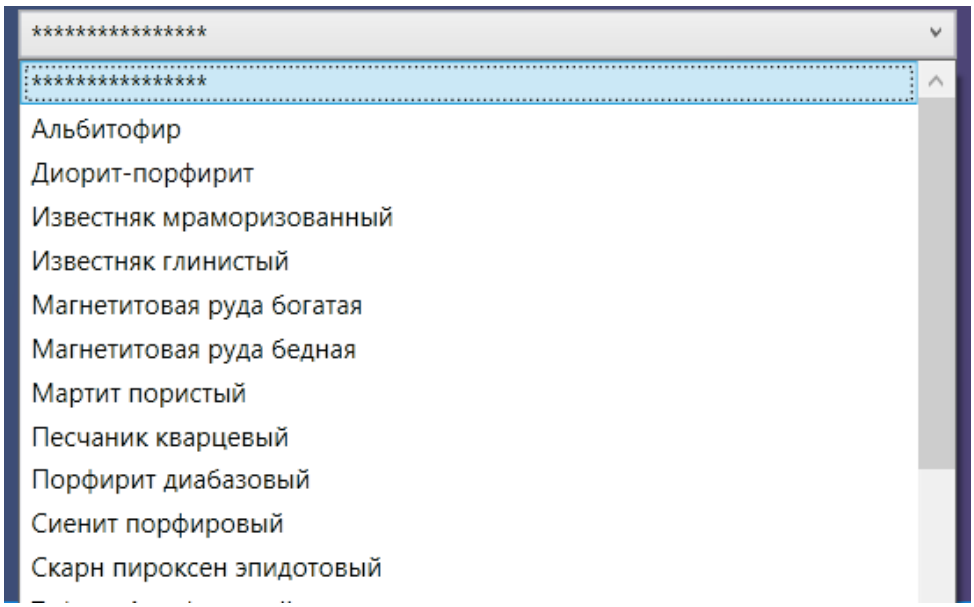


Рисунок 3.37 – Вид активного всплывающего окна

После внесения необходимых данных или выбора породы из всплывающего списка для расчета размеров зон разрушения необходимо нажать на кнопку «Расчет», расположенную в нижней левой части программы (рис. 3.38).

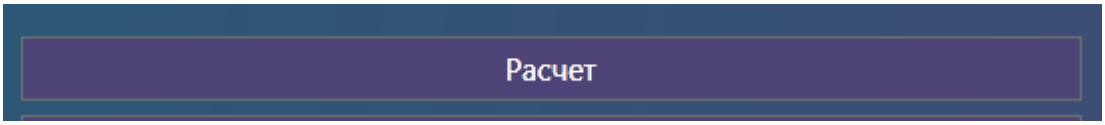


Рисунок 3.38 – Вид кнопки «Расчет»

Результат расчета размеров зон разрушения будет выведен в правой части программы (рис. 3.39). Расчет проведен для диорит-порфирита.

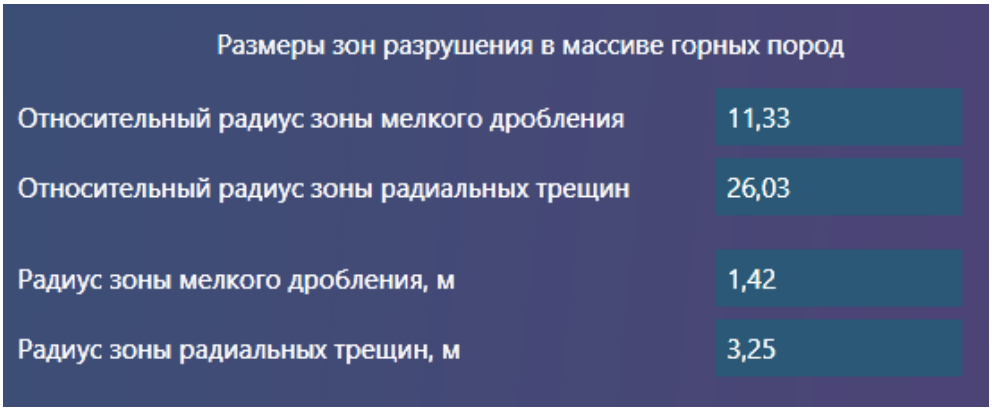


Рисунок 3.39– Вид поля результатов расчета

Программа сохраняет файл с таблицей результатов расчета размеров зон разрушения в рассматриваемых породах при различных P_H (рис. 3.40-3.42).

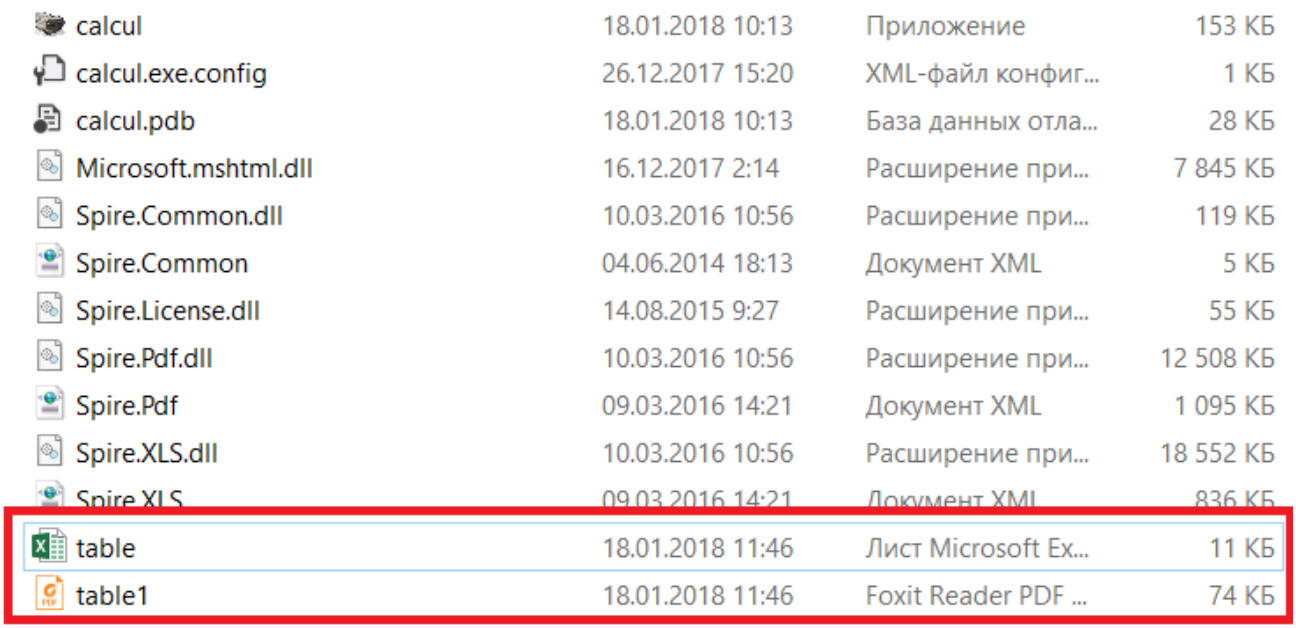


Рисунок 3.40 – Расположение файла таблицы в корневой папке программы

Порода	Прочностные характеристики породы, МПа	Относительный радиус зоны мелкого дробления при Рн = 1500 МПа	Относительный радиус зоны мелкого дробления при Рн = 2000 МПа	Относительный радиус зоны мелкого дробления при Рн = 2500 МПа	Относительный радиус зоны мелкого дробления при Рн = 3000 МПа	Относительный радиус зоны мелкого дробления при Рн = 3500 МПа	Относительный радиус зоны мелкого дробления при Рн = 4000 МПа	Относительный радиус зоны мелкого дробления при Рн = 4400 МПа	Относительный радиус зоны радиальных трещин при Рн = 1500 МПа	Относительный радиус зоны радиальных трещин при Рн = 2000 МПа	Относительный радиус зоны радиальных трещин при Рн = 2500 МПа	Относительный радиус зоны радиальных трещин при Рн = 3000 МПа	Относительный радиус зоны радиальных трещин при Рн = 3500 МПа	Относительный радиус зоны радиальных трещин при Рн = 4000 МПа	Относительный радиус зоны радиальных трещин при Рн = 4400 МПа
Альбитофир	458	15,57	16,73	17,69	18,52	19,25	19,9	20,38	25,55	27,45	29,03	30,38	31,58	32,65	33,43
Диорит-порфирит	843	10,17	10,92	11,55	12,09	12,56	12,99	13,3	23,37	25,11	26,55	27,79	28,88	29,86	30,58
Известняк мраморизованный	520	10,94	11,76	12,43	13,01	13,52	13,98	14,32	33,66	36,17	38,25	40,03	41,6	43,02	44,05
Известняк глинистый	614	10,17	10,93	11,55	12,09	12,57	12,99	13,31	26,4	28,37	30	31,4	32,63	33,74	34,56
Магнетитовая руда богатая	1152	8,44	9,07	9,59	10,03	10,43	10,78	11,04	23,2	24,93	26,36	27,59	28,67	29,64	30,36
Магнетитовая руда бедная	934	9,6	10,31	10,91	11,41	11,86	12,27	12,56	21,55	23,15	24,48	25,62	26,63	27,53	28,2
Мартит пористый	401	13,38	14,38	15,2	15,91	16,54	17,1	17,51	34,79	37,39	39,53	41,37	43	44,46	45,53
Песчаник кварцевый	706	9,77	10,5	11,1	11,62	12,07	12,48	12,79	21,62	23,24	24,57	25,71	26,72	27,63	28,3
Порфирит диабазовый	787	12,71	13,65	14,44	15,11	15,71	16,24	16,63	23,76	25,53	27	28,26	29,37	30,36	31,1
Сиенит порфировый	706	11,96	12,85	13,59	14,22	14,78	15,28	15,65	29,57	31,78	33,6	35,17	36,55	37,79	38,7
Скарн пироксен эпидотовый	805	12,01	12,9	13,64	14,28	14,84	15,35	15,72	43,59	46,84	49,53	51,84	53,87	55,7	57,04
Туф альбитофировый	699	10,33	11,1	11,74	12,28	12,77	13,2	13,52	15,45	16,6	17,56	18,37	19,1	19,74	20,22
Скарнированный известняк	830	8,11	8,71	9,21	9,64	10,02	10,36	10,61	20,03	21,53	22,76	23,82	24,76	25,6	26,22
Крупнозернистый известняк	733	9,32	10,02	10,59	11,09	11,52	11,92	12,2	23,32	25,06	26,5	27,74	28,83	29,81	30,52
Роговики	1005	7,51	8,07	8,53	8,93	9,28	9,59	9,82	20,69	22,24	23,51	24,61	25,58	26,44	27,08
Туфы порфиры	957	7,73	8,31	8,79	9,2	9,56	9,88	10,12	22,15	23,8	25,16	26,34	27,37	28,3	28,98
Эпидот-актинолитовые скарн	940	10,07	10,82	11,44	11,97	12,44	12,87	13,18	22,45	24,13	25,51	26,7	27,75	28,69	29,38
Гранотовые скарны	822	9,79	10,52	11,12	11,64	12,1	12,51	12,81	26,4	28,37	30	31,4	32,63	33,74	34,55
Оруденелые скарны	908	14,04	15,08	15,95	16,69	17,35	17,94	18,37	31,73	34,1	36,06	37,74	39,22	40,55	41,53
Массивный известняк	599	9,57	10,28	10,87	11,38	11,83	12,23	12,52	21,88	23,51	24,86	26,02	27,05	27,96	28,64

Рисунок 3.41 – Вид таблицы с результатами расчета относительных радиусов зон мелкого дробления и радиальных трещин в программе «Excel»

Порода	Прочностные характеристики породы, МПа	Радиус зоны мелкого дробления при Рн = 1500 МПа	Радиус зоны мелкого дробления при Рн = 2000 МПа	Радиус зоны мелкого дробления при Рн = 2500 МПа	Радиус зоны мелкого дробления при Рн = 3000 МПа	Радиус зоны мелкого дробления при Рн = 3500 МПа	Радиус зоны мелкого дробления при Рн = 4000 МПа	Радиус зоны мелкого дробления при Рн = 4400 МПа	Радиус зоны радиальных трещин при Рн = 1500 МПа	Радиус зоны радиальных трещин при Рн = 2000 МПа	Радиус зоны радиальных трещин при Рн = 2500 МПа	Радиус зоны радиальных трещин при Рн = 3000 МПа	Радиус зоны радиальных трещин при Рн = 3500 МПа	Радиус зоны радиальных трещин при Рн = 4000 МПа
Альбитофир	458	1,95	2,09	2,21	2,31	2,41	2,49	2,55	3,19	3,43	3,63	3,8	3,95	4,08
Диорит-порфирит	843	1,27	1,37	1,44	1,51	1,57	1,62	1,66	2,92	3,14	3,32	3,47	3,61	3,73
Известняк мраморизованный	520	1,37	1,47	1,55	1,63	1,69	1,75	1,79	4,21	4,52	4,78	5	5,2	5,38
Известняк глинистый	614	1,27	1,37	1,44	1,51	1,57	1,62	1,66	3,3	3,55	3,75	3,92	4,08	4,22
Магнетитовая руда богатая	1152	1,05	1,13	1,2	1,25	1,3	1,35	1,38	2,9	3,12	3,29	3,45	3,58	3,71
Магнетитовая руда бедная	934	1,2	1,29	1,36	1,43	1,48	1,53	1,57	2,69	2,89	3,06	3,2	3,33	3,44
Мартит пористый	401	1,67	1,8	1,9	1,99	2,07	2,14	2,19	4,35	4,67	4,94	5,17	5,37	5,56
Песчаник кварцевый	706	1,22	1,31	1,39	1,45	1,51	1,56	1,6	2,7	2,9	3,07	3,21	3,34	3,45
Порфирит диабазовый	787	1,59	1,71	1,8	1,89	1,96	2,03	2,08	2,97	3,19	3,37	3,53	3,67	3,8
Сиенит порфировый	706	1,49	1,61	1,7	1,78	1,85	1,91	1,96	3,7	3,97	4,2	4,4	4,57	4,72
Скарн пироксен эпидотовый	805	1,5	1,61	1,71	1,79	1,86	1,92	1,96	5,45	5,85	6,19	6,48	6,73	6,96
Туф альбитофировый	699	1,29	1,39	1,47	1,54	1,6	1,65	1,69	1,93	2,08	2,19	2,3	2,39	2,47
Скарнированный известняк	830	1,01	1,09	1,15	1,2	1,25	1,29	1,33	2,5	2,69	2,85	2,98	3,09	3,2
Крупнозернистый известняк	733	1,17	1,25	1,32	1,39	1,44	1,49	1,53	2,92	3,13	3,31	3,47	3,6	3,73
Роговики	1005	0,94	1,01	1,07	1,12	1,16	1,2	1,23	2,59	2,78	2,94	3,08	3,2	3,31
Туфы порфиры	957	0,97	1,04	1,1	1,15	1,19	1,24	1,27	2,77	2,97	3,15	3,29	3,42	3,54
Эпидот-актинолитовые скарны	940	1,26	1,35	1,43	1,5	1,56	1,61	1,65	2,81	3,02	3,19	3,34	3,47	3,59
Гранотовые скарны	822	1,22	1,32	1,39	1,46	1,51	1,56	1,6	3,3	3,55	3,75	3,92	4,08	4,22
Оруденелые скарны	908	1,75	1,89	1,99	2,09	2,17	2,24	2,3	3,97	4,26	4,51	4,72	4,9	5,07
Массивный известняк	599	1,2	1,29	1,36	1,42	1,48	1,53	1,57	2,74	2,94	3,11	3,25	3,38	3,5

Рисунок 3.42 – Вид таблицы с результатами расчета радиусов зон мелкого дробления и радиальных трещин при радиусе скважины r_0=0,125 м в программе «Excel»

3.1.6 Примеры использования программы для определения размеров зоны интенсивного дробления

На рисунках 3.43-3.47 показаны примеры использования программы для определения искомых размеров зон разрушения в диорит-порфиритах, песчаниках кварцевых, скарнированных известняках, эпидот-актинолитовых скарнах и массивных известняках Сарбайского месторождения.

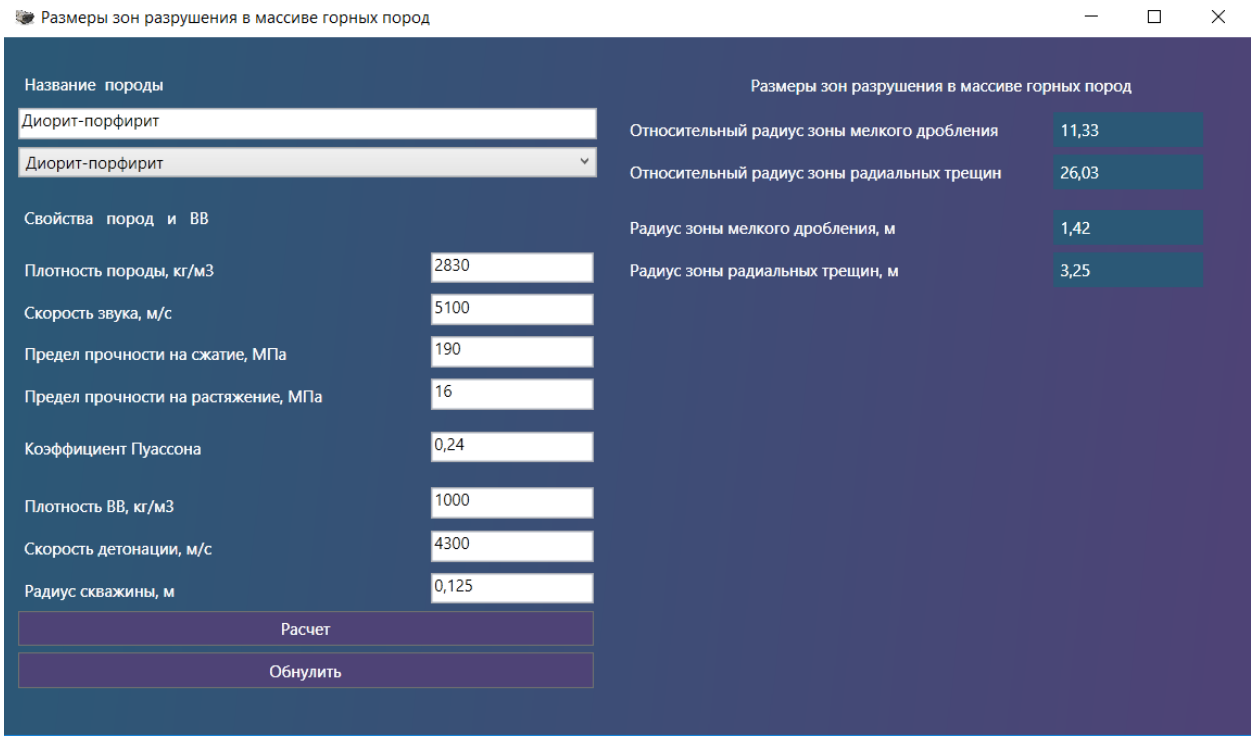


Рисунок 3.43 – Расчет размеров зон разрушения для диорит-порфиритов

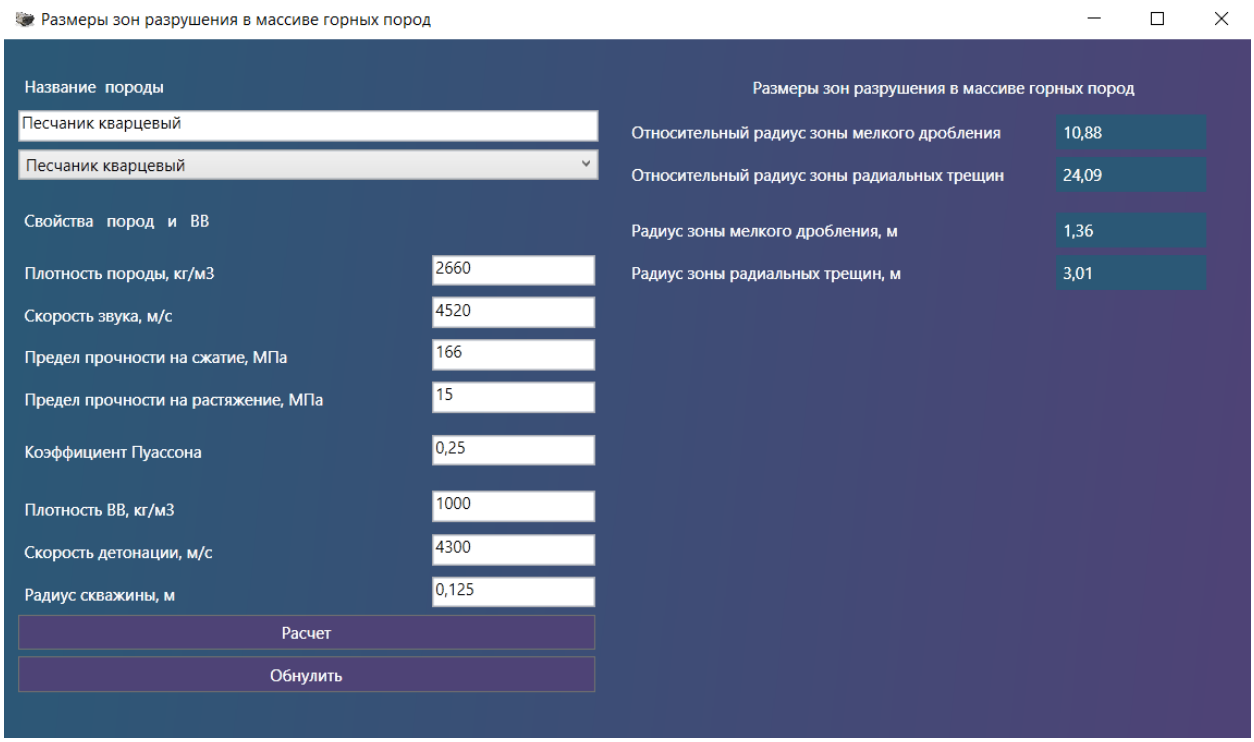


Рисунок 3.44 – Расчет размеров зон разрушения для песчаников кварцевых

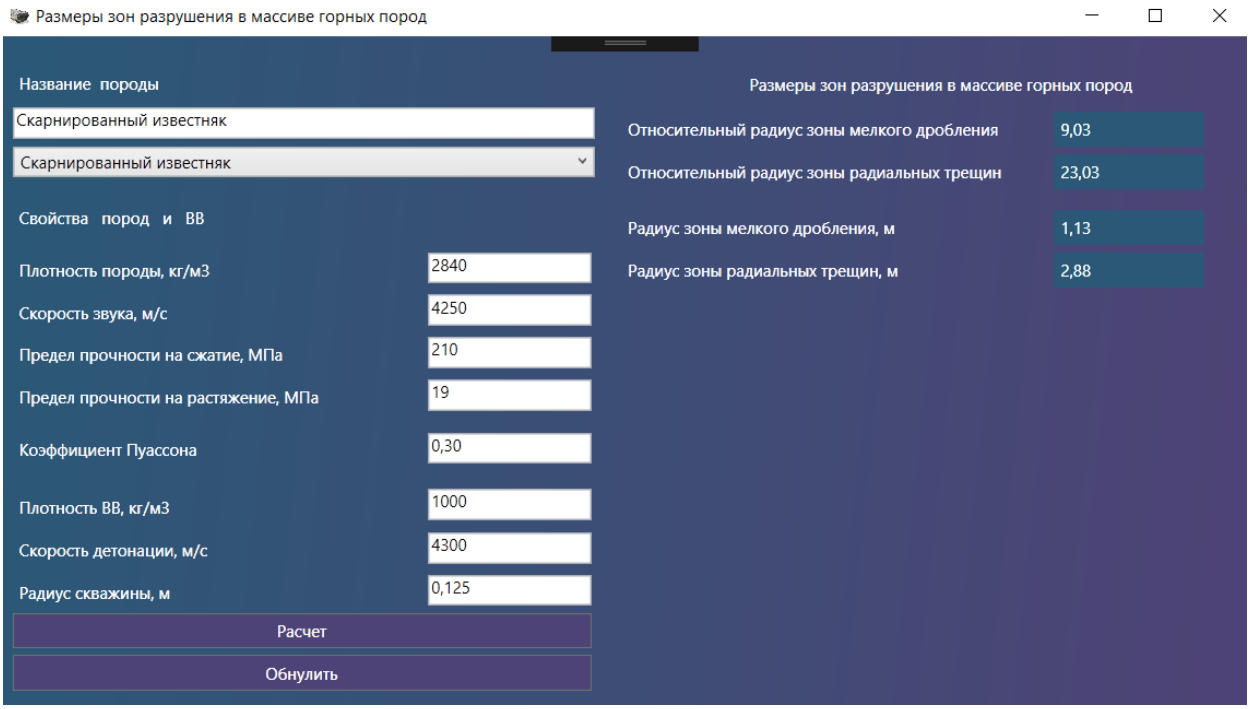


Рисунок 3.45 – Расчет размеров зон разрушения для скарнированных известняков

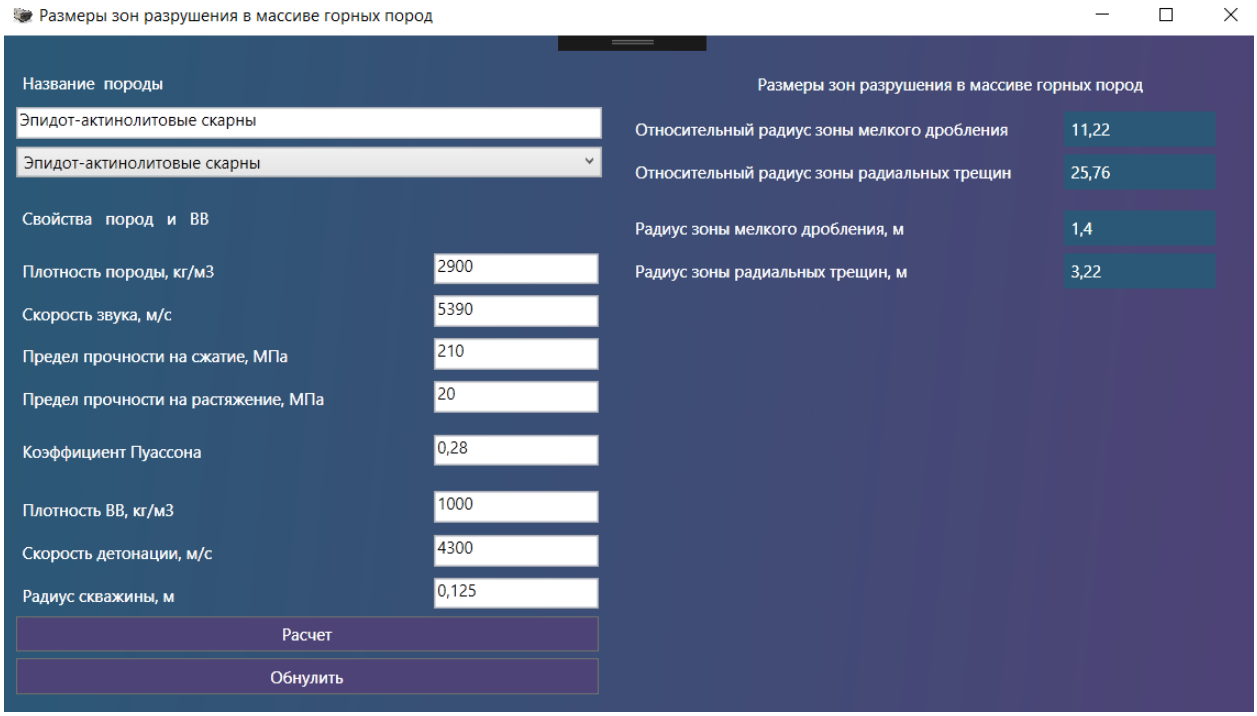


Рисунок 3.46 – Расчет размеров зон разрушения для эпидот-актинолитовых скарнов

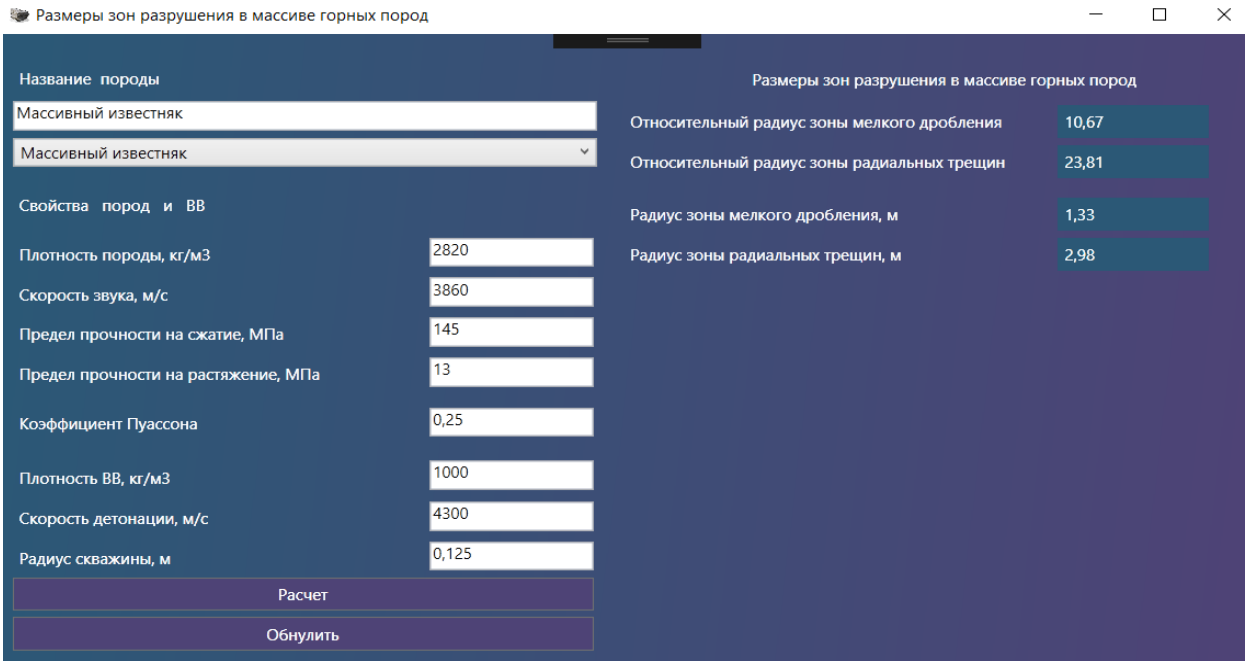


Рисунок 3.47 – Расчет размеров зон разрушения для массивных известняков

3.1.7 Программное обеспечение определения параметров расположения зарядов ВВ в массиве пород при заданном диаметре скважины

Минимальные системные требования: операционная система Microsoft Windows 7 SP1 с установленным пакетом .NET Framework 4.6.4[79,80], 32-разрядный (x86) или 64-разрядный (x64) процессор с тактовой частотой 1 ГГц или выше, 2 ГБ (для 32-разрядного процессора) или 4 ГБ (для 64-разрядного процессора) ОЗУ., 100 МБ свободного места на жестком диске, программная среда Visual Studio [81,82].

Программа включает комплекс программных средств для организации и проведения автоматизированных расчетов, обработки и представления измерительной информации, сохранения результатов измерений в базе данных, генерации отчетов по результатам исследований.

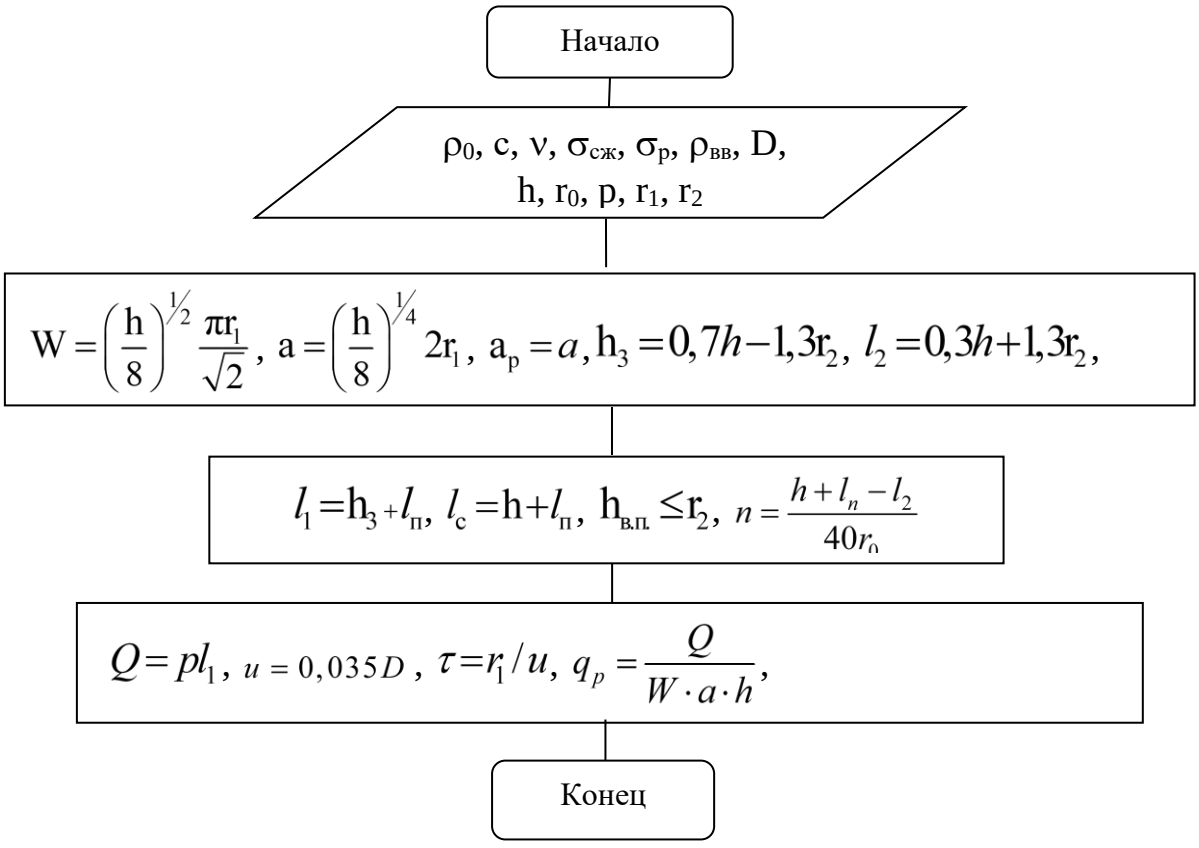


Рисунок 3.48 – Блок - схема программы

Описание алгоритма

1. Начало
2. Вводятся исходные данные: ρ_0, c, ν, $\sigma_{сж}$, $\sigma_р$, $\rho_{вв}$, D, h, r_0, p, r_1, r_2.
3. Определяются: W, a, $a_р$, h_3, l_2, $l_п$.
4. Определяются: l_1, l_c, $h_{вп}$, n.

5. Определяются: Q, u, τ, q_p, q_p'.
6. Выводятся на экран результаты вычислений.
7. Конец.

Спецификация программы

ρ_0 - плотность породы, кг/м^3;
c - скорость звука в породе, м/с;
ν – коэффициент Пуассона;
$\sigma_{сж}$ - предел прочности на сжатие, Па;
$\sigma_р$ - предел прочности на растяжение, Па;
$\rho_{вв}$ - плотность взрывчатого вещества, кг/м^3;
D - скорость детонации, м/с;
h - высота взрываемого блока, м;
r_0 – радиус скважины, м;
p – вместимость единицы длины скважины, кг/м;
r_2 - радиус зоны мелкого дробления, м;
r_1 - радиус зоны радиальных трещин, м;
W - линия сопротивления по подошве уступа (ЛСПП), м;
a - расстояние между скважинами, м;
$a_р$ - расстояние между рядами скважин, м;
h_3 - длина заряда над уровнем подошвы уступа, м;
l_2 - длина незаряженной части скважины, м;
$l_п$ – длина перебура скважины, м;
l_1 - длина заряда в скважине, м;
$l_с$ - глубина скважины, м;
$h_{вп}$- длина промежутка между частями заряда, м;
n – число частей заряда;
Q - масса заряда в скважине, кг; m- число рядов скважин;
u - скорость перемещения стенок полости, м/с;
τ - время замедления, с; $q_р$ – удельный расход ВВ, кг/м^3;
$q_р$' – удельный расход ВВ при множественном расположении скважин, кг/м^3.

Для того чтобы начать работу с приложением нужно двойным нажатием левой кнопки мыши открыть файл приложения “calcul.exe” в корневой папке, как показано на рис. 3.49.

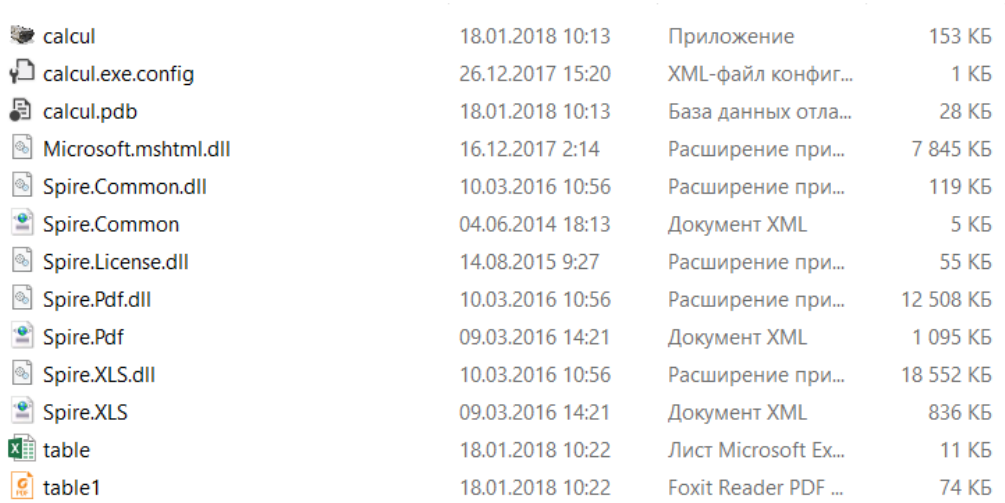


Рисунок 3.49 – Корневая папка

Далее, при необходимости, записывается название рассматриваемой породы в ячейку, расположенную в левой части программы, как показано на рис. 3.50.

Рисунок 3.50 – Название рассматриваемой породы

В программе имеются разработанные шаблоны для проведения расчета размеров зон разрушения. Для этого необходимо нажать на всплывающем списке, расположенном ниже ячейки название рассматриваемой породы, как показано на рис. 3.51-3.52.

Рисунок 3.51 – Вид неактивного всплывающего окна

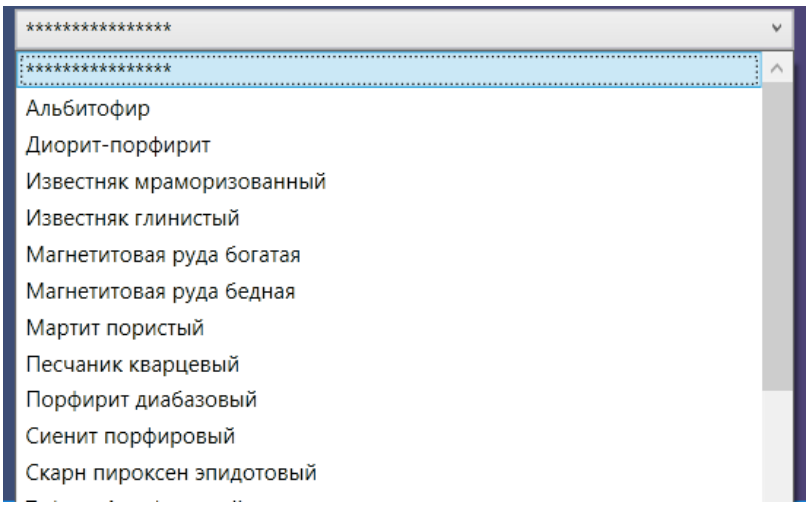


Рисунок 3.52 – Вид активного всплывающего окна

Ниже заполняем поле для расчета параметров расположения зарядов ВВ в массиве пород, а точнее вводим табличные данные свойств рассматриваемой породы и ВВ в ячейки, расположенные в левой части программы, как показано на рис. 3.53. Табличные значения могут быть изменены в режиме реального времени.

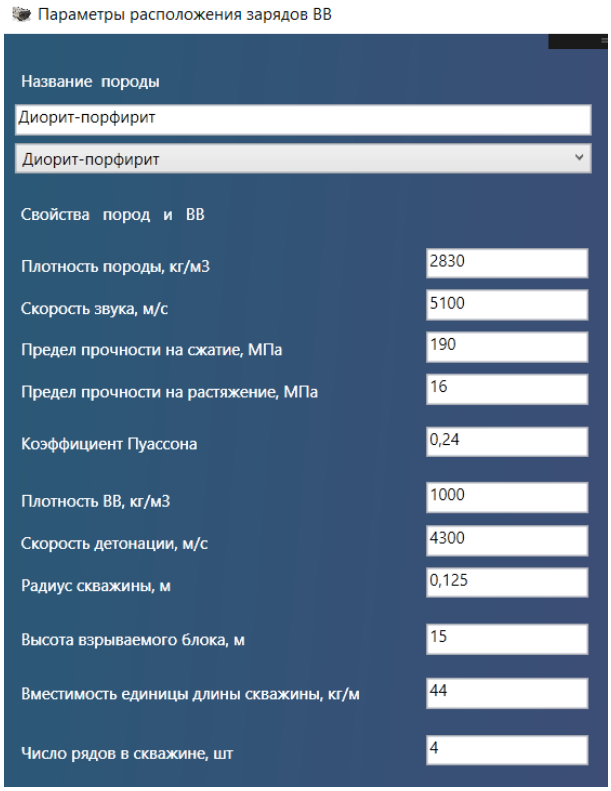


Рисунок 3.53 – Табличные параметры рассматриваемой пород и характеристики взрывчатого вещества

После внесения необходимых данных или выбора породы из всплывающего списка для расчета параметров расположения зарядов ВВ необходимо нажать на кнопку «Расчет», расположенную в нижней левой части программы (рис. 3.54).

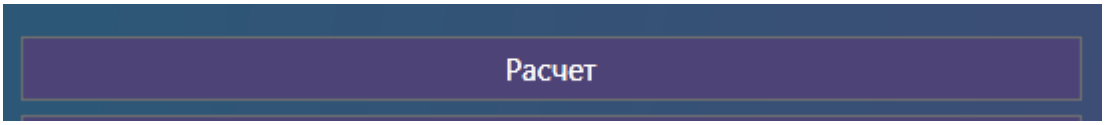


Рисунок 3.54 – Вид кнопки «Расчет»

Результат расчета параметров расположения зарядов ВВ будет выведен в правой части программы (рис. 3.55 для диорит-порфирита).

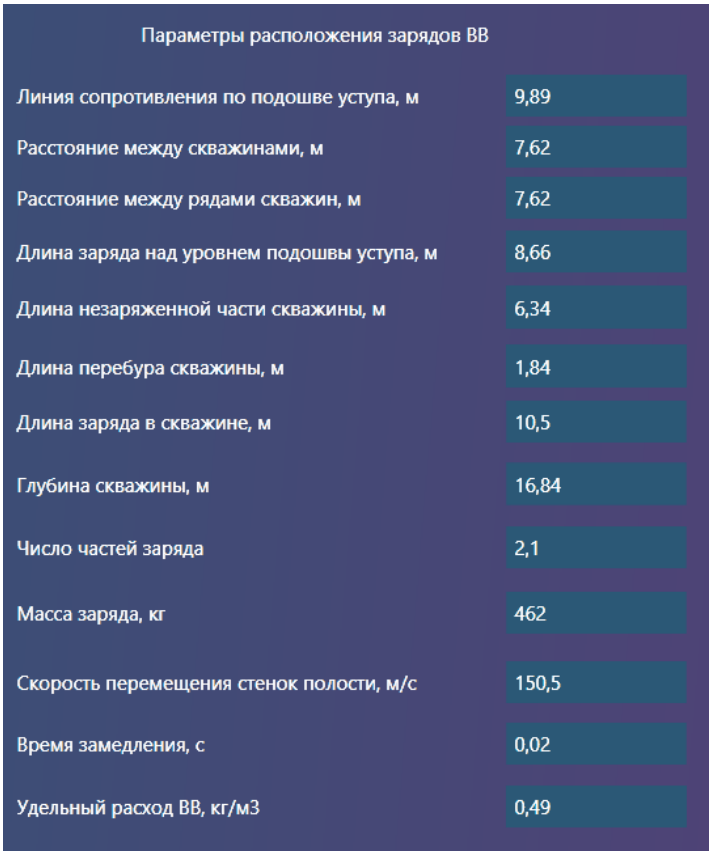
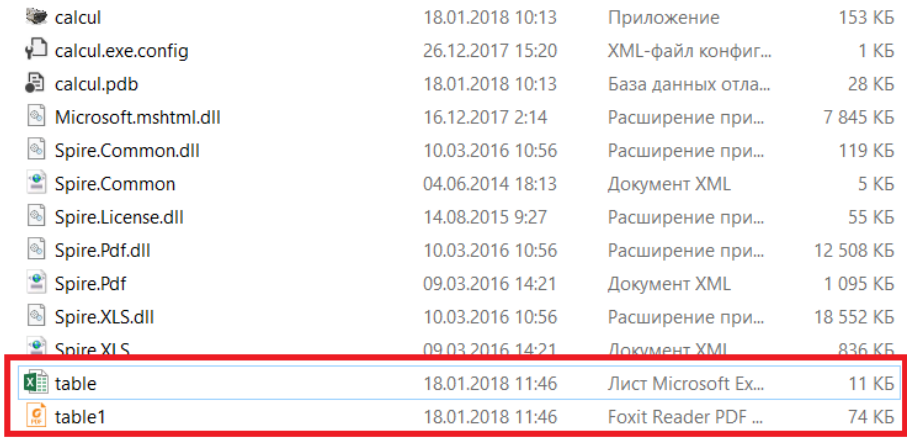


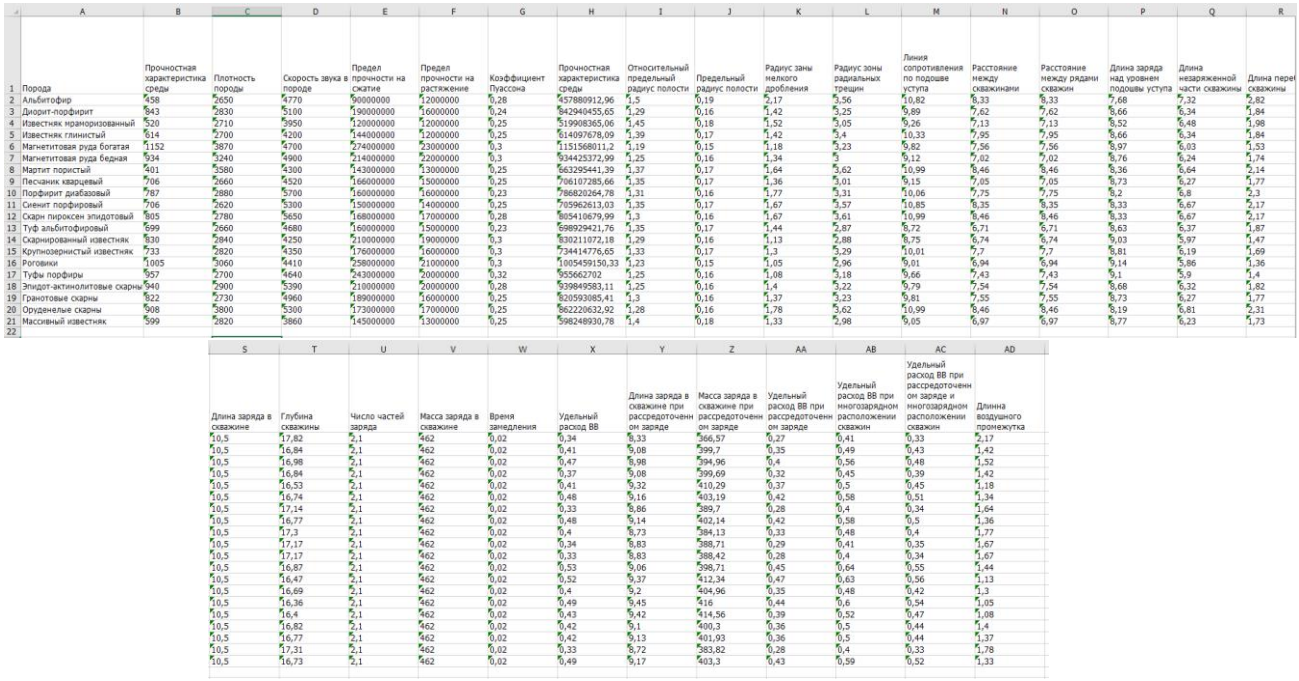
Рисунок 3.55 – Вид поля результатов расчета параметров БВР для диорит-порфирита

Разработанная программа для расчета параметров расположения зарядов ВВ в уступе сохраняет файл с таблицей результатов расчета параметров БВР для рассматриваемых пород при различных начальных давлениях ПД ($Р_Н$) (рис. 3.56, 3.57).



calcul	18.01.2018 10:13	Приложение	153 КБ
calcul.exe.config	26.12.2017 15:20	XML-файл конфиг...	1 КБ
calcul.pdb	18.01.2018 10:13	База данных отла...	28 КБ
Microsoft.mshtml.dll	16.12.2017 2:14	Расширение при...	7 845 КБ
Spire.Common.dll	10.03.2016 10:56	Расширение при...	119 КБ
Spire.Common	04.06.2014 18:13	Документ XML	5 КБ
Spire.License.dll	14.08.2015 9:27	Расширение при...	55 КБ
Spire.Pdf.dll	10.03.2016 10:56	Расширение при...	12 508 КБ
Spire.Pdf	09.03.2016 14:21	Документ XML	1 095 КБ
Spire.XLS.dll	10.03.2016 10:56	Расширение при...	18 552 КБ
Spire.XLS	09.03.2016 14:21	Документ XML	836 КБ
table	18.01.2018 11:46	Лист Microsoft Ex...	11 КБ
table1	18.01.2018 11:46	Foxit Reader PDF ...	74 КБ

Рисунок 3.56 – Расположение файла таблицы в корневой папке программы



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	Порода	Прочностная характеристика среды	Плотность породы	Скорость звука в породе	Предел прочности на сжатие	Предел прочности на растяжение	Коэффициент Пуассона	Прочностная характеристика среды	Относительный предельный радиус полости	Предельный радиус полости	Радиус зоны мелкого дробления	Радиус зоны радиальных трещин	Линия сопротивления по подошве уступа	Расстояние между скважинами	Расстояние между рядами скважин	Длина заряда над уровнем подошвы уступа	Длина незаряженной части скважины	Длина перед скважины
2	Альбитофир	458	2650	4770	90000000	12000000	0,28	657880912,96	1,5	0,19	2,17	3,56	10,82	8,33	8,33	7,68	7,32	2,82
3	Диорит-порфирит	843	2830	5100	190000000	16000000	0,24	942940455,65	1,29	0,16	1,42	3,25	9,89	7,62	7,62	8,66	6,34	1,84
4	Известняк мраморизованный	520	2710	3950	120000000	12000000	0,25	519908365,06	1,45	0,18	1,52	3,05	9,26	7,13	7,13	8,52	6,48	1,98
5	Известняк глинистый	614	2700	4200	144000000	12000000	0,25	514097678,09	1,39	0,17	1,42	3,4	10,33	7,95	7,95	8,66	6,34	1,84
6	Магнетитовая руда богатая	1152	3870	4700	274000000	23000000	0,3	1151568011,2	1,19	0,15	1,18	3,23	9,82	7,56	7,56	8,97	6,03	1,53
7	Магнетитовая руда бедная	934	3240	4900	214000000	22000000	0,3	934425372,99	1,25	0,16	1,34	3	9,12	7,02	7,02	8,76	6,24	1,74
8	Мартит пористый	401	3580	4300	143000000	13000000	0,25	663295441,39	1,37	0,17	1,64	3,62	10,99	8,46	8,46	8,36	6,64	2,14
9	Песчаник кварцевый	706	2660	4520	166000000	15000000	0,25	706107285,66	1,35	0,17	1,36	3,01	9,15	7,05	7,05	8,73	6,27	1,77
10	Порфирит диабазовый	787	2880	5700	160000000	16000000	0,23	786820264,78	1,31	0,16	1,77	3,31	10,06	7,75	7,75	8,2	6,8	2,3
11	Сиенит порфировый	706	2620	5300	150000000	14000000	0,25	705962613,03	1,35	0,17	1,67	3,57	10,85	8,35	8,35	8,33	6,67	2,17
12	Скарн пироксен эпидотовый	805	2780	5650	168000000	17000000	0,28	805410679,99	1,3	0,16	1,67	3,61	10,99	8,46	8,46	8,33	6,67	2,17
13	Туф альбитофировый	599	2660	4680	160000000	15000000	0,23	598929421,76	1,35	0,17	1,44	2,87	8,72	6,71	6,71	8,63	6,37	1,87
14	Скарнированный известняк	830	2840	4250	210000000	19000000	0,3	830211072,18	1,29	0,16	1,13	2,88	8,75	6,74	6,74	9,03	5,97	1,47
15	Крупнозернистый известняк	733	2820	4350	176000000	16000000	0,3	734414776,65	1,33	0,17	1,3	3,29	10,01	7,7	7,7	8,81	6,19	1,69
16	Роговики	1005	3060	4410	258000000	21000000	0,3	1005459150,33	1,23	0,15	1,05	2,96	9,01	6,94	6,94	9,14	5,86	1,36
17	Туфы порфиры	957	2700	4640	243000000	20000000	0,32	955662702	1,25	0,16	1,08	3,18	9,66	7,43	7,43	9,1	5,9	1,4
18	Эпидот-актинолитовые скарны	940	2900	5390	210000000	20000000	0,28	939849583,11	1,25	0,16	1,4	3,22	9,79	7,54	7,54	8,68	6,32	1,82
19	Гранотовые скарны	822	2730	4960	189000000	16000000	0,25	820593085,41	1,3	0,16	1,37	3,23	9,81	7,55	7,55	8,73	6,27	1,77
20	Оруденелые скарны	908	3800	5300	173000000	17000000	0,25	862220632,92	1,28	0,16	1,78	3,62	10,99	8,46	8,46	8,19	6,81	2,31
21	Массивный известняк	599	2820	3860	145000000	13000000	0,25	598248930,78	1,4	0,18	1,33	2,98	9,05	6,97	6,97	8,77	6,23	1,73
22																		

	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD
1	Длина заряда в скважине	Глубина скважины	Число частей заряда	Масса заряда в скважине	Время замедления	Удельный расход ВВ	Длина заряда в скважине при рассредоточении заряде	Масса заряда в скважине при рассредоточении заряде	Удельный расход ВВ при рассредоточении заряде	Удельный расход ВВ при многозарядном расположении скважин	Удельный расход ВВ при рассредоточении заряде и многозарядном расположении скважин	Длинна воздушного промежутка
2	10,5	17,82	2,1	462	0,02	0,34	8,33	366,57	0,27	0,41	0,33	2,17
3	10,5	16,84	2,1	462	0,02	0,41	9,08	399,7	0,35	0,49	0,43	1,42
4	10,5	16,98	2,1	462	0,02	0,47	8,98	394,96	0,4	0,56	0,48	1,52
5	10,5	16,84	2,1	462	0,02	0,37	9,08	399,69	0,32	0,45	0,39	1,42
6	10,5	16,53	2,1	462	0,02	0,41	9,32	410,29	0,37	0,5	0,45	1,18
7	10,5	16,74	2,1	462	0,02	0,48	9,16	403,19	0,42	0,58	0,51	1,34
8	10,5	17,14	2,1	462	0,02	0,33	8,86	389,7	0,28	0,4	0,34	1,64
9	10,5	16,77	2,1	462	0,02	0,48	9,14	402,14	0,42	0,58	0,5	1,36
10	10,5	17,3	2,1	462	0,02	0,4	8,73	384,13	0,33	0,48	0,4	1,77
11	10,5	17,17	2,1	462	0,02	0,34	8,83	388,71	0,29	0,41	0,35	1,67
12	10,5	17,17	2,1	462	0,02	0,33	8,83	388,42	0,28	0,4	0,34	1,67
13	10,5	16,87	2,1	462	0,02	0,53	9,06	398,71	0,45	0,64	0,55	1,44
14	10,5	16,47	2,1	462	0,02	0,52	9,37	412,34	0,47	0,63	0,56	1,13
15	10,5	16,69	2,1	462	0,02	0,4	9,2	404,96	0,35	0,48	0,42	1,3
16	10,5	16,36	2,1	462	0,02	0,49	9,45	416	0,44	0,6	0,54	1,05
17	10,5	16,4	2,1	462	0,02	0,43	9,42	414,56	0,39	0,52	0,47	1,08
18	10,5	16,82	2,1	462	0,02	0,42	9,1	400,3	0,36	0,5	0,44	1,4
19	10,5	16,77	2,1	462	0,02	0,42	9,13	401,93	0,36	0,5	0,44	1,37
20	10,5	17,31	2,1	462	0,02	0,33	9,72	383,82	0,28	0,4	0,33	1,78
21	10,5	16,73	2,1	462	0,02	0,49	9,17	403,3	0,43	0,59	0,52	1,33

Рисунок 3.57 – Вид таблицы с результатами расчета параметров БВР при различных P_H в программе «Excel»

3.1.8 Примеры использования программы для определения параметров расположения зарядов ВВ

На рис. 3.58-3.62 показаны примеры использования программы для определения искомых параметров расположения зарядов ВВ в диорит-порфиритах, песчаниках кварцевых, скарнированных известняках, эпидот-актинолитовых скарнах и массивных известняках Сарбайского месторождения.

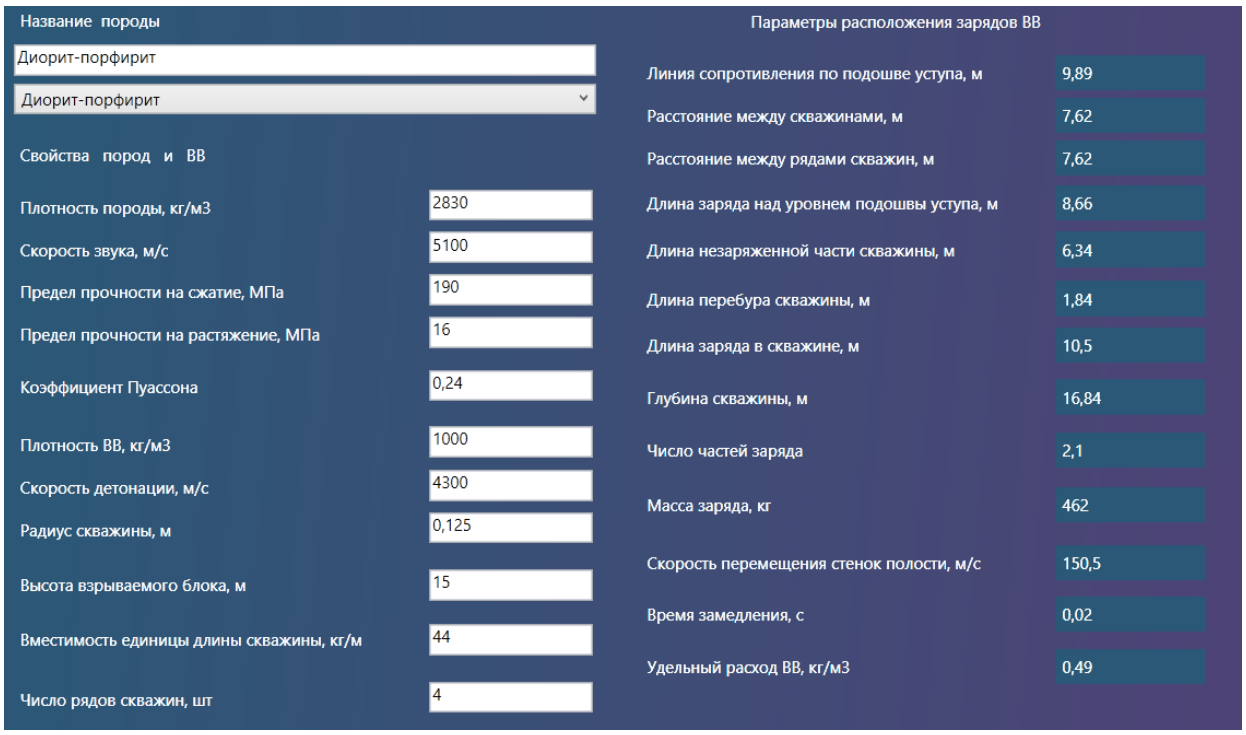


Рисунок 3.58 – Расчет параметров расположения зарядов ВВ для диорит-порфиритов

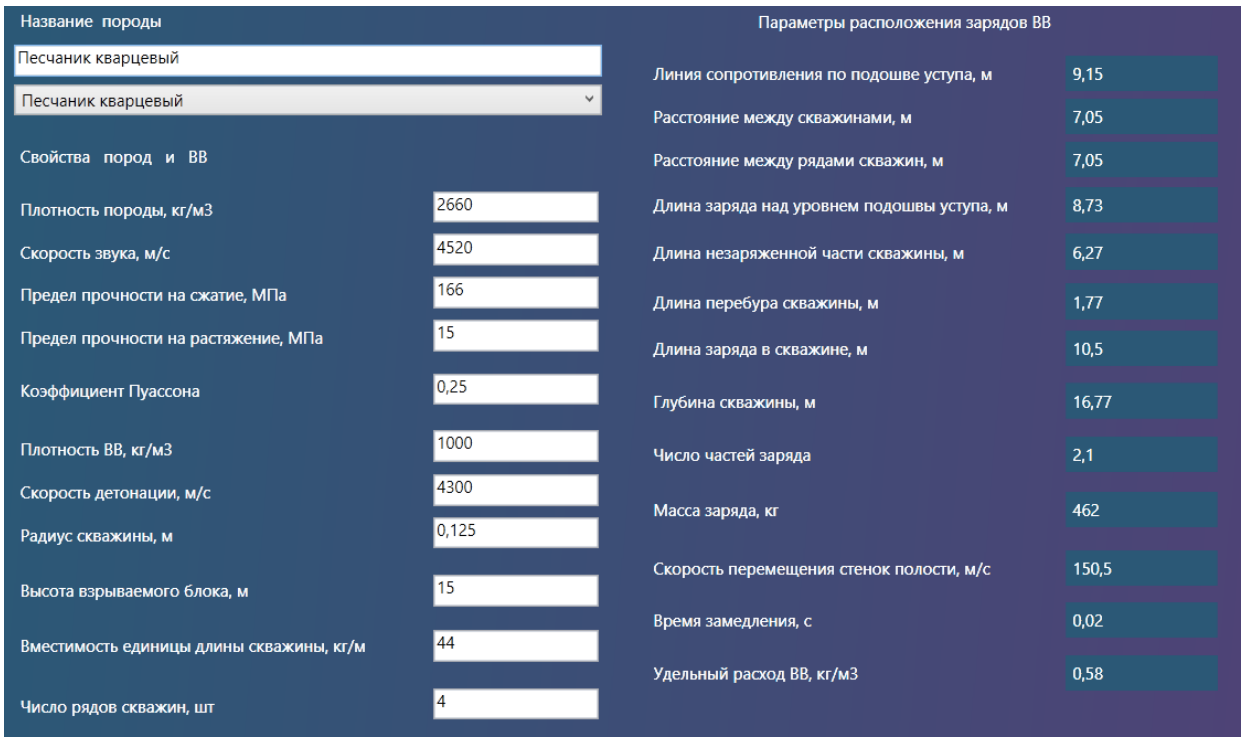


Рисунок 3.59 – Расчет параметров расположения зарядов ВВ для песчаников кварцевых

Рисунок 3.60 – Расчет параметров расположения зарядов ВВ для скарнированных известняков

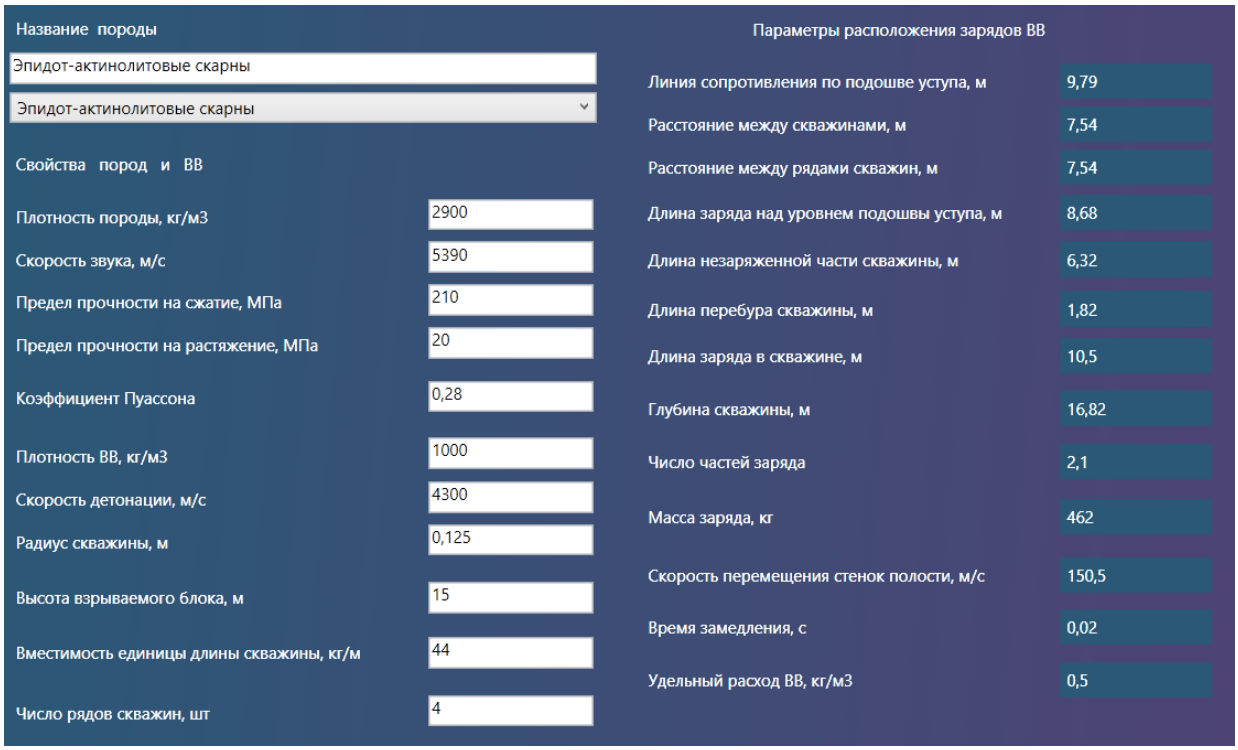


Рисунок 3.61 – Расчет параметров расположения зарядов ВВ для эпидот-актинолитовых скарнов

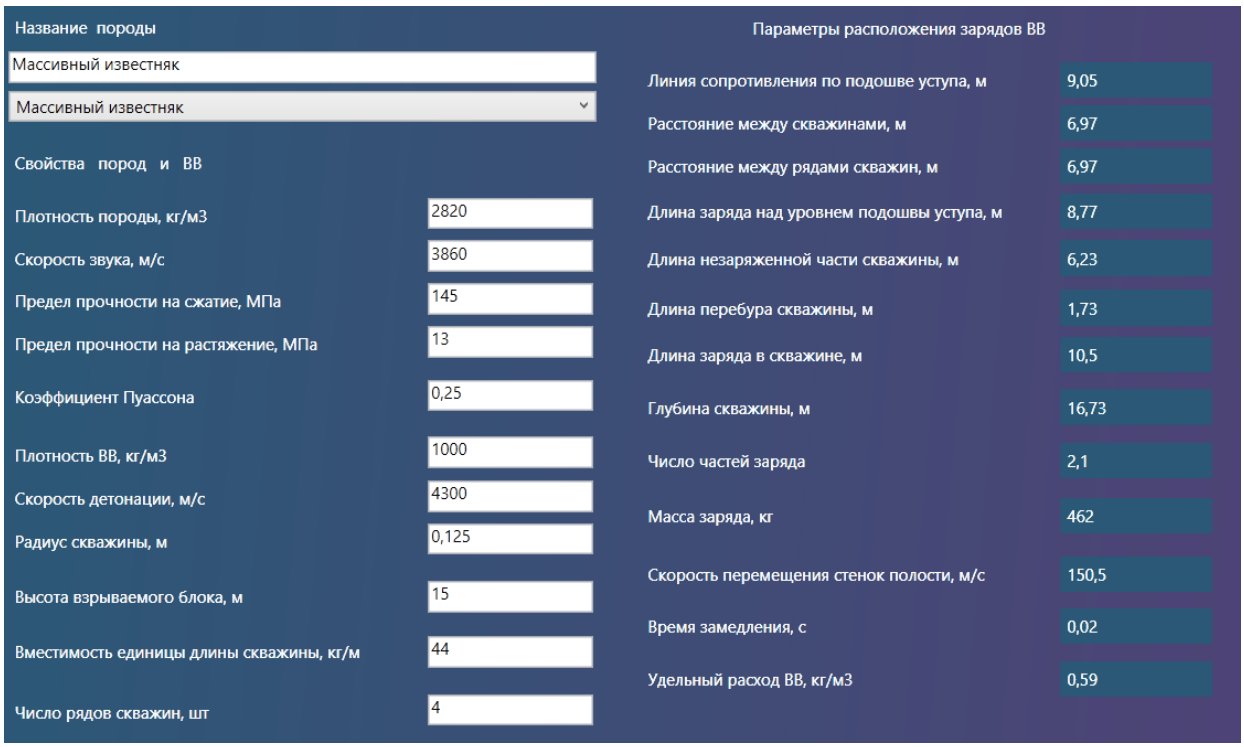


Рисунок 3.62 – Расчет параметров расположения зарядов ВВ для массивных известняков

3.2 ИНФОРМАЦИОННАЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПЛАТФОРМА (ИЭП) ДЛЯ ИМИТАЦИИ, ВИЗУАЛИЗАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЗРЫВОВ И УПРАВЛЕНИЯ ИМИ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Разработанные модули «Гранулометрический состав естественных отдельностей в массиве пород», «Размеры зон интенсивного дробления пород», «Рациональные параметры расположения зарядов в уступе», «Гранулометрический состав взорванной горной массы», «Размещение разнородных пород в развале» в совокупности составляют информационно-экспериментальную платформу (ИЭП) для управления процессом разрушения горных пород действием взрыва в среде Microsoft Visual Studio 2019 [79-82]. Она предусматривает расчет и определение гранулометрического состава естественных отдельностей в массиве размеров зон дробления в массиве, скорости движения центра масс отбиваемой части массива, ширины развала, размещения и размеров зон дробления в развале, положения узловых и внутренних точек координатной сетки взорванного блока. На платформе выполняется отрисовка развития взрывной полости при взрыве цилиндрического заряда ВВ, положения размеров зон интенсивного дробления при различных условиях взрывания, конфигурация развала взованной горной массы, ее внутренняя структура с выделением различных зон дробления.

ИЭП позволяет проводить удобный и гибкий расчет парметров БВР и их результатов при различных значениях физико-механических и физико-химических характеристиках пород и ВВ, рациональных параметрах расположения зарядов в различных условиях ведения взрывных работ. Визуализация результатов БВР наглядно демонстрирует изменение гранулометрического состава взорванной горной массы, внутренней структуры развала пород при вариации начальных условий взрыва. Таким образом, при помощи ИЭП можно производить множество виртуальных экспериментов, моделировать различные технологии БВР, визуализировать и прогнозировать их результаты. Грамотно управляя процессом взрывания массивов пород можно достичь необходимых технологических параметров взорванной горной массы на карьерах.

Для того что бы начать работу с информационно-экспериментальной платформой необходимо запустить установочный файл «IEP.exe». Во время установки нужно выбрать директорию для сохранения программы в ней. После этого запустить файл инициализатор программы «IEP.exe», который будет расположен в директории. Открыть окно с настройками для расчета технологических характеристик взорванной горной массы. В окне с левой стороны находятся первоначальные данные, к ним относятся физико-

механические свойства пород, физико-химические характеристики ВВ, а также некоторые параметры БВР, которыми можно манипулировать для моделирования и управления.

В программе предусмотрен шаблон с харатеристиками 20 пород, которые можно выбрать во всплывающем меню в левой верхней части окна программы. Выбрав необходимую породу по названию, в соответствующих ячейках со свойсвами породы такими, как плотность, скорость звука, прочность на сжатие, прочность на растяжение, коэффициент Пуассона, можно выполнить автоматическое заполнение данных из базы.

Для выбора параметров БВР предусмотрен выбор из двух вариантов: программа может расчитать параметры БВР при помощи программного модуля «Рациональные параметры БВР»; пользователь может вручную выставить необходимые параметры БВР.

К параметрам БВР, которые пользователь может выставить самостоятельно относятся высота взрываемого блока, радиус скважины, число рядов скважин, угол откоса уступа, ЛСПП, расстояние между скважинами, расстояние между рядами скважин, длина заряда, длина забойки, ширина отброшенной части развала.

Также в левой нижней части окна программы расположен блок ячеек для выбора гранулометрического состава массива пород. В нем можно выбрать блочность породы, после чего выполняется автоматическое заполнение ячеек с процентным содержанием отдельностей в массиве. Либо ввести содержание отдельностей вручную.

После заполнения предварительных данных программа выдает расчет параметров (если не заполнены в ручную) и результатов БВР. В центральной части окна программы будут отображены все результирующие данные. К ним относятся прочностная характеристика породы, начальное давление продуктов детонации, коэффициент динамичности, предельный радиус взрывной полости, относительный предельный радиус взрывной полости, радиусы мелкого дробления и радиальных трещин, ЛСПП, расстояние между скважинами, расстояние между рядами скважин, длина заряда, длина забойки, длина перебура, глубина скважин, масса заряда, удельный расход ВВ, выход гоной массы на пог. м, скорость центра масс, ширина отброшенной части развала, полная ширина развала.

При необходимости выставив галочну в пункте «Показать внутреннюю структуру» в правой части окна программы, можно визуализировать массив взрываемого блока и развал взорванной породы в виде различных разрезов с изображением различных зон дробления, а также координатные сетки взрываемого и взорванного блоков.

Пользователь может проводить неограниченное количество расчетов, меняя исходные параметры. Таким образом ИЭП служит надежным инструментом для проведения исследований и поиска новых решений, направленных на совершенствование технологий буровзрывных работ (рис. 3.63).

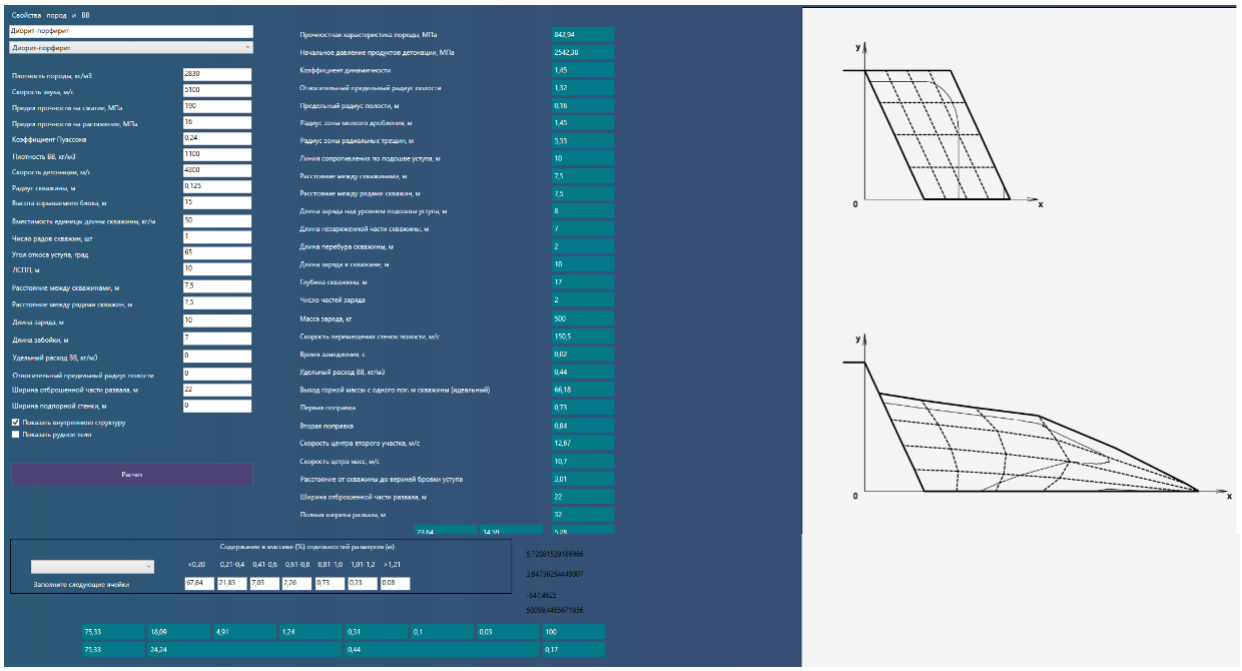


Рисунок 3.63. – ИЭП

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных исследований:

1. С учетом того, что разрушение взрываемого блока уступа осуществляется за счет действия волн напряжений и отраженных волн (I стадия взрыва), за счет действия продуктов детонации (вспучивающего действия взрыва) (II стадия взрыва) и соударения крупных кусков при перемещении (III стадия взрыва). Установлены закономерности формирования гранулометрического состава взорванных горных пород в зависимости от различного сочетания физико-механических свойств пород, блочности массива, химико-физических характеристик применяемого ВВ, параметров БВР. На их основе разработан теоретический метод определения гранулометрического состава взорванных пород. Создано программное обеспечение для автоматизированного определения гранулометрического состава взорванных пород при различных условиях взрывания. Приведены примеры использования программы. Сопоставление фактических данных гранулометрического состава пород с расчетным, найденным по разработанной компьютерной программе, подтвеждает их полную идентичность.

2. В целях определения внутренней структуры развала пород введено понятие о координатных сетках взрываемого и взорванного блоков уступа. Их совместное использование позволяет установить места расположения фиксированных элементов уступа в развале, его конфигурацию и другие геометрические характеристики. На основе совместного рассмотрения аналитического метода определения гранулометрического состава массивов пород и графо-аналитического метода определения зон мелкого, среднего и крупного дробления разработаны аналитические методы определения узловых и внутренних точек координатной сетки взорванного блока, размеров различных зон дробления пород в развале горной массы. Они послужили базой создания программного продукта для определения внутренней структуры развала пород. Рассмотрены примеры использования программы в условиях взрывания модельных уступов.

3. Разработанные программные модули «Гранулометрический состав естественных отдельностей в массиве пород», «Размеры зон интенсивного дробления пород», «Рациональные параметры расположения зарядов в уступе», «Гранулометрический состав взорванной горной массы», «Размещение разнородных пород в развале» в комплексе можно рассматривать как информационно-экспериментальную платформу (ИЭП) управления процессом разрушения горных пород действием взрыва. С использованием платформы выполняется определение технологических

характеристик взорванной горной массы, отрисовка развития взрывной полости при взрыве цилиндрического заряда ВВ, положения размеров зон интенсивного дробления при различных условиях взрывания, конфигурация развала взованной горной массы, ее внутренняя структура с выделением зон дробления. Таким образом, при помощи ИЭП можно производить неограниченное количество виртуальных экспериментов, моделировать различные технологии БВР, визуализировать и прогрнозировать их результаты. Грамотно управляя процессом взрывания массивов пород можно достичь необходимых технологических параметров взорванной горной массы на карьерах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ржевский В.В. Процессы открытых горных работ.–М.: Недра, 1985.–549с.
2. Кутузов Б.Н., Рубцов В.К. Физика взрывного разрушения горных пород. Москва, 1970.177с.
3. Кутузов Б.Н. Методы ведения взрывных работ. Ч.1. Разрушение горных по-род взрывом: Учебник для вузов. – М.: Издательство «Горная книга», 2007.-471 с.
4. Машанов А.Ж., Машанов А.А. Основы геомеханики скальных-трещиноватых пород. Алматы. Наука. 1985. -192с.
5. Ракишев Б.Р. Прогнозирование технологических параметров взорванных пород на карьерах. – Алма-Ата: Наука, 1983. – 240с.
6. Ракишев Б.Р., Машанов А.А., Абдылдаев Э. К. Структура массива и деформируемость горных пород. Алматы, 2011. – 281с.
7. Опарин В.Н. Энергетический критерий объемного разрушения горных пород // Труды научного симпозиума «Неделя горняка -2009», ИДООО «Роликс». - 2009. -С.43-69.
8. Cunningham, C.V.B. 1983. The Kuz–Ram model for prediction of fragmentation from blasting. In R. Holmberg & A Rustan (eds), Proceedings of First International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, Luleå, 439–454.
9. Покровский Г.И., Федоров И.С. Действие удара и взрыва в деформируемых средах.– М., 1957. – 276с.
10. P.H.S.W. Kulatilake, Wu Qiong, T. Hudaverdi, C. Kuzu, Mean particle size prediction in rock blast fragmentation using neural networks, Engineering Geology, Volume 114, Issues 3–4, 2010, Pages 298-311, ISSN 0013-7952, https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2010.05.008.
11. M. Monjezi, M. Rezaei, A. Yazdian Varjani, Prediction of rock fragmentation due to blasting in Gol-E-Gohar iron mine using fuzzy logic, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Volume 46, Issue 8, 2009, Pages 1273-1280, ISSN 1365-1609, https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2009.05.005.
12. A. Sayadi, M. Monjezi, N. Talebi, Manoj Khandelwal, A comparative study on the application of various artificial neural networks to simultaneous prediction of rock fragmentation and backbreak, Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, Volume 5, Issue 4, 2013, Pages 318-324, ISSN 1674-7755, https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2013.05.007.
13. Шапурин, А.В., Васильчук, Я.В., 2012. Математическая модель для прогнозирования гранулометрического состава взорванных горных пород. Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. Випуск, 4, p.75.
14. Mohammad Babaeian, Mohammad Ataei, Farhang Sereshki, Farzad Sotoudeh, Sadjad Mohammadi, A new framework for evaluation of rock fragmentation in open pit mines, Journal of Rock Mechanics and Geotechnical

Engineering, Volume 11, Issue 2, 2019, Pages 325-336, ISSN 1674-7755, https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2018.11.006.

15. Ракишев Б.Р. Системы и технологии открытой разработки. - Алматы: НИЦ "Ғылым", 2003. - 328с.

16. Баранов Е.Г., Тангаев И.А. Опыт селективной разработки сложных месторождений. – Фрунзе: Илим, 1969. – 112с.

17. Ломоносов Г.Г. Формирование качества руды при открытой их добыче. - М., 1975. - 224с.

18. Юматов Б.П., Байков Б.Н. Технология буровзрывных работ на карьерах цветной металлургии. М., 1969. - 104с.

19. Гальянов А.В., Рождественский В.Н., Блинов А.Н. Трансформация структуры горных массивов при взрывных работах на карьерах. – Екатеринбург: ИГД УрОРАН, 1999. – 140с.

20. Парамонов Г.П., Лисевич В.В. Прогнозирование параметров развала горной массы при производстве взрывных работ. Международный научно-исследовательский журнал. 2016. - №4-6 (46). - С. 100-103.

21. Лапшин Н. С. Пути снижения потерь и разубоживания руды при открытой разработке рудных тел. Новаянаука: Стратегиии векторы развития. 2016. - № 6-1 (88).- С.31-34.

22. Жиляков Е.Г. Кабелко С.Г. Математическая модель развала буровзрывного блока и распределения содержания полезного компонента во взорванной горной массе. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 2010. - Т.1, №13-1. - С.66-73.

23. Комащенко В.И., Голик В.И., Белин В.А., Гапоненко А.Л. Повышение эффективности взрывной отбойки на основе новых способов инициирования скважинных зарядов на карьерах. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2014. - №9. - С.293-304.

24. Жариков И.Ф., Опанасенко П.И. Разработка инженерных методов расчета параметров БВР. Взрывноедело. - 2008. - Т.100-57. - С.189-196.

25. Singh P.K., Roy M.P., Paswan R.K., Sarim M., Kumar S., Jha R.R., Rock fragmentation control in opencast blasting // Journal of rock mechanics and

26. geotechnical engineering. - 2016. - Vol. 8. - P.225-237.

27. Sastry V.R. Rock bladting technology: The way forward. I international Conference on Recent Advances in Rock Engineering (RARE) Bengaluru. India, 2016. - P. 606-611.

28. Мельников Н.В. Избранные труды: Состояние и проблемы развития горной науки и техники СССР. - М.: Наука, 1992. - 230с.

29. Шешко Е.Ф. Открытая разработка месторождений полезных ископаемых, М. 1957. - 495с.

30. Ржевский В.В. Открытые горные работы. Ч. 2. - М.: Недра, 1985. - 549с.

31. Юматов Б.П., Байков Б.Н., Смирнов В.П. Открытая разработка сложноструктурных месторождений цветных металлов. М., 1973. – 192с.

32. Болдырев В.А. Методика нормирования потерь и разубоживания на карьерах для условий крутопадающих рудных тел. // К вопросу улучшения учета и снижения потерь и разубоживания на рудниках цветной металлургии: Сб.ст. / Цветметинформация. – М., 1969 – 44с.

33. Ракишев Б.Р. Геотехнологическое управление качеством минерального сырья. - Алматы: КазНТУ, 2009. - 319с.

34. Казаков Н.Н., Викторов С.Д. Определение формы и параметров развала в карьерах. Вестник Российского университета дружбы народов. - 2007. - №2. - С.98-102

35. Покровский Г.И., Черниговский А.А. Расчет зарядов при массовых взрывах на выброс. - М.: Госгортехиздат, 1963.-88с.

36. Лаптев Ю.В., Кантемиров В.Д., Яковлев А.М. Компьютерное моделирование развала горной массы при селктивной разработке. Альманах современной науки и образования. 2014. - №5-6 (84). - С.92-96.

37. Белин В.А., Крюков В.А., Вавер П.А., Жаворонко С.Н. Оценка параметров взрывного дробления горных пород на карьерах. Взрывное дело. 2009. - № 102-59. - С. 69-80.

38. Наговицын, О.В. Лукичев, С.В., 2015. Компьютерные технологии для проектирования и планирования открытых горных работ. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), (56), pp.104-115.

39. Жиляков ЕГ, Кабелко СГ. Математическая модель развала буровзрывного блока и распределения содержания полезного компонента во взорванной горной массе. Экономика. Информатика. 2010;13(1-1 (72)):66-73.

40. Пьянзин С.Р., Рождественский В.Н., Кочнев К.А., Кабелко С.Г. Прогнозирование распределения полезного компонента в развале взорванной горной массы при больших удельных расходах ВВ. Проблемы недропользования. 2014(1):114-20.

41. Ning, Y., Yang, J., Ma, G. et al. Modelling Rock Blasting Considering Explosion Gas Penetration Using Discontinuous Deformation Analysis. Rock Mech Rock Eng 44, 483–490 (2011). https://doi.org/10.1007/s00603-010-0132-3

42. Цирель С.В. Процессы формирования развала взорванной горной массы и взрыводоставка вскрышных пород на угольных и сланцевых разрезах. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2007;4(12):46-67.

43. Sellers E, Furtney J, Onederra I, Chitombo G. Improved understanding of explosive-rock interactions using the hybrid stress blasting model. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2012 Jan;112(8):721-8.

44. Проектирование взрывных работ в промышленности / Под редакцией Б.Н.Кутузова. –М.: Недра, 1983. – 78с.

45. Кутузов Б.Н. Методы ведения взрывных работ. Ч.1. Разрушение горных

пород взрывом: Учебник для вузов.–М.:Издательство «Горная книга»,2007.-471 с.

46. Родионов В.Н., Адушкин В.В. и др. Механический эффект подземного взрыва. - М., 1971. – 200с.

47. Ракишев Б.Р. Энергоемкость механического разрушения горных пород. Алматы: Баспагер, 1998. – 210 с.

48. Физика взрыва / Под ред. К.П. Станюковича.- М., 1975.704 с.

49. Баум Ф.А. Процессы разрушения горных пород взрывом. // Взрывное дело -№52/9. - М., 1963.- с. 262-285.

50. Беляев Н.М. Сопротивление материалов.- М., 1976. - 608 с.

51. Финкель Б.М. Физика разрушения.- М.: Металлургия, 1970.-376с.

52. Райнхарт Дж., Пирсон Дж. Взрывная обработка металлов.-М.,1966.392 с.

53. Rakishev B. R., Rakisheva Z.B. Basic Characteristics of the Stages of Rock Massif Destruction by Explosive Crushing//Proceedings of the 7th International Conference on Physical Problems of Rock Destruction - Beijing, China.-2011.–P. 65-69.

54. Rakishev B.R., Auezova A.M., Rakisheva Z.B. The specification of granulometric composition of natural jointing in the rock massif by their average size // Proceedings of the 9th International Conference on Physical Problems of Rock Destruction. - Beijing, China, 2014. - P.274-282.

55. Rakishev B.R., Rakisheva Z.B. Theoretical estimation of granulometric structure of exploded mining rocks at the quarries.// Proceedings of the Siksteenth international Symposium on Mine Planning and Equipment Selection. (MPES 2007) and the Tenth International Symposium on 1 Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production (SWEMP 2007). Bangkok, Toyland, 2007. - Vol.1. - P.908-912.

56. Репин Н.Я. Подготовка и экскавация вскрышных пород угольных разрезов.- М., 1978.- 256с.

57. Комир В.М., Назаренко В.Г. О роли газообразных продуктов детонации в процессе разрушения твердой среды при взрыве // Взрывное дело, № 80/37.-1978.-с.74-80.

58. Ханукаев А.Н. Физические процессы при отбойке горных пород взрывом. М., 1967, с.33-44.

59. Адушкин В.В. Спивак А.А. Геомеханика крупномасштабных взрывов. М.: Недра, 1993.275с.

60. Трубецкой К.Н., Викторов С.Д. Современные проблемы разрушения массивов горных пород. Физические проблемы взрывного разрушения массивов горных пород. М.: ИПКОН РАН. – 1999. С. 7-17.

61. Адушкин, В.В., А.М. Будков, Г.Г. Кочарян. "Особенности формирования зоны разрушения взрыва в массиве скальных пород." Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых.-2007.-№3.-с.65-76

62. Викторов С.Д., Галченко Ю.П. «Теоретические и экспериментальные исследования характера распределения энергии в массиве горных пород при взрыве технологических зарядов»." Инженерная физика.-

2018.-№7,-с.43-50

63. Опарин В. Н., Адушкин В.В., Юшкин В. Ф., Потапов В.П. "О влиянии природно- климатических и техногенных факторов на развитие механо-эрозионных и сейсмоэмиссионных процессов в окрестностях угольных разрезов Кузбасса." Горный информационно-аналитический бюллетень, 2019.№9.-с.72-101

64. Галушко Ф.И., Комячин А.О., Мусатова И.Н. Управление качеством взрывной подготовки горной массы на основе оптимизации параметров БВР. // Взрывное дело - №118/75. Москва, 2017. с.140-151.

65. Жариков И.Ф. Регулирование степени дробления при взрывании высоких уступов. // Взрывное дело– №111/68. Москва, 2014. С.93-100.

66. Крюков Г.М., Вавер П.А. Закономерности формирования грансостава при взрывном дроблении монолитов кернов калийных солей. // Взрывное дело - №103/60. Москва, 2010. С.17-29.

67. Фокин В.А., Тарасов Г.Е., Тогунов М.Б., Данилкин А.А., Шитов Ю.А. Способ расчетной оценки гранулометрического состава взорванной пород при скважинной отбойке уступов. // Взрывное дело. - Москва, 2007. – №98/55. - С.38-45.

68. Ракишев Б.Р. Формирование гранулометрического состава взорванных пород при уступной отбойке. ФТПРПИ, 1, 41-53 (2020)

69. Ракишев Б.Р., Ауэзова А.М., Калиева А.П., Дауренбекова А.Н. Распределение естественных отдельностей по размерам в массиве горных пород. // Взрывное дело - №111/68. Москва, 2014. С.18-30.

70. Викторов С.Д., Казаков Н.Н., Лапиков И.Н., Шляпин А.В. Проектирование БВР в карьерах. // Взрывное дело - №111/68. Москва, 2014. С.80-91.

71. Дугарцыренов А.В., Рахманов Р.А. Оценка влияния воздушных промежутков на эффективность взрывания скважинных зарядов// Взрывное дело.-№122/79.2019,с.59-68.

72. Wei-Gang Shen, Tao Zhao, Giovanni Battista Crosta, Feng Dai Analysis of impact-induced rock fragmentation using a discrete element approach International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Volume 98, October 2017, Pages 33-38

73. L.X. Xie, S.Q. Yang, J.C. Gu, Q.B. Zhang, W.B. Lu, H.W. Jing, Z.L.Wang, JHR constitutive model for rock under dynamic loads, Computers and Geotechnics, Volume 108, April 2019, Pages 161-172

74. Виноградов Ю.И. Методика оценки эффективности дробления массива горных пород различными типами ВВ. // Взрывное дело– №104/61. Москва, 2010. С.91-97.

75. Ракишев Б.Р., А.М.Ауэзова, А.Е.Казангапов. Структурно-иерархические модели массивов горных пород. ГИАБ, 2018. № 4. –С. 128-138

76. Rakishev B.R., Auezova A.M., Kuttybayev A.Ye., Kozhantov A.U. Specifications of the rock massifs by the block sizes. Науковий вісник.-

Дніпропетровськ,2014. №6 (144) – С.22-27.

77. Ракишев Б.Р., Ракишева З.Б., Ауэзова А.М., Калиева А.П. Компьютерная программа определения гранулометрического состава взорванных пород на карьерах. // Взрывное дело–№114/71, Москва , 2015. С.83-96.

78. Джон Уокенбах Excel 2013. Библия пользователя – Москва: Вильямс, 2017. – 928 с.

79. Тепляков, С. Паттерны проектирования на платформе .NET- Санкт-Петербург: Питер, 2016. -316 с.

80. NET Framework: https://www.microsoft.com/net

81. Lars Powers, Mike Snell. Microsoft Visual Studio 2015 Unleashed, 3rd Edition – Indianapolis, Imprint Sams, 2015. – 1320p.

82. Microsoft Visual Studio: https://www.visualstudio.com/

83. B.R.Rakishev, A.Kh. Shampikova, A.E.Kazangapov. Geometric features of different parts lost in the collapse of the blasted rock. International Journal of Applied Engineering Research. Volume 11, Number 21,2016. p. 10447-1045 (Scopus)

84. B.R.Rakishev, Bektybayev A.A., Bermukhambetov B.A., Kazangapov A.E. Execution of mass explosions at the kurzhunkul quarry of SSMPIA. Proccedings of the 9th International Conference of Physical Problems of Rock Destruction.2017/ pp.177-181

85. Rakishev B. R., Rakisheva Z. B., Orynbay A. A. Computer-aided creation of coordinate grid for blasted rock block. MIAB. Mining Inf. Anal. Bull. 2020;(8):40-51. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-8-0-40-51. (в базе данных Scopus) (Precentile 18%, Q3 SJR2019 0.16)

86. Лоран, П. Ж. Аппроксимация и оптимизация. — М.: Мир, 1975. — С. 496.

87. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике/пер. с англ. под ред. БЕ Победри. 1975.

88. Гантмахер Ф. Р. Теория матриц. — М.: Наука, 1966.

89. Гусак А. А., Гусак Г. М., Бричикова Е. А. Справочник по высшей математике в двух томах. — Минск: Тетрасистемс, 1999. — 640 с. — ISBN 985-6317-51-7.

90. Bayan Rakishev, Zaure Rakisheva, Alma Auezova and Asfandiyar Orynbay Automated determination of internal points of the coordinate grid of the blasted rock mass. 06 May 2020. E3S Web of Conferences 168 II International Conference Essays of Mining Science and Practice, Dnipro, Ukraine. DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016800015

91. Трубецкой К.Н., С.Д.Викторов, В.М.,Закалинский, А.А.Осокин. Крупномасштабное взрывное разрушение массивов горных пород: состояние и перспективы применения. Горный журнал, 2016, №10.С.64-68.

92. Викторов С.Д., Закалинский В.М., Кочанов А.Н. К вопросу о классификации горных пород по сопротивляемости взрывному разрушению.// Взрывное дело - №111/68. Москва, 2014. С.70-78.

93. Казаков Н.Н., Лапиков И.Н., Шляпин А.В. Категория взрываемости горных пород. // Взрывное дело- №111/68. Москва, 2014. С.49-60.

94. Ракишев Б.Р. Автоматизированное проектирование и производства массовых взрывов на карьерах: - Алматы: «Ғылым», 2016. -340 с.

95. Отчеты ПЦФ5 2018 ИРН: BR05235618-ОТ-18 "Модернизация технологий и производств в горнодобывающей и горноперерабатывающей отраслях Республики Казахстан" с. 34-36

96. Отчеты ПЦФ 2019 ИРН: BR05235618-ОТ-19 "Модернизация технологий и производств в горнодобывающей и горноперерабатывающей отраслях Республики Казахстан" с. 32-35

97. Отчеты ПЦФ 2020 заключительные ИРН: BR05235618-ОТ-20 "Модернизация технологий и производств в горнодобывающей и горноперерабатывающей отраслях Республики Казахстан" с. 22-25

Согласовано:
И.о. Вице-президента
по производству АО «ССГПО»

А. Н. Сумин
«___» _____2019 г.

04. 07. 2019

Утверждаю:
И.о. Президента АО «ССГПО»

С.В. Кузьменко
«___» _____2019 г.

ПРОТОКОЛ
технического совещания АО «ССГПО» и НАО "КазНИТУ имени К.И. Сатпаева" по НАУЧНО – ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
(проект №4.959.17) «Лот №1 -Внедрение инновационных технологий буровзрывных работ на основе автоматизированного проектирования параметров и результатов массовых взрывов на карьерах АО «ССГПО»» (заключительный)

г. Рудный **«03» июля 2019г.**

Присутствовали:
от АО «ССГПО»: Сумин А.Н., Калюжный Е. С., Плющенко С.Н., Безносенко С. В., Коротыч А. А., Богаш М. И., Баширов А.В.
от НАО "КазНИТУ имени К.И. Сатпаева": Ракишев Б. Р., Орынбай А. А.

Повестка дня совещания:

1. Обсуждение заключительного отчета по проекту №4.959.17 (Лот №1). доклад научного руководителя, академика НАН РК Ракишева Б.Р.
2. Рассмотрение внедрения пакета компьютерных программ по БВР.

В своем докладе академик НАН РК Ракишев Б.Р. озвучил полученные результаты проведенной НИР, в частности:

1. По проектам разработки Сарбайского, Соколовского и Куржункульского месторождений изучена трещиноватость массивов пород. физико-механические свойства пород.
2. Создана структурно-иерархическая модель трещиноватого массива пород, которая позволяет определить расчетный гранулометрический состав естественных отдельностей в массивах различной блочности.
3. Создано программное обеспечение для автоматизированного определения гранулометрического состава естественных отдельностей в массиве пород.
4. Установлены закономерности расширения взрывной полости при взрыве цилиндрических зарядов ВВ в массиве пород. На их основе предложены аналитические зависимости для прочностной характеристики горных пород в условиях взрывного нагружения и относительного предельного радиуса взрывной полости во взрываемом массиве пород. Создано программное обеспечение определения предельного радиуса взрывной полости.

Создан программный продукт для определения размеров зон мелкого дробления и радиальных трещин в зависимости от различного сочетания прочностных, упругих свойств пород и физико-химических характеристик применяемого ВВ.

5. Для теоретического определения параметров расположения зарядов ВВ во взрываемом массиве сформулирован принцип рационального размещения заряда ВВ во взрываемом массиве. На его основе предложены аналитические зависимости для определения параметров БВР, создано программное обеспечение для автоматизированного определения параметров расположения зарядов ВВ в массиве различных горных пород при различных взрывчатых характеристиках применяемого ВВ и заданном диаметре скважины.
6. Показано, что гранулометрический состав взорванной горной массы формируется за счет действия волн напряжений взрыва и отраженных волн (I стадия взрыва), продуктов детонации (вспучивающего действия взрыва) (II стадия взрыва), соударения крупных кусков при

перемещении (III стадия взрыва). На основе этой модели взрыва получена аналитическая зависимость для гранулометрического состава взорванных горных пород в зависимости от различного сочетания физико-механических свойств пород массива, химико-физических характеристик применяемого ВВ, параметров БВР. Для автоматизированного определения гранулометрического состава взорванных пород создана программа в среде Microsoft Visual Studio 2017.

7. Для установления внутренней структуры развала пород введено понятие о координатных сетках взрываемого и взорванного блоков уступа. Их совместное использование позволяет решить поставленную задачу определения мест расположения различных элементов уступа в развале, их конфигурации и другие геометрические характеристики. В частности, разработан графо-аналитический метод определения зон мелкого, среднего и крупного дробления в развале пород.

8. Принципиальное отличие предложенных методик от известных заключается в том, что в горной науке впервые в качестве определяющего показателя результатов взрыва ВВ в твердой среде принят предельный радиус взрывной полости, образованной взрывом ВВ в породе.

9. С использованием, созданного в рамках данной НИР, программного продукта было проведено четыре опытных взрыва на Сарбайском и Соколовском карьерах (по два на каждом). Программный продукт при условии занесения точных физико-механических свойств горных пород, характеристик ВВ, данных по блочности и трещиноватости массива позволяет рассчитывать основные параметры необходимые для проектирования взрыва для «идеального блока» (удельный расход ВВ, массу заряда на скважину, сетку скважин, конструкцию заряда, величину перебура, величину пробития линии сопротивления по подошве, глубину скважины, выход горной массы с 1 п.м.) и прогнозировать гранулометрический состав взорванной горной массы в процентном отношении.

По результатам экспериментальных взрывов, проведенных с использованием предложенного автоматизированного проектирования параметров БВР, в него были внесены поправки учитывающие наличие наклонных скважин в уступах высотой 20 м. По дополненному программному продукту в автоматическом режиме рассчитываются удельный расход ВВ и выход горной массы при наличии наклонных скважин.

Результаты проектирования с использование разработанного в рамках НИР программного комплекса отличаются от показателей, эмпирически установленных и применяемых, на действующем производстве. Данные отличия могут быть объяснены неточностью вводных данных по характеристикам массива и горных пород, а также не идеальностью взрываемых блоков. При составлении проекта на массовый взрыв и паспорта на взрывание требуется ручная корректировка рассчитанных программой параметров БВР, в соответствии с фактической выкопировкой местности, так как программа не учитывает координатные и линейные параметры взрываемого массива.

В условиях АО «ССГПО» при производстве массовых взрывов из-за значительного объёма выполняемых взрывных работ не представляется возможным использование точных данных по характеристикам массива и горных пород, в том числе из-за нарушения предусмотренной проектом системы отработки карьера отсутствуют взрывные блока с идеальными геометрическими параметрами. Учитывая данные факты, практическое применение программного продукта для проектирования параметров БВР и прогнозирования гранулометрического состава взорванной горной массы на сегодняшний момент не представляется возможным.

Использование разработанного программного продукта возможно для предварительного расчета параметров БВР при проектировании и проведении экспериментальных взрывов.

10. Запланированный перечень НИР по проекту «Лот №1 -Внедрение инновационных технологий буровзрывных работ на основе автоматизированного проектирования параметров

и результатов массовых взрывов на карьерах АО «ССГПО»» выполнен в полном объеме.

В обсуждении приняли участи: и.о. вице-президента по производству – Сумин А.Н., начальник отдела по горному комплексу Департамента НИД АО «ССГПО» - Плющенко С.Н.; начальник Управления буровых и взрывных работ – Коротыч А.А.; д.т.н., профессор кафедры «Горное дело» НАО "КазНИТУ имени К.И. Сатпаева" – Ракишев Б.Р.

Решили:

1. Заключительный отчет по НАУЧНО – ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ (проект №4.959.17) «Лот №1 -Внедрение инновационных технологий буровзрывных работ на основе автоматизированного проектирования параметров и результатов массовых взрывов на карьерах АО «ССГПО»» утвердить и принять в полном объеме.

2. НАО "КазНИТУ имени К.И. Сатпаева" поработать возможность заключения договора с ТОО «НИИЦ ERG» по разработке программного комплекса для автоматизированного проектирования параметров БВР, который позволит помимо достигнутых результатов в рамках НИР (проект №4.959.17) «Лот №1 -Внедрение инновационных технологий буровзрывных работ на основе автоматизированного проектирования параметров и результатов массовых взрывов на карьерах АО «ССГПО»:

- составлять проекты на взрывание по установленной на АО «ССГПО» форме.
- переносить рассчитанные параметры БВР на маркшейдерские выкопировки в программу AutoCAD и автоматически составлять паспорт на буровые работы.
- в графической форме в 3D формате составлять прорисовку взрываемого массива с отражением взрывных скважин, конструкции зарядов и возможностью прогнозирования развала горной массы после взрыва с учетом различных схем монтажа взрывной сети.

Визы:

Начальник ДТР и Т АО «ССГПО» **Е. С. Калюжный**

Начальник УБВР **А.А. Коротыч**

Начальник отдела по горному комплексу Департамента НИД АО «ССГПО» **С.Н. Плющенко**

Научный руководитель проекта №4.959.17 (Лот1) д.т.н., профессор кафедры «Горное дело» НАО "КазНИТУ имени К.И. Сатпаева" **Б. Р. Ракишев**

Приложение №2

Акт
внедрения результатов научно-исследовательских работ:
«Внедрение инновационных технологий буровзрывных работ на основе автоматизированного проектирования параметров и результатов массовых взрывов на карьерах АО «ССГПО»

Настоящим подтверждаем, что в рамках научно-исследовательской работы «Внедрение инновационных технологий буровзрывных работ на основе автоматизированного проектирования параметров и результатов массовых взрывов на карьерах АО «ССГПО»», выполненные НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева» с 19 октября 2017 года по 08 мая 2019 года выполнен большой объем апробации инновационных технологий буровзрывных работ, включающих автоматизированное проектирование параметров расположения зарядов в уступе и автоматизированного прогнозирование гранулометрического состава взорванной горной массы.

Проведенные экспериментальные взрывы на карьерах АО «ССГПО» полностью подтверждают правомерность предложенных методик и программ для расчета параметров БВР, гранулометрического состава взорванных пород карьеров. Замеренный сотрудниками НАО «КазНИТУ имени К.И.Сатпаева» гранулометрический состав взорванной горной массы удовлетворительно коррелирует с расчетным по программе.

Результаты работ представляют практический интерес, апробированы и могут быть использованы в производстве.

Начальник ДТР и Т АО «ССГПО» **Е. С. Калюжный**

Начальник УБВР АО «ССГПО» **А. А. Коротыч**

Научный руководитель проекта №4.959.17 (Лот1) **Б. Р. Ракишев**
д.т.н., профессор кафедры «Горное дело»
НАО "КазНИТУ имени К.И. Сатпаева"