

## АННОТАЦИЯ

диссертация на соискание степени доктора философии (PhD)  
по специальности 6D070700 – «Горное дело»

**Орынбай Асфандияр Айтказыұлы**

### **РАЗРАБОТКА ИННОВАЦИОННЫХ МЕТОДОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЗОРВАННЫХ ГОРНЫХ ПОРОД НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

#### **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. 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. Другие авторы (P.H.S.W. Kulatilake, M. Monjezi) пытаются дать прогноз грансостава взорванной горной массы на основе использования нейронных сетей. Для определения внутренней структуры развала пород предлагается использование тензорного исчисления (Гальянов А.В.). 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, 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, 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 параметров 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 установления 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 КОКСОН МОН РК, из них 3 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.

### **Объем и структура работы.**

Диссертация состоит из введения, трех разделов, заключения, списка использованных источников и приложений. Объем диссертации составляет 130 страниц машинописного текста, 17 таблиц, 109 рисунков, списка литературы, включающего 94 наименований и 2 приложения.

## Заключение

1. С учетом того, что разрушение взрывающегося 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, подтверждает их полную идентичность.

2. В целях определения внутренней структуры развала пород введено понятие о координатных сетках взрывающегося 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 взорванной 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 прогнозировать их результаты. Грамотно управляя процессом взрывания массивов пород можно достичь необходимых технологических параметров взорванной горной массы на карьерах.