

На правах рукописи



СТРОГИЙ ИВАН БОРИСОВИЧ

**РАЗРАБОТКА СПОСОБА РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД
ПРОМЫШЛЕННЫМИ ЗАРЯДАМИ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ,
С КОМПОНЕНТАМИ УГЛЕРОДНЫХ ОТХОДОВ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Специальность: 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение горных пород,
рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2020

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте проблем комплексного освоения недр им. Н.В.Мельникова Российской академии наук (ИПКОН РАН) в отделе проблем геомеханики и разрушения горных пород

Научный руководитель: **Викторов Сергей Дмитриевич**
профессор, доктор технических наук
заместитель директора по научной работе ИПКОН РАН

Официальные оппоненты: **Державец Аврам Семенович**
профессор, доктор технических наук
Генеральный директор АО «ВЗРЫВИСПЫТАНИЯ»

Маслов Илья Юрьевич
кандидат технических наук
Главный инженер ООО «Глобал Майнинг Эксплозив – Раша»

Ведущая организация **АО «ВНИПИпромтехнологии»**

Защита состоится «20» мая 2020 г. в 11 часов 00 мин на заседании диссертационного совета Д 002.074.02 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В.Мельникова Российской академии наук по адресу: 111020, Москва, Крюковский тупик, 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИПКОН РАН и на сайте www.ипконран.рф.

Автореферат разослан « » 2020г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор технических наук

И.Ф. Жариков

Актуальность работы

Смеси аммиачной селитры с дизельным топливом, разработка технологии их изготовления и применения, в нашей стране, выполнялась под научным руководством академика Н.В. Мельникова. В этих работах принимали участие ученые научно-исследовательских, проектных и учебных институтов, машиностроительных предприятий, предприятий горной промышленности.

Несмотря на революционный характер широкого внедрения игданитов в производственную практику, производственники столкнулись с недостатками этих зарядов, с их растворимостью и расслаиваемостью.

Большим достижением является создание водоустойчивых эмульсионных взрывчатых веществ, которые становятся взрывчатыми только в скважинах. Они не растворяются и не расслаиваются. Они дешевле заводских ВВ, но заметно дороже игданитов. Поэтому новые составы игданитов остаются предметом научных исследований и практического использования. Совершенствуются технологии их изготовления и применения.

Особенно актуально совершенствование простейших взрывчатых веществ, с использованием углеродных горного производства.

В работе дано решение научной задачи повышения стабильности и снижение стоимости гранулитов, за счет введения в их состав углеродных отходов горного производства, при изготовлении гранулитов на горном предприятии.

Цель работы – обоснование способа разрушения горных пород применением взрывчатых веществ с компонентами из углеродных отходов горного производства.

Научная идея заключается в том, что при изготовлении на горных предприятиях многокомпонентных взрывчатых веществ с нулевым кислородным балансом использующих углеродные отходы горного производства обеспечивается стабильность и эффективность их применения.

Методы исследований. В работе использовался комплексный метод исследований, включающий системный анализ, теоретические исследования, исследования физических и технологических процессов, лабораторные экспериментальные исследования и промышленные испытания.

Положения, представляемые к защите

1. При приготовлении смеси из трех и более компонентов с положительным и отрицательным кислородным балансами у разных компонентов, из них можно приготовить множество смесей с нулевым кислородным балансом, изменяя долевое объемное соотношение компонентов в смеси; разработаны аналитические зависимости, расчетный

метод и компьютерная программа определения смесей аммиачной селитры с углеродными отходами горного производства.

2. Изготовления и применения взрывчатых вещества с углеродными отходами горного производства обеспечивает длительное сохранение стабильности промышленных зарядов, снижает их стоимость, улучшает экологию на территории предприятий.

3. По результатам полигонных исследований и промышленных испытаний доказана возможность эффективного применения на горных предприятиях новых составов гранулированных взрывчатых веществ с компонентами углеродных отходов горного производства.

Научная новизна заключается в обосновании возможности использования углеродных отходов горного производства в составе простейших взрывчатых веществ изготавливаемых и применяемых для ведения взрывных работ на горных предприятиях, выполнении полигонных и промышленных испытаний.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждена комплексной методикой работ, предусматривающей использование современных теоретических и экспериментальных средств исследований, и результатами промышленных экспериментов.

Практическое значение работы состоит в снижении затрат на буровзрывные работы и в улучшении качества дробления горных пород при использовании простейших взрывчатых веществ с отходами горного производства.

Публикации. Основное содержание диссертационной работы опубликовано в 8 печатных работах и одном патенте. Материалы диссертации использованы при написании двух монографий.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, изложенных на 107 страницах машинописного текста, содержит 28 рисунков, 14 таблицы, список литературы, состоящий из 50 наименований и 3 приложения. Общий объем работы 125 страниц.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы докладывались на научных симпозиумах «Неделя горняка» (Москва, МГГУ, 2014, 2016, 2018 гг.), на III и IV Международных научных школах молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых» (Москва, ИПКОН РАН, 2016, 2017 гг.), на V международной научной конференции «Наука и новейшие технологии при поисках, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых» (Москва, РГГРУ, 2016 г.), на XIX Международная научно-практическая конференция по горному и взрывному делу. 2019, г. Геленджик.

Общая характеристика работы

Отбойка и дробление горных пород взрывом при добыче скальных полезных ископаемых является одним из основных технологических процессов горного производства. Поэтому на протяжении многих лет этот физический и технологический процесс является предметом пристального внимания многих ученых в нашей стране и за рубежом.

Взрывные работы широко применяются при открытой и подземной разработке месторождений полезных ископаемых. Большой вклад в развитие теории действия взрыва на горные породы, и в совершенствование технологии и способов дробления горных пород взрывом внесли: В.В. Адушкин, Д.М. Бронников, М.А. Лаврентьев, Н.В. Мельников, В.В. Ржевский, М.А. Садовский, Г.П. Демидюк, В.Н. Родионов, К.Н. Трубецкой, Е.И. Шемякин, В.Л. Барон, Б.Н. Кутузов, С.Д. Викторов, В.М. Закалинский, А.С. Державец, В.А. Белин, Н.Н. Казаков, Г.М. Крюков и другие ученые.

Основными достижениями последних десятилетий в теории и практике взрывных работ являются:

- разработка принципиально новых, безопасных в обращении, дешевых, водостойчивых взрывчатых веществ, изготовление которых на горных предприятиях изменило облик буровзрывных технологий;

- разработка средств, машин и механизмов, позволивших полностью механизировать все работы с взрывчатыми материалами на горных предприятиях;

- разработка технологий и механизированных комплексов по изготовлению дешевых и безопасных взрывчатых веществ, изготавливаемых непосредственно на горных предприятиях.

- создание принципиально новых средств взрывания, в том числе дистанционного радио-взрывания из пунктов, расположенных на борту карьера, что повысило безопасность взрывных работ.

Расчетный метод определения соотношения компонентов в смесевых ВВ

Физико-химические свойства простейших гранулированных ВВ возможно условно разделить на две группы: термодинамические (теплота взрыва, объем газообразных продуктов, кислородный баланс, работа взрыва) и технологические (детонационная способность, физическая и химическая стабильность, насыпная плотность, другие физико-механические свойства).

Процесс взрывчатых превращений весьма сложен и разнообразен. Характер химических реакций в процессе взрывчатого превращения, не поддаются точному экспериментальному исследованию и строгому теоретическому описанию. Имеющиеся способы расчётов, а также опытное определение состава продуктов взрыва, дают приближенное представление о действительном наборе химических реакций при взрыве.

Для определения теплоты взрыва смесевых ВВ, с приемлемой для практики точностью, часто используют правило аддитивной оценки, по которому каждый компонент вносит вклад в теплоту взрыва смеси пропорционально содержанию этого компонента в смеси. По этому правилу теплота взрыва смеси определяется по формуле (1):

$$Q_{взр} = \sum v_i \cdot Q_{i\text{взр}}, \quad (1)$$

где v_i - весовая доля компонента в смеси, (кг);

$Q_{i\text{взр}}$ - теплота взрыва компонента в смеси (кДж/кг).

Определение весового соотношения компонентов в смесевых взрывчатых веществах при совершенствовании простейших взрывчатых веществ на горных предприятиях и при формировании новых составов смесевых ВВ, является одной из главных задач разработчиков.

Нами предложен инженерный метод расчета соотношения компонентов, по массе и в процентах, в смесевых простейших взрывчатых веществах, с использованием кислородного баланса каждого компонента, для достижения нулевого кислородного баланса взрываемой смеси.

Кислородный баланс основных компонентов простейших взрывчатых веществ и возможных добавок следующий:

кислородный баланс селитры $K_c = 0,2$;

кислородный баланс угля $K_y = -2,667$;

кислородный баланс кокса $K_k = -2,667$;

кислородный баланс бутадиенового каучука $K_{ку} = -3,259$;

кислородный баланс дизельного топлива $K_{дт} = -3,47$;

кислородный баланс отработанного моторного масла $K_{ом} = -3,14$.

В инженерном расчетном методе для двухкомпонентной смеси нулевой кислородный баланс обеспечивается при выполнении условия

$$100 \cdot K_c + K_{дт} \cdot x = 0, \quad (2)$$

где 100 – весовая доза аммиачной селитры в граммах, принятая для упрощения расчетов;

x - искомая весовая доза дизельного топлива (или другого компонента) в граммах, обеспечивающая нулевой кислородный баланс смеси.

Искомая весовая доза в граммах определяется по формуле:

$$x = \frac{100 \cdot K_c}{K_{дт}}. \quad (3)$$

В уравнении для трехкомпонентной смеси, доза третьего компонента заменяется дозой второго компонента, полученной математическим преобразованием из дозы третьего компонента.

Для трехкомпонентной смеси нулевой кислородный баланс обеспечивается при выполнении условия

$$100K_c + \Delta d_i K_i X_i + \Delta d_j K_j \cdot \left(\frac{\Delta d_j}{\Delta d_i} \right) \cdot X_i = 0; \quad (4)$$

$$Y_j = \frac{\Delta d_j}{\Delta d_i} \cdot X_i, \quad (5)$$

где, K_j – нулевой кислородный баланс компонентов;

$\Delta d_i, \Delta d_j$ - доля весовых компонентов в смеси (сумма долей, исключая селитру) равна единице;

X_i, Y_j - весовая (в граммах) доля компонентов в смеси на 100 грамм селитры.

Решением этой системы уравнений являются уравнения

$$X_i = \sqrt{\frac{100K_c}{\Delta d_i \cdot K_i + \Delta d_j \cdot K_j \cdot \frac{\Delta d_j}{\Delta d_i}}}; \quad (6)$$

Нашими исследованиями установлено, что в трехкомпонентной смеси соотношение компонентов не обязательно должно оставаться постоянным, чтобы сохранялся нулевой кислородный баланс при взрыве смеси. Меняя дозы отработанного моторного масла, угольного порошка, и изменяя их суммарную дозу в смеси, можно обеспечить нулевой кислородный баланс при взрыве смеси с разными дозами компонентов.

Разработанный нами инженерный метод расчета процентного соотношения по массе компонентов в смесевых простейших взрывчатых веществах и разработанная нами компьютерная программа позволяют рассчитать множество сочетаний компонентов этой смеси, обеспечивающих получение нулевого кислородного баланса при взрыве.

С использованием предложенного инженерного метод расчета процентного соотношения по массе компонентов в смесевых простейших взрывчатых веществах, разработана компьютерная программа.

Критерием эффективности рецептурного состава смесевых взрывчатых веществ, с энергетической точки зрения, является нулевой кислородный баланс смеси компонентов при взрыве.

**Трехкомпонентная смесь с переменной дозой
компонентов**

Уголь	Моторное масло	Селитра	100 г
$k_u := -2.667$	$k_m := -3.14$	$k_s := 0.2$	

$\Delta u := 0.1$
 $du := 0.1, (0.1 + \Delta u) .. 1$
 $dm(du) := 1 - du$

$$x(du) := \sqrt{\frac{-20}{du \cdot k_u + dm(du) \cdot k_m \cdot \frac{dm(du)}{du}}}$$

$$y(du) := x(du) \cdot \frac{dm(du)}{du} \quad \Sigma d(du) := x(du) + y(du)$$

$$M(du) := 100 + \Sigma d(du) \quad MM(du) := \frac{100}{M(du)}$$

$$dk_u(du) := 100 \cdot MM(du) \quad dkm(du) := y(du) \cdot MM(du)$$

$$\Sigma \Sigma d(du) := dk_u(du) + dkm(du) \quad dcc(du) := 100 - \Sigma \Sigma d(du)$$

Рисунок 1. Фрагмент компьютерной программы для расчета пошагового изменения относительного соотношения компонентов

На горных предприятиях изготавливаются и широко применяются двухкомпонентные взрывчатые вещества. Нами предложено изготавливать на горных предприятиях многокомпонентные взрывчатые вещества с добавками углеродных отходов горного производства.

На рис. 1 представлен фрагмент разработанной нами компьютерной программы для расчета пошагового изменения относительного соотношения компонентов.

Начальными данными для расчета являются цифровые значения кислородного баланса для всех компонентов выбранной смеси: аммиачной селитры, угля, моторного масла и других исследуемых компонентов. Принятая в расчетах масса 100 грамм селитры и принятое в этой смеси непрерывное изменение относительной весовой части угля с расчетным шагом $\Delta u=0,1$.

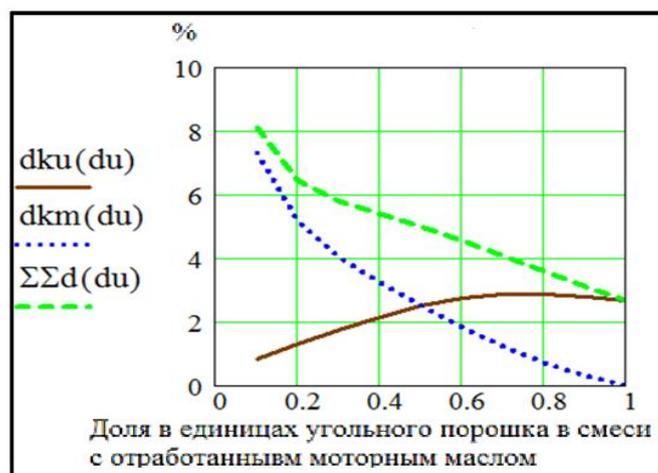


Рисунок 2. Изменение относительного соотношения угля и моторного масла и их суммарной величины в смеси

$du =$	$dm(du)$	$x(du) =$	$y(du) =$	$\Sigma d(du)$	$M(du)$
0.1	0.9	0.9	7.9	8.8	108.8
0.2	0.8	1.4	5.5	6.9	106.9
0.3	0.7	1.8	4.3	6.1	106.1
0.4	0.6	2.3	3.4	5.7	105.7
0.5	0.5	2.6	2.6	5.2	105.2
0.6	0.4	2.9	1.9	4.8	104.8
0.7	0.3	3	1.3	4.2	104.2
0.8	0.2	3	0.7	3.7	103.7
0.9	0.1	2.9	0.3	3.2	103.2
1	0	2.7	0	2.7	102.7

$MM(du)$	$dku(du)$	$dkm(du)$	$\Sigma\Sigma d(du)$	$dcc(du)$
0.919	0.8	7.3	8.1	91.9
0.936	1.3	5.1	6.4	93.6
0.942	1.7	4	5.8	94.2
0.946	2.1	3.2	5.4	94.6
0.95	2.5	2.5	5	95
0.954	2.7	1.8	4.6	95.4
0.959	2.8	1.2	4.1	95.9
0.964	2.8	0.7	3.6	96.4
0.969	2.8	0.3	3.1	96.9
0.973	2.7	0	2.7	97.3

Рисунок 3. Компьютерная таблица результатов расчёта компонентов смеси при пошаговом изменении соотношения компонентов

На рис. 2 представлены компьютерные графики изменения относительного соотношения угля и моторного масла и их суммарной величины в смеси. Сплошная кривая - уголь, пунктирная линия – моторное масло, штриховая линия – сумма смеси компонентов углеродных отходов горного производства. По этой программе для трехкомпонентной смеси можно рассчитать не один состав с нулевым кислородным балансом, а ряд составов с нулевыми кислородными балансами, с разным соотношением компонентов. Каждый из составов может обладать разными технологическими свойствами.

На рис. 3 представлена компьютерная таблица результатов расчёта компонентов смеси при пошаговом изменении соотношения компонентов. Представлены результаты расчета в виде столбиков-векторов для каждого рассчитанного параметра.

В первом столбике-векторе представлены десять выбранных численных относительных долей угля в смеси. Количество относительных долей выбирается произвольно и задается с любым шагом нарастания.

Все остальные значения параметров, представленных на рис 3, рассчитываются.

Во втором столбике-векторе представлены десять численные значения относительных долей моторного масла в смеси.

В третьем и четвертом столбцах-векторах представлены весовые дозы в граммах угля и моторного масла. В пятом столбце-векторе представлена суммарная весовая доза в граммах угля и моторного масла.

В шестом столбце-векторе представлены расчетная порция смеси с нулевым кислородным балансом при разных относительных долях угля и моторного масла. Видно,

что изменение относительных долей угля и моторного масла изменяют необходимую их суммарную массу для достижения нулевого кислородного баланса смеси. Именно этот факт не учитывался при формировании смесевых взрывчатых веществ.

Расчеты выполнять для 100 граммовой дозы селитры удобно. Но пользоваться удобнее процентным содержанием доз во взрывчатом веществе любой массы. В нижней части рис. 3 представлены столбики-векторы изменения доз в процентах: угля (2 столбец), моторного масла (3 столбец), суммы угля и моторного масла (4 столбец), аммиачной селитры (5 столбец).

В нижней части таблицы, в строке пятой, где 50% угля и 50% моторного масла, смесь должна состоять из 2,5% угля, 2,5% моторного масла и 95% дизельного топлива, что бы смесь взорвалась с нулевым кислородным балансом.

В нижней части таблицы, в строке второй, где 20% угля и 80% моторного масла, смесь должна состоять из 1,3% угля, 5,1% моторного масла и 93,6% дизельного топлива, чтобы смесь взорвалась с нулевым кислородным балансом.

При добавлении угля и моторного масла доза аммиачной селитры не должна быть постоянной и равной 95%. В этой трехкомпонентной смеси, при обеспечении нулевого кислородного баланса смеси, доза аммиачной селитры может изменяться от 91,9% до 97,3%.

Каждая строка в таблицах это одно из возможных соотношений конкретного ВВ с нулевым кислородным балансом, из одних и тех же компонентов. Из них по экономическим показателям и технологическим особенностям можно выбирать наиболее рациональное сочетание компонентов. С помощью этой программы рассчитаны составы, использующие различные виды углеродных компонентов горного производства (угольный порошок, резиновая крошка, коксовая мелочь, отработанное моторное масло).

Подготовка и испытания компонентов ВВ из углеродных отходов горного производства

Компоненты взрывчатого вещества из углеродных отходов горного производства изготавливаются по кустовому принципу на специальном пункте для многих предприятий. Эксперименты и отработка технологии применения компонентов взрывчатых веществ проводилась на угольных разрезах, входящем в компанию СУЭК.

Эксперименты по подготовке и применению компонентов взрывчатых веществ проводили в три стадии: в лабораторных условиях, в полигонных условиях и в производственных условиях. Некоторые свойства компонентов и зарядов взрывчатых веществ можно было определить только в производственных условиях при взрыве промышленных зарядов. При исследовании дисперсионного состава резиновой крошки (вторичного каучука) ТУ2511-001-33068450-2014 и мелочи коксовой МК-1, проводили на разрезе предприятия АО «Разрез Березовский», Компоненты из угля на Тугнуйском разрез.

Были разработаны требования по параметрам и свойства компонентов необходимым для их применения. Возможность применения и стабильность составов проверили экспериментально в лабораторных и полигонных условиях. Для проверки взрывной эффективности составов проводили эксперименты в производственных условиях при взрыве промышленных зарядов. В табл. 1 представлен фракционный состав резиновой крошки, коксовой мелочи и угля в изготавливаемых компонентах. Грансостав углеродных отходов горного производства рекомендован нами для компонентов взрывчатых веществ.

Таблица 1

Фракционный состав резиновой крошки, коксовой мелочи и угля
в изготавливаемых компонентах

Адгезив, мм	+3,15	-3,15+2,5	-2,5+1,0	-1,0+0,5	-0,5+0,063	-0,063
	Фракции, %					
Резиновая крошка	0	0,5	43	51,5	5	0
Коксовая мелочь МК-1			8,5	52,3	39	0,2
Уголь			0,2	1,5	4,8	60,5

Требования к жидкому горючему, как компоненту простейшего ВВ, обусловлены в первую очередь их теплотворной способностью, вязкостными характеристиками, относительной дешевизной и доступностью.

Для изготовления «Гранулита» базовым нефтепродуктом, заменителем дизельного топлива, является отработанное моторное масло, основой которого являются углеводороды с большей, чем у дизельного топлива молекулярной массой, выкипающие при температуре 350-5000°C. Моторные масла, загущенные композицией присадок, не подвергаются окислению до температуры +2000°C, терморазложению, химически и физически стабильны в течение нескольких лет при содержании в закрытой емкости.

На сегодняшний день проблема использования отработанных масел стоит достаточно остро и требует эффективных способов и подходов к своему решению. Зачастую отработанные нефтепродукты, сливают в водоемы и в почву, не задумываясь о том, что его еще можно использовать в разных целях, тем самым загрязняя окружающую среду. Согласно стандартам ЕРА (основные стандарты Агентства по охране окружающей среды США (ЕРА) по обращению с отработанными маслами). Чтобы соответствовать определению отработанного масла, вещество должно иметь следующие три критерия: происхождение, применение, загрязняющие вещества. Следует учитывать загрязнение масла физическими или химическими примесями. Физические загрязняющие вещества могут включать металлическую стружку, опилки или грязь. Химические загрязняющие вещества могут включать растворители, галогены или минерализованную воду. Отработанное моторное масло является более вязким по сравнению с дизельным топливом. Оно повышает удерживающую способность нефтепродукта аммиачной

селитрой. Это важное технологическое свойство вертикального промышленного заряда из гранулита ИСУ- 2ТС позволяет удлинить время нахождения заряда в скважине от заряжания до взрыва при сохранении стабильности его взрывчатых и энергетических свойств. Это способствует улучшению качества дробления горных пород взрывом в производственных условиях, когда заряжание скважин осуществляется непрерывно несколько смен.

Отработанное моторное масло является собственными отходами нашего горного производства. Оно подлежат утилизации. Утилизацию отходов отработанного моторного масла горное предприятие должно оплачивать сторонней организации.

Замена части дорогостоящего дизельного топлива бесплатным отработанным моторным маслом снижает себестоимость изготовления промышленных зарядов из гранулита ИСУ=2СТ, что положительно влияет на экономические показатели работы предприятия.

В табл. 2 представлен сопроводительный документ с информацией о состоянии компонента, о случайных примесях в компонентах угля и каучука, приготовленных для изготовления гранулитов. Аналогичные таблицы сопровождали каждую поставляемую партию подготовленных компонентов из углеродных отходов горного производства.

Таблица 2

Информация о состоянии компонента, о случайных примесях
в компонентах угля и каучука

Наименование и обозначение показателя	Метод испытания (обозначение НД)	Результат испытания	Требования НД
Массовая доля общей влаги. W_t^r , рабочего топлива	ГОСТ Р 52911-2013 (метод В 4)	<1,0 % (масс.)	Не более: 22,0
Зольность, A^d , сухое состояние топлива	ГОСТ Р 55661-2013	(8,4±0,2) % (масс.)	Не более: 13,0
Массовая доля общей серы, S_t^d , сухое состояние топлива	ГОСТ 8606-93	(0,12±0,06) % (масс.)	Не более: 1,0
Высшая теплота сгорания сухого топлива, Q_s^d	ГОСТ 147-2013	(7197±43) кКал/кг	Не нормируется
Высшая теплота сгорания сухого беззольного топлива, Q_s^{daf}	ГОСТ 147-2013	7863	Не нормируется
Низшая теплота сгорания рабочего топлива (Q_f^r)	ГОСТ 147-2013	7083	Средняя: 6000
Выход летучих веществ сухого беззольного топлива, v^{daf}	ГОСТ Р 55660-2013	(6,5±0,2) % (масс.)	Не более: 15,0

На втором этапе, определяли, с применением красителей, качество смешиваемости компонентов, наличие расслоения компонентов в объеме пробы, и во времени, при многосуточном наблюдении за пробой.

Существенным недостатком двухкомпонентных смесей аммиачной селитры и дизельного топлива является низкая способность аммиачной селитры удерживать на своей поверхности дизельное топливо применение исследованных углеродных добавок позволяет обеспечить стабильность составов. Стабильность получаемых составов исследовалась в лабораторных условиях и была подтверждена промышленными испытаниями при взрывании зарядов в скважинах; качество дробления соответствовало расчетной энергии зарядов.

Технологическими свойствами простейших гранулированных взрывчатых веществ являются: детонационная способность, физическая и химическая стабильность, насыпная плотность, водоустойчивость и др. Качество взрывных работ зависит не только от физических свойств ВВ, но в значительной степени оно зависит и от их технологических свойств.

Стабильность простейших ВВ, понимаемая как постоянство смеси в течение изготовления, хранения, заряжания и времени ожидания взрыва в заряженном состоянии. Стабильность ВВ определяется во многом физико-химическими свойствами используемых компонентов: свойствами аммиачной селитры (удельной поверхностью, формой и размером гранул, наличием и размерами пор и каверн в гранулах, шероховатостью поверхности); свойствами жидких нефтепродуктов (теплотворной способностью, вязкостью); свойствами твердого горючего (теплотворной способностью, физико-химическими и адгезионными свойствами порошков, дисперсностью состава, формой и размером частиц).

В исследованиях определяли стабильность составов, с применением красителей, качество смешиваемости компонентов, наличие расслоения компонентов в объеме пробы, и во времени, при многосуточном наблюдении за пробой. Полученные показатели лучше, чем при расслоении двухкомпонентной смеси аммиачной селитры с дизельным топливом.

Требования к жидкому горючему, как компоненту простейшего ВВ, обусловлены в первую очередь их теплотворной способностью, вязкостными характеристиками, относительной дешевизной и доступностью. Проблема использования отработанных масел стоит достаточно остро.

В полигонных условиях определяли скорость детонации приготовленного взрывчатого вещества с компонентами из углеродных отходов горного производства.

Для оценки полноты детонации зарядов, контрольных образцов гранулитов, на полигоне стационарного пункта приготовления, из невзрывчатых компонентов эмульсионных взрывчатых веществ ООО «Управление по буровзрывным работам – Тугнуйский филиал», были выполнены полигонные испытания в соответствии с «Методикой полигонных испытаний гранулитов ИСУ», Методика разработана ИПКОН РАН

им академика Н.В. Мельникова, и согласована с техническим директором АО «Разрез Тугнуйский». Для этого были сформированы заряды в пластиковых трубах с внутренним диаметром 148 мм длиной 100-105 см. Для оценки полноты детонации зарядов были использованы металлические пластины размером 25x25 см и толщиной 10 мм. Результаты полигонных испытаний представлены в Акте полигонных испытаний.

При проведении испытаний новых взрывчатых веществ «Гранулитов ИСУ» в угольных разрезах главными измеряемыми и оценочными параметрами были; скорость детонации, полнота детонации, стабильность заряда вдоль скважины и во времени после заряжания скважины, качество дробления горной массы и экономическая эффективность.

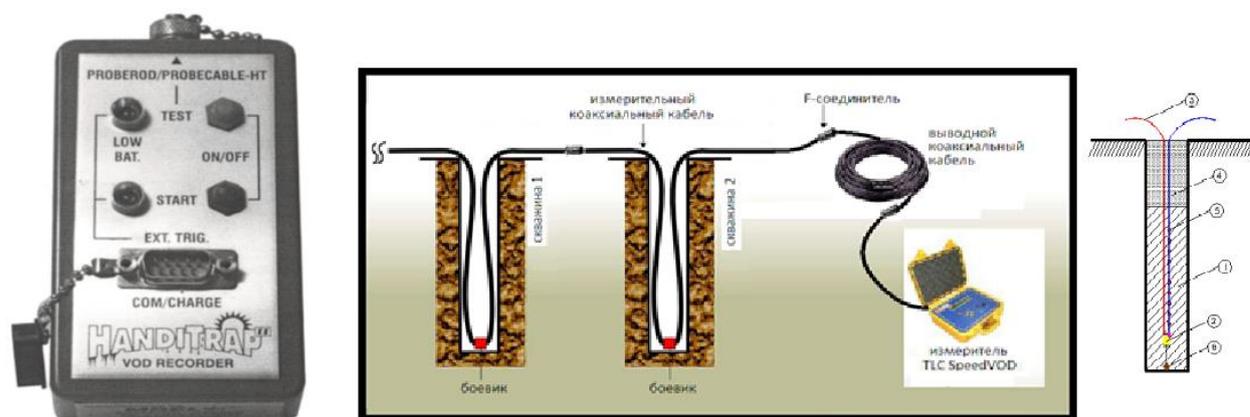


Рисунок 4. Общий вид прибора для измерения скорости детонации по длине скважины и схема установки регистрирующего кабеля в скважинах

Скорость детонации, в том числе и вдоль скважинного заряда, измеряли в производственных условиях с использованием прибора «Handitrap».

На рис. 4 представлен внешний вид прибора и схема установки регистрирующего кабеля в скважинах. Монтаж датчиков выполняется на шнуре из неэлектропроводящего материала. Датчики крепили к шнуру с помощью тонкой липкой ленты. Их концевые провода вытянуты в сторону устья скважины.

Расстояние между датчиками выбирали исходя из возможностей измерительного прибора и условий эксперимента.

Устанавливали гирлянды с датчиками в скважинном заряде так, чтобы датчики находились выше точки инициирования.

Экспериментально определяли грансостав на разных разрезах двумя способами.

На рис. 5 в качестве иллюстрации представлена итоговая таблица грансостава по 6 фотопланограммам одного карьерного блока и по блоку в целом. Эти измерения сделаны с использованием Компьютерного метода и компьютерной программы, разработанных в ИПКОН РАН группой сотрудников под руководством С.Д. Викторова.

исходные данные | определение грансостава

IMG_0531
 IMG_0532
 IMG_0533
 IMG_0534
 IMG_0536

границы диапазонов фракций
 границ диапазонов 4

i	d, mm
1	300
2	600
3	1000
4	1500

Вычисление грансостава

грансостав

выполнил замеры

служба, отдел, цех

тип (разва, забой экскаватора) должность

время выполнения замеров номер цеха

9:31:19

дата выполнения замеров номер блока

14.10.2008

фракции, мм	%
< 300	75.4
300 - 600	11.4
600 - 1000	6.2
1000 - 1500	3.3
>= 1500	3.7

Разброс (%) = 17.094861

Запись информации в Excel

Рисунок 5. Таблица грансостава по шести фотопланограммам одного карьерного блока и по блоку в целом

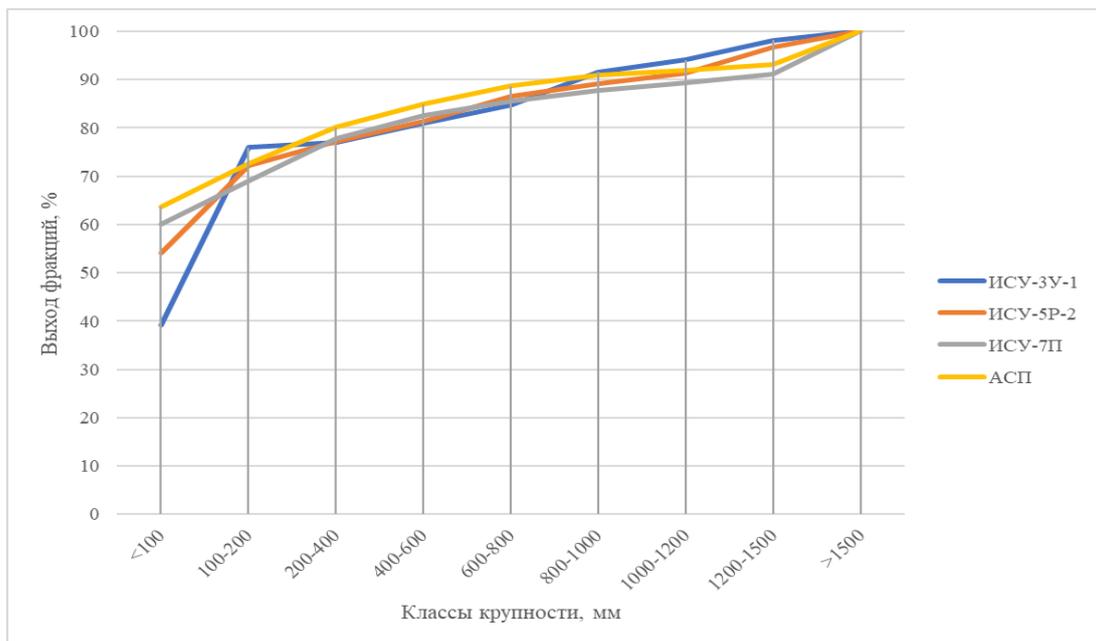


Рисунок 6. Кумулятивные кривые гранулометрического состава отбитой горной массы

В левом верхнем углу поименованы все шесть обработанных фотопланограмм Блока. Если мы будем ставить галочки перед любой фотопланограммой и нажимать на кнопку «Вычисление грансостава», то будет высвечиваться грансостав по фотопланограмме отмеченной галочкой.

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

На рис. 6 представлены экспериментальные компьютерные кривые, по которым определяется экспериментальный грансостав раздробленной породы на экспериментальных блоках.

На рис. 7 представлены экспериментальные результаты определения грансостава по экспериментальным объемам фракций с использованием кумулятивных кривых. Первый столбец таблицы – размеры фракции в мм. Для каждого испытываемого состава, а таблице приведены два столбика под каждым ВВ. В первом столбце процент выхода по каждой фракции, во втором столбце суммарное нарастание процента вдоль кумулятивной кривой.

	ИСУ-ЗУ-1		ИСУ-5Р-2		ИСУ-7П		АСП	
<100	39,2	39,2	54,2	54,2	60	60	63,7	63,7
100-200	36,7	75,9	18,1	72,3	9,1	69,1	9	72,7
200-400	1,1	77	4,9	77,2	8,7	77,8	7,4	80,1
400-600	4	81	4,1	81,3	4,7	82,5	4,8	84,9
600-800	3,8	84,8	5,3	86,6	3	85,5	3,8	88,7
800-1000	6,8	91,6	2,6	89,2	2,2	87,7	2,3	91
1000-1200	2,5	94,1	2,1	91,3	1,6	89,3	1	92
1200-1500	4	98,1	5,3	96,6	1,8	91,1	1,1	93,1
>1500	1,9	100	3,4	100	8,9	100	6,9	100

Рисунок 7. Экспериментальные результаты определения грансостава по объемам фракций с использованием кумулятивных кривых

Стоимость гладкой селитры в 100 т смеси АС-ДТ	
$C_{cg} := \frac{Mz \cdot 94.5}{100} \cdot zsg$	$C_{cg} = 1442543 \text{ руб./100т ВВ}$
Стоимость дизельного топлива в 100 т использованных зарядах	
$C_{dt} := \frac{Mz \cdot 5.5}{100} \cdot zdt$	$C_{dt} = 183249 \text{ руб./100т ВВ}$
Стоимость 100 т классической смеси АС-ДТ	
$C_k := C_{cg} + C_{dt}$	$C_k = 1625792 \text{ руб./100т ВВ}$
Стоимость гладкой селитры в 100 т предлагаемой смеси	
$C_c(du) := dcc(du) \cdot zsg$	руб./100т ВВ
Стоимость мелких фракций угля в 100 т предлагаемой смеси	
$C_{up}(du) := dku(du) \cdot up$	руб./100т ВВ
Стоимость моторного масла в 100 т предлагаемой смеси	
$C_{mm}(du) := dkm(du) \cdot mm$	руб./100т ВВ
Стоимость 100 т предлагаемой смеси	
$C_{пег}(du) := C_c(du) + C_{up}(du) + C_{mm}(du)$	руб./100т ВВ
Экономический эффект от внедрения 100 т предлагаемой смеси	
$Э_{пег}(du) := C_k - C_{пег}(du)$	руб./100т ВВ
Экономический эффект от внедрения любой массы Мф предлагаемой смеси	
$Э_{пегф}(du) := \frac{0.01 \cdot Mф \cdot Э_{пег}(du)}{1000000}$	млн.руб./1000т

Рисунок 8. Фрагмент компьютерной программы расчета экономической эффективности многокомпонентных смесей взрывчатых веществ

Экономическая эффективность от внедрения много компонентных смесевых ВВ зависит от замены компонентов, от изменения объемного соотношения компонентов в смеси, от изменения стоимости заменяемых ВВ, от изменяющейся стоимости компонентов. Создается довольно не простая расчетная ситуация, для преодоления которой нами разработана компьютерная программа расчета экономической эффективности при выборе конкретного состава предлагаемой многокомпонентной смеси и при ее внедрении в производство.

На рис. 8 представлен фрагмент компьютерной программы расчета экономической эффективности много компонентных смесей взрывчатых веществ. В программу введены стоимости различных сортов селитры, стоимости заменяемых ВВ, расчетные объемы компонентов. Компьютерная программа позволяет быстро, и без субъективны ошибок, рассчитать экономическую эффективность различных комбинаций на стадии выбора конкретной смеси. Эффективность становится одним из поисковых фактором.

На рис. 9 представлена компьютерная таблица построчного рассчитанного экономического эффекта при замене пористой селитры гладкой селитрой (второй столбец) и при замене поризованной селитры гладкой селитрой (второй столбец)

$dec(du) =$	$\Xi_{11}(du) =$	$\Xi_{22}(du)$
91.9	2.23	2.31
93.8	1.97	2
94.2	1.87	1.88
94.6	1.81	1.81
95	1.75	1.74
95.4	1.69	1.66
95.9	1.61	1.57
96.4	1.54	1.47
96.9	1.46	1.39
97.3	1.4	1.31

Рисунок 9. Экономическая эффективности от замены некоторых компонентов в смешанном составе ВВ

В первом столбце таблицы представлена в процентах доля аммиачной селитры в построчной смеси. Каждая строка в таблице, это конкретное взрывчатое вещество, с выбранным соотношением компонентов в смеси.

На рис. 10 представлена компьютерная таблица построчного расчета экономической эффективности от замены эмульсионного ВВ, на смесь гладкой аммиачной селитры с компонентами из углеродных отходов горного производства. Каждая строка в таблице, это конкретное ВВ с выбранным соотношением компонентов.

В последнем столбике представлен построчный рассчитанный экономический эффект при замене эмульсионного ВВ, на смесь гладкой аммиачной селитры с компонентами из углеродных отходов горного производства.

№	Уголь,%	Моторное масло,%	Селитра гладкая,%	Экономический эффект млн. руб/на 1000 т
	dku (du)	dkm (du)	dcc (du)	Э2псгф(du)
1	0.8	7.3	91.9	15
2	1.3	5.1	93.6	14.8
3	1.7	4	94.2	14.7
4	2.1	3.2	94.6	14.6
5	2.5	2.5	95	14.6
6	2.7	1.8	95.4	14.5
7	2.8	1.2	95.9	14.4
8	2.8	0.7	96.4	14.3
9	2.8	0.3	96.9	14.3
10	2.7	0	97.3	14.2

Рисунок 10. Экономической эффективности от замены эмульсионного ВВ,
«Гранулитами ИСУ»

Экономический эффект изменяется от 15 до 14,2 млн. руб. на 1000 т предлагаемого ВВ.

Замена части эмульсионного ВВ Гранулитами ИСУ экономически эффективна, но технологически целесообразна только при зарядании сухих скважин, с учетом времени нахождения заряда в скважине от момента зарядания до момента взрывания заряда в скважине.

На рис. 11 приведены стоимости ВВ и компонентов, принятые в расчетах.

Стоимость компонент (непрерывно меняется и уточняется)		
zsg := 15265	руб./т	Стоимость гладкой селитры
zsp := 18475	руб./т	Стоимость пористой селитры
zdt := 33318	руб./т	Стоимость дизельного топлива
mm := 0		Стоимость отработанного моторного масла
yp := 0		Стоимость угольного компонента
dk := 0		Стоимость каучукового компонента
zэ := 29064	руб./т	Стоимость эмульсионного ВВ

Рисунок 11. Стоимость ВВ и компонентов

Эти стоимости в разных регионах в разное время могут быть разными. Кроме этого на горных предприятиях большинство экономических показателей держат в секрете.

Испытания разработанных гранулитов ИСУ

Разработка новых рецептурных составов и способов изготовления простейших, гранулированных взрывчатых веществ типа ИСУ в ИПКОН РАН проводилась с целью расширения диапазона энергетических, детонационных и экономических показателей, обеспечивающих высокое качество подготовки взорванной горной массы и снижение себестоимости буровзрывных работ. Автор принимал творческое участие в этих разработках.

В разработанную линейку гранулитов входит семь гранулитов: ИСУ-1; ИСУ-2ТС; ИСУ-3У; ИСУ-4К; ИСУ-5Р; ИСУ-6Т и ИСУ-7П.

На основе выполненных исследований разработаны и проверены новые взрывчатые вещества «Гранулиты ИСУ» с компонентами из углеродных отходов горного производства.

В период с 07.11.2018 по 16.11.2018 г. проведены полигонные испытания по «Методике полигонных испытаний гранулитов ИСУ», разработанной ИПКОН им академика Н.В. Мельникова РАН и согласованной техническим директором АО «Разрез Тугнуйский».

На полигоне стационарного пункта приготовления невзрывчатых компонентов эмульсионных взрывчатых веществ ООО «Управление по буровзрывным работам – Тугнуйский филиал» (далее – СПП) проведены полигонные испытания новой линейки составов простейших гранулированных ВВ, включающие определение: полноты детонации зарядов, взрываемых в пластиковой оболочке, скорости детонации зарядов, сыпучести ВВ и его физической стабильности.

Исследования проводились с зарядами, сформированными в пластиковых трубах с внутренними диаметрами 148 мм длиной 100-105 см.

В качестве регистрирующего элемента использовались:

- при исследовании скорости детонации – резистивный датчик;
- при исследовании полноты детонации – металлические пластины размером 250x250x10 мм;
- при исследовании контроля сыпучести – определение угла естественного откоса.

Заряды устанавливались вертикально на металлические пластины, которые, в свою очередь, устанавливались горизонтально на металлические бруски для создания свободного пространства между пластиной и грунтовой поверхностью. Патрон-боевик и капсуль-детонатор устанавливались в верхней части заряда.

Общее количество израсходованного в экспериментах гранулита ИСУ-7П составляет 50,2 т, гранулита ИСУ-5Р-2 составляет 24 т, гранулита ИСУ-3У-1 составляет 9,5 т.

Определенные экспериментальным путем показатели гранулитов ИСУ (полнота детонации заряда, сыпучесть) являются исходными данными для включения в нормативно-техническую документацию (ТУ, краткое руководство, регламент технологического процесса) при получении разрешения на проведение промышленных испытаний в производственных условиях.

При изготовлении гранулитов ИСУ-4К, имеющих в своем составе твердое горючее, при проведении промышленных испытаний необходимо использование «Технологической линии производства термообработанной (поризованной) аммиачной селитры и смесевых взрывчатых веществ из невзрывчатых компонентов, в условиях СПП НК ЭВВ АО «Разрез Тугнуйский» (ТЛ–МК 4,5/7,5 А – РТ) для смешения горючего и гранулированного окислителя.

На основании письма Ростехнадзора №07-05-03/1290 от 12.10.2018 г в период с 07.11.2018 по 16.11.2018 г. проведены приемочные испытания гранулитов ИСУ-3У-1, ИСУ-5Р-2 и ИСУ-7П на опытных блоках Никольского каменноугольного месторождения.

Испытания проводились по «Методике приемочных (промышленных) испытаний гранулитов ИСУ по ВТУ ИПКОН РАН «Вещество взрывчатое промышленное ГРАНУЛИТЫ ИСУ», разработанной ИПКОН им академика Н.В. Мельникова РАН и согласованной техническим директором АО «Разрез Тугнуйский» и экспертной организацией АНО «Национальная организация инженеров-взрывников».

Испытания проводились в разных частях блока. Опытные участки сложены коренными породами, представленными в основном песчаниками и алевролитами, редко углистыми алевролитами и аргиллитами. Породы относятся к средневзрываемым (аргиллиты, алевролиты и песчаники глинисто-карбонатном цементе, со слабо выраженной трещиноватостью). Коэффициент крепости взрываемых пород (f) – 6-10, объемный вес пород 2,2-2,4 т/м³.

Диаметр опытных взрывных скважин - 250 мм. Длина скважин составляла 10-12 м. Скважины сухие. Сетка бурения 6х6 м. Вместимость 1 пм скважины 42 кг. Схема монтажа взрывной сети – диагональная с клиновым врубом. Удельный расход ВВ -0,59 кг/м³. Выход горной массы с 1 пм скважины составил 30,09 м³/пм. Инициирование осуществлялось при помощи НСИ. Зарядание скважин производилось механизированным способом с использованием смесительно-зарядных машин МСЗ-У-14, ТТТ-15, ТТТ-17, «ANFO-15», ТДР 17/13.

При проведении испытаний контрольная часть блока заряжалась штатным промышленным ВВ – гранулитом АСП, опытная часть блока – гранулитом ИСУ-3У-1, ИСУ-5Р-2 или ИСУ-7П.

На опытном участке блока, расположенном в северной части, при использовании гранулита ИСУ-3У-1 было заряжено 38 скважин, на контрольном участке количество скважин составило 216.

На опытном участке блока, расположенном в центральной части, при использовании гранулита ИСУ-5Р-2 было заряжено 96 скважин, на контрольном участке количество скважин составило 336.

На опытном участке блока, расположенном в южной части, при использовании гранулита ИСУ-7П было заряжено 202 скважин, на контрольном участке количество скважин составило 386.

Для контроля скорости детонации ИСУ-3У-1, ИСУ-5Р-2 проводилось измерение в скважинах с использованием прибора MREL Micro Trap с резистивным датчиком. Результаты измерений: скорость детонации заряда гранулита ИСУ-3У-1 составила 3700 м/с, скорость детонации заряда гранулита ИСУ-5Р-2 составила 4200 м/с.

Изготовление гранулитов ИСУ осуществлялось в соответствии с «Инструкцией по безопасному изготовлению и применению гранулитов ИСУ в СЗМ АО «Разрез Тугнуйский». Изготовление гранулита ИСУ-7П велось СЗМ - IVECO ANFO-15-2ДТ в процессе зарядания

южной части опытного блока. Изготовление гранулитов ИСУ-3У-1 и ИСУ-5Р-2 велось по технологической схеме на «Пункте подготовки (поризованной) аммиачной селитры и приготовления гранулированных ВВ».

В процессе проведения приемочных испытаний были проведены работы по изготовлению и испытанию контрольных образцов гранулитов ИСУ. Отбор проб контрольных образцов исследуемых гранулитов ИСУ был выполнен непосредственно на взрывном блоке 18-#8-8 Никольского месторождения при механизированном зарядании скважин с помощью существующих смесительно-зарядных машин на АО «Разрез Тугнуйский».

Фиксация результатов отбойки производилось на основании анализа: срабатывания скважинных зарядов, изучения формы навала горных пород, фиксирования заброса породы на верхний уступ, изучения качества дробления проводилась с использованием фотометрических и органолептических (визуально) методов. Фотографирование с использованием раздвижных маркшейдерских реек позволило зафиксировать результаты дробления на опытных и контрольных участках. Анализ полученных снимков с использованием разработанной в ИПКОН РАН компьютерной программы «Грансостав 2008» показал следующий гранулометрический состав отбитой горной массы на опытных и контрольных участках.

Измерение в скважинах скорости детонации с использованием прибора MREL Micro Tpar с резистивным датчиком показало: скорость детонации гранулита ИСУ-3У-1 составила 3700 м/с, гранулита ИСУ-5Р-2 составила 4200 м/с.

Разработанные новые взрывчатые вещества «Гранулиты ИСУ» частично допущены Ростехнадзором к постоянному применению на угольных разрезах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации являющейся завершенной научно-исследовательской работой, дано решение научной задачи по обоснованию способа разрушения горных пород промышленными зарядами взрывчатых веществ, с компонентами углеродных отходов горного производства, повышающих стабильность и эффективность их применения.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Разработан расчетный инженерный метод и компьютерная программа определения процентного соотношения компонентов по массе в смесевых простейших взрывчатых веществах, с использованием кислородного баланса каждого компонента, и с достижением нулевого кислородного баланса взрываеваемой смеси.

2. Установлено, что при использовании в качестве горючего в простейших взрывчатых веществах смеси углеродных отходов горного производства можно сформировать множество

смесей с нулевым кислородным балансом, при разном процентном соотношении компонентов в смеси.

3. Разработаны рецептурные составы с угольным порошком, резиновой крошкой, коксовой мелочью (продукция горного предприятия) и отработанным моторным маслом (отходы горного предприятия, подлежащие утилизации), обеспечивающих длительное сохранение стабильности промышленных зарядов и эффективное дробление горных пород.

4. Разработана технология подготовки компонентов из местного сырья и отходов производства, их механизированного смешения и заряжания скважин при дроблении вскрышных горных пород в угольных разрезах.

5. Выполнены полигонные испытания разработанных составов с получением параметров детонации при различных модификациях составов.

6. Выполнены промышленные испытания новых составов с оценкой гранулометрического состава получаемой горной массы.

7. Установлено повышение стабильности промышленных зарядов из разработанных составов и снижении затрат на буровзрывные работы, при качественном дроблении горных пород взрывом.

8. Разработаны рекомендации для горных предприятий по эффективному дроблению горных пород зарядами с компонентами из углеродных отходов производства.

Список работ, опубликованных автором самостоятельно и в соавторстве по теме диссертации:

В журналах, входящих в список ВАК

1. Строгий И.Б. Разработка гранулитов с использованием отходов горного производства. // Взрывное дело 2019, 124/81 С. 98-111.

2. Строгий И.Б. Гранулиты ИСУ: возможности и эффективность. // Взрывное дело. 2019, 124/81 С. 112-126.

3. Строгий И.Б. Предпосылки создания линейки составов ВВ типа АС/ДТ для предприятий открытой добычи СУЭК. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № S45-1. С. 448-452.

4. Мишин Ю.М., Строгий И.Б., Викторов С.Д., Шляпин А.В. Расчетный метод определения доз смесевых взрывчатых веществ. // Взрывное дело. 2018. №119-76. С.78-89.

Прочие издания

5. Анистратов К.Ю., Донченко Т.В., Опанасенко П.И., Строгий И.Б. Анализ рынка буровых станков для открытых горных работ горнодобывающих предприятий России. // Горная промышленность. 2018. №2 (138). С. 84-89.

6. Кулецкий В.Н., Горохов А.В., Строгий И.Б., Степанов А.А., Довженок А.С. Совещание автотранспортников ОАО «СУЭК» А.С. Уголь. 2013. № 12 (1053). С. 14-17.

7. Мануильников А.С., Степанов А.А., Строгий И.Б., Довженок А.С. Повышение эффективности и безопасности функционирования автотранспортных подразделений ОАО «СУЭК». // Уголь. 2014. № 12 (1065). С. 48-49.

8. Строгий И.Б. Методические принципы повышения производительности экскаваторно-автомобильных комплексов в условиях технического перевооружения разрезов СУЭК. // Горная промышленность. 2015. № 3 (121). С. 50.

9. Патент на изобретение 2663037. Состав простейшего ВВ и способ его реализующий. Авторы: С.Д. Викторов, С.Б. Строгий, П.И. Опанасенко и др.

10. Монография. Барон В.Л., Белин В.А., Ганопольский М.И., Строгий И.Б. Определение безопасных расстояний при производстве взрывных работ. // М. Горное дело, 2017. - 176 с. ISBN 978-5-905-450-86-0

11. Монография. Белин В.А., Кутузов Б.Н., Строгий И.Б., Ганопольский М.И., Оверченко М.Н. Технология и безопасность взрывных работ. М. Горное дело, 2016. -423 с. ISBN 978-5-905450-80-8

Подписано в печать с оригинал-макета 10.03.2012 г. Формат 60x84 1/16. Бумага «Мега Сору Office». Печать офсетная. Набор компьютерный. Объем 1,5 п.л. Тираж 100 экз. Заказ № 255.

Издание ИПКОН РАН
111020 г. Москва, Крюковский тупик, д. 4

