

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
НАВОЙСКИЙ ГОРНО - МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ
НАВОЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ**

*На правах рукописи
УДК 622.235 (043.3)*

КАДЫРОВА НИЛУФАР УКТАМОВНА

**Разработка способа снижения пылегазовыделений при ведении
взрывных работ на сложноструктурных месторождениях**

5А 311601 – «Разработка месторождений полезных ископаемых
(открытым способом)»

Диссертация
на соискание академической степени
магистра

Научный руководитель:
к.т.н. Заиров Ш.Ш.

НАВОИ – 2014

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

НАВОИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ

Горный факультет
Кафедра «Горное дело»
2012-2014 учебный год

Магистрантка: Кадырова Н.У.
Научный руководитель: к.т.н. Заиров Ш.Ш.
Специальность: 5А 311601 – «Разработка
месторождений полезных ископаемых
(открытым способом)»

АННОТАЦИЯ МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

Актуальность работы. Основными источниками вредных выбросов при открытой разработке месторождения полезных ископаемых являются буровзрывные, погрузочно-транспортные работы и отвалообразование горных пород. Причем, на долю буровзрывных работ приходится до 40% общей массы загрязняющих веществ, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду. Ежегодно на карьере Мурунтау взрывают до 35 тыс. т. промышленных ВВ с применением скважинных зарядов. При взрыве скважинных зарядов взрывчатых веществ (ВВ) под воздействием детонационной волны вокруг зарядной камеры образуется ударная волна. Под действием ударной волны горная порода, находящаяся вокруг скважины переизмельчается в тонкую пыль, которая через забоечные части скважины выбрасывается в открытую поверхность уступа. Под воздействием продуктов детонации скважинных зарядов ВВ на поверхности уступа образуется ударная воздушная волна под действием которой переизмельченная тонкодисперсионная пыль выбрасывается в атмосферу..

Исследованиями установлено, что в процессе взрывного превращения ВВ с выделением огромного количества тепла образуются ядовитые газообразные продукты. Если учесть, что при взрыве 1 кг ВВ в среднем образуется 850-900 л газообразных продуктов, то примерно 5-10% из них являются ядовитыми. Исследования показывают, что в результате взрывных работ на карьере Мурунтау в атмосферу выбрасывается до 913 т в год ядовитых газов.

В этой связи, разработка методов снижения концентрации пылегазовых выбросов, выделяемых при массовых взрывах на глубоких карьерах, является актуальной научной задачей.

Цель исследования – разработка способа снижения пылегазовыделений при массовых взрывах на сложноструктурных месторождениях, обеспечивающего повышение эффективности пылеподавления и увеличение коэффициента полезного действия энергии ВВ.

Задачи исследования:

- анализ способов снижения пылегазовыделений при ведении взрывных работ на сложноструктурных месторождениях;
- исследование образования ядовитых газов, выделяемых при массовых взрывах на карьерах, и методы снижения их концентрации;
- разработка методик определения скорости детонации зарядов взрывчатых веществ и замера ударной воздушной волны;
- разработка способа снижения пылегазовыделений при массовых взрывах на карьерах;
- разработка способа подавления пылегазового облака при ведении взрывных работах на сложноструктурных месторождениях.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является массовый взрыв. Предмет исследования – способ снижения пылегазовыделений.

Методы исследований. Работа выполнена с применением комплексных методов исследований, включающих научные обобщения и теоретические исследования концентрации ядовитых газов, выделяемых при массовых взрывах на карьерах, а также методов и способов их снижения.

Научная новизна работы заключается в следующем:

– исследованиями установлено, что образование ядовитых газов при производстве массовых взрывов зависит от состава, кислородного баланса и физико-химических свойств ВВ. Повышение плотности ВВ вначале приводит к уменьшению количества ядовитых газов, затем, после достижения определенной плотности, дальнейшее ее увеличение приводит к росту количества выделяющихся ядовитых газов, т.к. увеличение плотности ВВ приводит к снижению полноты его детонации;

– установлено, что физические свойства горных пород влияют на состав продуктов взрыва и особенно на количество ядовитых газов, поглощенных породой и выделяющихся в дальнейшем. Чем выше коэффициент крепости горных пород, тем больше образуется окиси углерода и, как правило, меньше окислов азота.

– исследованиями доказано, что к основным методам, снижающим концентрацию ядовитых газов при массовых взрывах на глубоких карьерах, относятся: производство взрывов в зажатой среде, взрывание высоких уступов, рационализация ассортимента ВВ, минимизация объема взрываемого блока, применение гидрозабойки, гелевой и активно-запирающей забоек, водораспылительных завес, воздушно-механической пены и др.

– получены зависимости, показывающие, что при взрывном рыхлении горного массива в "зажатой" среде объем пылегазового облака уменьшается на 30-35% по сравнению с рыхлением "на подобранный забой", что объясняется существенным уменьшением пылеобразования из-за отсутствия сброса пород в сторону свободной боковой поверхности уступа.

Научная и практическая значимость результатов исследования:

– разработана методика, позволяющая определять скорость детонации зарядов ВВ при массовых взрывах в промышленных условиях.

– установлен оптимальный состав смеси гранулированной аммиачной селитры с дизельным топливом, позволяющего повысить качество дробления горных пород и снижающего пылегазовыделение при взрыве скважинных зарядов ВВ.

– разработана методика замера параметров ударной воздушной волны при взрыве скважинных зарядов ВВ. Для замера параметров ударной воздушной волны в ближней зоне при взрыве скважинных зарядов ВВ в качестве средств замера выбраны пьезоэлектрические, микрофонные и электродинамические датчики.

– разработан способ снижения пылегазовыделений, обеспечивающий повышение эффективности пылеподавления и увеличение коэффициента полезного действия энергии ВВ при массовых взрывах на карьерах. Интенсификация процесса осаждения пыли над местом взрыва и уменьшение удельного расхода взрывчатых веществ позволяет уменьшить загрязнение окружающей карьер территории, что благоприятно отражается на экологической обстановке в регионе производства горных работ.

– разработан способ, включающий продолжительную обработку пылегазового облака водяным паром во время и после взрыва, позволяющий повысить эффективность пылеподавления. Максимального снижения запыленности воздуха в пределах зоны взрывных работ можно достигнуть долговременным увлажнением атмосферы с использованием пара, при этом используемые средства борьбы с пылью являются экономичными, маневренными и годными к эксплуатации при различных температурных интервалах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из аннотации, введения, четырех глав и заключения, изложенных на 98 страницах, включая 8 рисунков, 11 таблиц и 51 наименований использованной литературы.

Основные результаты выполненной работы, выводы и рекомендации. В магистерской диссертации приведены теоретические и экспериментальные исследования концентрации ядовитых газов, выделяемых при массовых взрывах на карьерах, а также методы и способы их снижения.

Разработанные методика определения скорости детонации зарядов взрывчатых веществ и замера ударной воздушной волны, а также способ снижения пылегазовыделений и способ подавления пылегазового облака при ведении взрывных работах подготовлены к внедрению на карьере Мурунтау и рекомендуются к применению на аналогичных сложноструктурных месторождениях.

Научный руководитель

к.т.н. Заиров Ш.Ш.

Магистрантка

Кадырова Н.У.

**MINISTRY OF THE HIGHER AND SECONDARY VOCATIONAL EDUCATION OF
THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN**

NAVOI STATE MINING INSTITUTE

Mountain faculty
Mining chair
2012-2014 academic year

Undergraduate: Kadyrova N.U.
Research supervisor: Cand.Tech.Sci. Zairov Sh. Sh.
Specialty: 5A 311601 – "Development of mineral
deposits (in the open way)"

SUMMARY OF THE MASTER THESIS

Relevance of work. The main sources of harmful emissions at open-cast mining of a mineral deposit are drilling-and-blasting, loading and transport works and an formation of dumps of rocks. And, to the share of drilling-and-blasting works falls to 40% of lump of the polluting substances making negative impact on environment. Annually on Muruntau's career blow up to 35 thousand tons. industrial explosives with application of borehole charges. At explosion of borehole charges of explosives under the influence of a detonation wave round the charging camera the shock wave is formed. Under the influence of a shock wave the rock which is round a well overgrinding in a fine dust which through stemming parts of a well jumps out an open surface of a ledge. Under the influence of products of a detonation of borehole charges of explosives on a surface of a ledge the shock air wave under the influence of which the recrushed tonkodispersion dust is released into the atmosphere is formed.

By researches it is established that in the course of explosive transformation of explosives with allocation of a huge number of heat poisonous gaseous products are formed. If to consider that at explosion of 1 kg of explosives 850-900 l of gaseous products are on the average formed, about 5-10% from them are poisonous. Researches show that as a result of explosive works on Muruntau's career into the atmosphere is released to 913 t in a year of poisonous gases.

In this regard, development of methods of decrease in concentration the dust and gas of the emissions allocated at mass explosions on deep pits, is an actual scientific task.

Research objective – development of a way of decrease in dust and gas at mass explosions on the difficult structure the fields, providing increase of efficiency of dust suppression and increase in efficiency of energy of explosives.

Research problems:

- the analysis of ways of decrease in dust and gas allocation when conducting explosive works on the difficult structure fields;
- research of formation of the poisonous gases emitted at mass explosions on pits, and methods of decrease in their concentration;
- development of techniques of determination of speed of a detonation of charges of explosives and measurement of a shock air wave;
- development of a way of decrease in dust and gas allocation at mass explosions on pits;
- development of a way of suppression of a dust and gas cloud when maintaining explosive works on the difficult structure fields.

Object and subject of research. Object of research is mass explosion. Subject of research – a way of decrease in dust and gas allocation.

Methods of researches. Work is performed with application of complex methods of the researches including scientific generalizations and theoretical researches of concentration of poisonous gases, allocated at mass explosions on pits, and also methods and ways of their decrease.

Scientific novelty of work consists in the following:

– by researches it is established that formation of poisonous gases by production of mass explosions depends on structure, oxygen balance and the Centuries physical and chemical properties. Increase of density of explosives leads in the beginning to reduction of amount of poisonous gases, then, after achievement of a certain density, its further increase leads to growth of amount of being allocated poisonous gases since the increase in density of explosives leads to decrease in completeness of its detonation;

– it is established that physical properties of rocks influence structure of products of explosion and especially amount of the poisonous gases which are absorbed by breed and being allocated further. The there is higher than a coefficient of fortress of rocks, the it is more it is formed than an oxide of carbon and, as a rule, less oxides of nitrogen.

– by researches it is proved that to the main methods reducing concentration of poisonous gases at mass explosions on deep pits, belong: production of explosions in the clamped environment, detonation of high ledges, rationalization of the range of explosives, minimization of volume of the blown-up block, application of a gidro stemming, gel and active locking stemming, the water-spray veils, air and mechanical foam, etc.

– the dependences showing are received that at explosive loosening of a massif in the "clamped" environment the volume of a dust and gas cloud decreases by 30-35% in comparison with loosening "on the picked-up face" that is explained by an essential reduction of dust formation due to the lack of dumping of breeds towards a free lateral surface of a ledge.

Scientific and practical importance of results of research:

– the technique, allowing to determine the speed of a detonation of charges of explosives at mass explosions in industrial conditions is developed.

– the optimum composition of mix of the granulated ammonium nitrate with the diesel fuel, allowing to increase quality of crushing of rocks and reducing dust and gas allocation at explosion of borehole charges of Centuries is established.

– the technique of measurement of parameters of a shock air wave is developed at explosion of borehole charges of Centuries. For measurement of parameters of a shock air wave in a near zone at explosion of borehole charges of explosives as means of measurement piezoelectric, microphone and electrodynamic sensors are chosen.

– the way of decrease in the dust and gas allocation, providing increase of efficiency of dust suppression and increase in efficiency of energy of explosives is developed at mass explosions on pits. The intensification of process of sedimentation of a dust over a place of explosion and reduction of a specific consumption of explosives allows to reduce pollution of the territory surrounding a pit that is favorably reflected in an ecological situation in the region of production of mining operations.

– the way including long processing of a dust and gas cloud by water vapor in time and after explosion, allowing to increase efficiency of dust suppression is developed. The maximum decrease in a dust content of air within a zone of explosive works can be reached long-term moistening of the atmosphere with steam use, thus used means of fight against a dust are economic, maneuverable and suitable for operation at various temperature intervals.

Structure and thesis volume. The thesis consists of the summary, the introduction, four heads and the conclusion stated on 98 pages, including 8 drawings, 11 tables and 51 names of the used literature.

The main results of the performed work, conclusions and recommendations. Theoretical and pilot studies of concentration of the poisonous gases emitted at mass explosions on pits, and also methods and ways of their decrease are given in the master thesis.

The determination of speed of a detonation of charges of explosives developed a technique and measurement of a shock air wave, and also a way of decrease in dust and gas allocation and a way of suppression of a dust and gas cloud when maintaining explosive

works is prepared for introduction on Muruntau's career and is recommended for application on fields similar the difficult structure.

Research supervisor

Cand.Tech.Sci. Zairov Sh. Sh.

Undergraduate

Kadyrova N.U.

О Г Л А В Л Е Н И Е

ВВЕДЕНИЕ.....	11
1. АНАЛИЗ СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ ПЫЛЕГАЗОВЫДЕЛЕНИЙ ПРИ ВЕДЕНИИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ.....	16
1.1. Исследование токсичности взрывчатых веществ и продуктов взрыва	16
1.2. Анализ способов подавления пылегазовых выбросов при массовых взрывах на карьерах.....	21
1.3. Исследование влияния забойки скважинных зарядов ВВ на эффективность взрывного разрушения на карьерах.....	33
Основные выводы	38
2. ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ЯДОВИТЫХ ГАЗОВ, ВЫДЕЛЯЕМЫХ ПРИ МАССОВЫХ ВЗРЫВАХ НА КАРЬЕРАХ, И МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ИХ КОНЦЕНТРАЦИИ	41
2.1. Исследование предельно допустимой концентрации ядовитых газов, выделяемых при массовых взрывах	41
2.2. Исследование влияния состава и физико-химических свойств ВВ на образование ядовитых газов.....	43
2.3. Исследование влияния физико-механических свойств горных пород на образование ядовитых газов.....	46
2.4. Методы снижения концентрации ядовитых газов, выделяемых... при массовых взрывах на глубоких карьерах.....	47

2.5. Методы снижения концентрации пылегазовых выбросов, выделяемых при массовых взрывах на глубоких карьерах	49
2.5.1. Метод уменьшения пылегазовых выбросов на глубоких карьерах рационализацией ассортимента ВВ	50
2.5.2. Метод уменьшения пылегазовых выбросов на глубоких карьерах минимизацией объема взрываемого блока	53
2.5.3. Метод уменьшения пылегазовых выбросов на глубоких карьерах рыхлением пород в зажатой среде	56
2.5.4. Метод уменьшения пылегазовых выбросов на глубоких карьерах на основе применения различной конструкции забоек ..	58
 Основные выводы	 62
 3. РАЗРАБОТКА МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ДЕТОНАЦИИ ЗАРЯДОВ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ И ЗАМЕРА УДАРНОЙ ВОЗДУШНОЙ ВОЛНЫ	 65
3.1. Разработка методики замера скорости детонации в скважинных зарядах ВВ	65
3.2. Разработка методики замера параметров ударной воздушной волны при взрыве скважинных зарядов ВВ	70
3.3. Условия проведения экспериментов и определение их числа	75
 Основные выводы	 77
 4. РАЗРАБОТКА СПОСОБА СНИЖЕНИЯ ПЫЛЕГАЗО-ВЫДЕЛЕНИЙ ПРИ ВЕДЕНИИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ.....	 78

4.1. Разработка способа снижения пылегазовыделений при массовых взрывах на карьерах	78
4.2. Разработка способа подавления пылегазового облака при ведении взрывных работах на сложноструктурных месторождениях	84
Основные выводы	90
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	91
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	94

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Основными источниками вредных выбросов при открытой разработке месторождения полезных ископаемых являются буровзрывные, погрузочно-транспортные работы и отвалообразование горных пород. Причем, на долю буровзрывных работ приходится до 40% общей массы загрязняющих веществ, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду. Ежегодно на карьере Мурунтау взрывают до 35 тыс. т. промышленных взрывчатых веществ (ВВ) с применением скважинных зарядов. При взрыве скважинных зарядов ВВ под воздействием детонационной волны вокруг зарядной камеры образуется ударная волна. Под действием ударной волны горная порода, находящаяся вокруг скважины переизмельчается в тонкую пыль, которая через забоечные части скважины выбрасывается в открытую поверхность уступа. Под воздействием продуктов детонации скважинных зарядов ВВ на поверхности уступа образуется ударная воздушная волна под действием которой переизмельченная тонкодисперсионная пыль выбрасывается в атмосферу..

Исследованиями установлено, что в процессе взрывного превращения ВВ с выделением огромного количества тепла образуются ядовитые газообразные продукты. Если учесть, что при взрыве 1 кг ВВ в среднем образуется 850-900 л газообразных продуктов, то примерно 5-10% из них являются ядовитыми. Исследования показывают, что в результате взрывных работ на карьере Мурунтау в атмосферу выбрасывается до 913 т в год ядовитых газов.

В этой связи, разработка методов снижения концентрации пылегазовых выбросов, выделяемых при массовых взрывах на глубоких карьерах, является актуальной научной задачей.

Степень изученности проблемы. Основными источниками образования пыли и газа в карьере являются буровзрывные работы (до

35%), погрузочно-транспортные операции и пыль, осевшая на карьерных площадях. Выделение токсичных газов вызвано проведением массовых взрывов в карьере (до 60%) и работой технологического автотранспорта при перевозках взорванной горной массы на отвалы, дробильно-перегрузочные пункты, а также на рудные склады различного назначения.

Интенсивность пылегазообразования при ведении буровзрывных работ на карьере зависит от многих факторов, к основным из которых следует отнести физико-механические свойства горных пород и их обводненность, способы бурения взрывных скважин, ассортимент применяемых ВВ, типы используемых забоечных материалов, методы взрывания (на подобранный откос уступа или в зажатой среде), время производства массового взрыва, метеоусловия на момент массового взрыва и др.

Мощные выбросы пыли происходят при массовых взрывах (100-250 т). Пылевое облако при массовом взрыве выбрасывается на высоту 150-300 м, в своем развитии оно может достигать высоты 16 км и распространяться по направлению ветра на значительные расстояния (10-14 км).

Выход из сложившегося положения необходимо искать путем разработки на горнодобывающем и перерабатывающем предприятии новых способов пылеподавления, так как по количеству выбрасываемых веществ в окружающую среду пыль является основным загрязнителем, наряду с оксидом углерода.

Цель исследования – разработка способа снижения пылегазовыделений при массовых взрывах на сложноструктурных месторождениях, обеспечивающего повышение эффективности пылеподавления и увеличение коэффициента полезного действия энергии ВВ.

Задачи исследования:

– анализ способов снижения пылегазовыделений при ведении взрывных работ на сложноструктурных месторождениях;

- исследование образования ядовитых газов, выделяемых при массовых взрывах на карьерах, и методы снижения их концентрации;
- разработка методик определения скорости детонации зарядов взрывчатых веществ и замера ударной воздушной волны;
- разработка способа снижения пылегазовыделений при массовых взрывах на карьерах;
- разработка способа подавления пылегазового облака при ведении взрывных работ на сложноструктурных месторождениях.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является массовый взрыв. Предмет исследования – способ снижения пылегазовыделений.

Методы исследований. Работа выполнена с применением комплексных методов исследований, включающих научные обобщения и теоретические исследования концентрации ядовитых газов, выделяемых при массовых взрывах на карьерах, а также методов и способов их снижения.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- исследованиями установлено, что образование ядовитых газов при производстве массовых взрывов зависит от состава, кислородного баланса и физико-химических свойств ВВ. Повышение плотности ВВ вначале приводит к уменьшению количества ядовитых газов, затем, после достижения определенной плотности, дальнейшее ее увеличение приводит к росту количества выделяющихся ядовитых газов, т.к. увеличение плотности ВВ приводит к снижению полноты его детонации;
- установлено, что физические свойства горных пород влияют на состав продуктов взрыва и особенно на количество ядовитых газов, поглощенных породой и выделяющихся в дальнейшем. Чем выше коэффициент крепости горных пород, тем больше образуется окиси углерода и, как правило, меньше окислов азота.
- исследованиями доказано, что к основным методам, снижающим концентрацию ядовитых газов при массовых взрывах на глубоких

карьерах, относятся: производство взрывов в зажатой среде, взрывание высоких уступов, рационализация ассортимента ВВ, минимизация объема взрываемого блока, применение гидрозабойки, гелевой и активно-запирающей забоек, водораспылительных завес, воздушно-механической пены и др.

– получены зависимости, показывающие, что при взрывном рыхлении горного массива в "зажатой" среде объем пылегазового облака уменьшается на 30-35% по сравнению с рыхлением "на подобранный забой", что объясняется существенным уменьшением пылеобразования из-за отсутствия сброса пород в сторону свободной боковой поверхности уступа.

Научная и практическая значимость результатов исследования:

– разработана методика, позволяющая определять скорость детонации зарядов ВВ при массовых взрывах в промышленных условиях.

– установлен оптимальный состав смеси гранулированной аммиачной селитры с дизельным топливом, позволяющего повысить качество дробления горных пород и снижающего пылегазовыделение при взрыве скважинных зарядов ВВ.

– разработана методика замера параметров ударной воздушной волны при взрыве скважинных зарядов ВВ. Для замера параметров ударной воздушной волны в ближней зоне при взрыве скважинных зарядов ВВ в качестве средств замера выбраны пьезоэлектрические, микрофонные и электродинамические датчики.

– разработан способ снижения пылегазовыделений, обеспечивающий повышение эффективности пылеподавления и увеличение коэффициента полезного действия энергии ВВ при массовых взрывах на карьерах. Интенсификация процесса осаждения пыли над местом взрыва и уменьшение удельного расхода взрывчатых веществ позволяет уменьшить загрязнение окружающей карьер территории, что благоприятно отражается на экологической обстановке в регионе производства горных работ.

– разработан способ, включающий продолжительную обработку пылегазового облака водяным паром во время и после взрыва, позволяющий повысить эффективность пылеподавления. Максимального снижения запыленности воздуха в пределах зоны взрывных работ можно достичь долговременным увлажнением атмосферы с использованием пара, при этом используемые средства борьбы с пылью являются экономичными, маневренными и годными к эксплуатации при различных температурных интервалах.

Апробация работы. Результаты исследований докладывались автором на VI Международной научно-технической конференции на тему: «Современные техника и технологии горно-металлургической отрасли и пути их развития» (г. Навои, 14-16 мая 2013 г.), на научно-технической конференции одаренных студентов и магистрантов на тему: «Фан ва техника тараққиётида ёшлар» (г. Навои, 16 мая 2013 гг.), республиканской научно-практической конференции на тему: «Современные проблемы рационального недропользования» (г. Ташкент, 26 сентября 2013 г.) и региональной научно-практической конференции студентов и молодых ученых на тему: «XXI век – век интеллектуального поколения» (г. Навои, 13-14 июня 2014 г.).

Опубликованность результатов. Основные результаты работы изложены в 5 печатных работах, в том числе 3 статьях и 2 тезисах в ведущих изданиях Республики Узбекистан.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из аннотации, введения, четырех глав и заключения, изложенных на 98 страницах, включая 8 рисунков, 11 таблиц и 51 наименований использованной литературы.

Автор выражает глубокую благодарность и искреннюю признательность научному руководителю – старшему научному сотруднику-соискателю Навоийского государственного горного института, кандидату технических наук Заирову Шерзоду Шариповичу за полезные консультации и поддержку на разных этапах выполненной работы.

1. АНАЛИЗ СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ ПЫЛЕГАЗОВЫДЕЛЕНИЙ ПРИ ВЕДЕНИИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

1.1. Исследование токсичности взрывчатых веществ и продуктов взрыва

Важной мерой промышленной санитарии при буровзрывных работах является защита людей от токсического действия ВВ и продуктов их взрыва. Контакт с ВВ и их компонентами, как и с многими другими химическими соединениями, при отсутствии защитных мер оказывает вредное воздействие на организм человека. При кратковременном их воздействии симптомы отравления могут приходиться головокружения, головных болях, тошноте, при длительном воздействии малых концентраций – развиваются хронические заболевания печени, легких и других органов. В большинстве случаев вредное вещество попадает в организм в виде пыли или паров через дыхательные пути, реже через пищеварительный тракт или кожные покровы. О сравнительной токсичности различных ВВ судят по величине предельно допустимой концентрации ПДК их паров или пыли в воздухе значения которых для некоторых компонентов промышленных ВВ и продуктов взрыва приведены в табл. 1.1.

Опасность отравления пылью и парами ВВ возрастает при выполнении операций с непатронированными ВВ и особенно при механизированных способах их растаривания, транспортирования и заряжания.

Помимо пыли и паров ВВ вредное действие на человека оказывают некоторые продукты взрыва – окислы азота, окись углерода, сернистые соединения и др. Первоначально образующаяся бесцветная окись азота NO , соединяясь с кислородом воздуха, переходит в двуокись NO_2 ,

окрашенную в бурый цвет, которая легко адсорбируется разрыхленной горной массой, а в процессе погрузочных работ выделяется из нее. Она медленно действует на организм (скрытый период 4-6 ч), вызывая отек легких.

Таблица 1.1

Вещество	ПДК, мг/м ³	Вещество	ПДК, мг/м ³
Тротил	1	Окислы азота	5
Нитроглицерин	5	Окись углерода	20-30
Гексоген	1	Сероводород	10-15
Алюминий	2	Пары ртути	0,01
Индустриальные масла в парах	10	Пары свинца	10
в тумане	300		

Окись углерода (угарный газ) – бесцветный газ, несколько легче воздуха, плохо растворимый в воде. Легко адсорбируется разрыхленной породой. При непродолжительном вдыхании вызывает головные боли, тошноту, сонливость. При длительном вдыхании или вдыхании большой дозы наступает потеря сознания, удушье. Первая помощь при отравлении угарным газом – вынос пострадавшего на свежий воздух и искусственное дыхание.

Ядовитые газы в больших или меньших количествах образуются при взрыве всех промышленных ВВ. Как показано в работах [3-7], их количество зависит от химического состава ВВ, его детонационной способности и других факторов, определяющих полноту химической реакции при взрывчатом превращении. Определенное влияние могут оказывать химические, физико-механические и теплофизические свойства взрывааемых горных пород. Состав продуктов взрыва в сильной степени зависит от кислородного баланса ВВ. Аммиачно-селитренные ВВ с положительным кислородным балансом образуют при взрыве окислы азота, причем их количество возрастает с увеличением избытка кислорода в составе ВВ. При отрицательном балансе образуется токсичная окись углерода и в тем большем количестве, чем меньше кислородный баланс

ВВ. Опытные данные по составу продуктов взрыва ВВ с различным кислородным балансом, определенные в лабораторных и производственных условиях, приведены соответственно в табл. 1.2 и 1.3.

Таблица 1.2

Состав ВВ, %		Кислородный баланс, %	Содержание газов в ПВ, %						
Аммиачная селитра	Тротил		CO ₂	CO	NO	H ₂	CH ₄	N ₂	O ₂
95	5	+18	16,6	4,55	-	0,55	1,2	76,1	1
88	12	+8,7	27,9	4,9	3,2	0,5	1,6	61,9	-
83	17	+4	32,1	5,3	2,4	1,7	1,6	57	-
79	21	+0,3	32,3	5,7	2,7	1,9	1,8	55,6	-
70	30	-8,2	26,6	13,9	0,7	2,3	2,2	54,4	-

Примечание. Определялся состав осушенных ПВ, т.е без паров воды.

Таблица 1.3

Состав ВВ, %			Кислородный баланс, %	Количество ядовитых газов, л/кг		
тротил	Аммиачная селитра	Калиевая селитра		CO	Окислы азота	Сумма в пересчете на CO
37,6	62,4	-	-15,3	125	2,7	142,6
22	78	-	-0,7	30,4	5,5	66
17,6	82,4	-	+3,5	20	13,3	106,5
17,6	62,4	20	+7,4	16,6	5,3	51,1

Примечание. В связи с более высокой токсичностью окислов азота при расчете суммарного количества окислов азота умножается на переводной коэффициент 6,5.

При взрывании в лабораторных условиях в вакуумированном сосуде (бомбе Бихеля) образуется бесцветная моноокись азота (NO), которая при контакте с воздухом переходит в окрашенные окислы: азотистый ангидрид, двуокись азота, четырехокись азота (N₂O₂, NO₂, N₂O₄).

В шахтных условиях образуются одновременно примерно в равных количествах NO₂ и NO. Последняя в течение долгого времени может сохраняться в разрыхленной породе и лишь постепенно переходит в двуокись. Двуокись азота растворяется в воде и поэтому ее концентрация в атмосфере важных забоев быстро падает.

В связи сильным влиянием кислородного баланса на образований ядовитых газов при взрыве в подземных условиях применяют ВВ с кислородным балансом, близким к нулевому.

В ряде работ [9-11] изучалось влияние горючей оболочки патронов на образование ядовитых газов, так как предполагалось их взаимодействие при взрыве с ПВ. Обнаружено, что степень такого взаимодействия зависит от кислородного баланса ВВ и температуры взрыва. С увеличением этих параметров доля сгоревшей оболочки возрастает и соответственно увеличивается образование окиси углерода. Для ВВ с нулевым кислородным балансом влияние оболочки патронов невелико. Так, по опытным данным увеличение массы парафинового покрытия на патронах аммонита № 6 с 2,3 до 4,6 г на 100 г ВВ привело к увеличению содержания СО в продуктах взрыва: от 30,1 до 34,1 л на 1 кг ВВ. Тем не менее ГОСТами на патронированные ВВ ограничивается масса бумаги до 2 г и масса гидроизолирующего покрытия на патронах до 2,5 г на 100 г ВВ.

Таким образом, одной из причин образования токсичных газов - окиси углерода и окислов азота является избыток или недостаток кислорода в составе ВВ. Однако и ВВ с близким к нулевому кислородным балансом образуют при взрыве некоторое количество ядовитых газов. Так, хорошо изготовленный аммонит № 6ЖВ в патронах диаметром 32–36 мм образует при взрыве около 30 л/кг окиси углерода и до 5 л/кг окислов азота. Наличие этих газов о продуктах взрыва ВВ с нулевым кислородным балансом является следствием закалки ложного равновесия газов, не отвечающего температуре охлажденных ПВ. Окислы азота, первоначально образовавшиеся при взрывном разложении селитры, и окись углерода, образовавшиеся при разложении тротила или других нитросоединений, при быстром охлаждении ПВ не успевают полностью прореагировать между собой с образованием нетоксичной двуокиси углерода. Часть их остается в первоначальном виде.

Описанный механизм образования ядовитых газов позволяет объяснить зависимость этого процесса от качества изготовления смесового ВВ, диаметра патронов, величины инициирующего импульса, дисперсности ВВ и других факторов, влияющих на полноту химических реакций при взрыве, а также зависимость образования продуктов взрыва от свойств взрываемых горных пород. Так, по данным Б.Я. Светлова в лабораторных условиях крупнодисперсный аммонит № 6 (размер частиц 0,2–0,5 мм) образовывал почти в 5 раз больше окислов азота, чем тонкодисперсный (размер частиц меньше 0,2 мм). Им же установлено, что некоторые вещества способны снижать образование ядовитых газов при взрыва ВВ, каталитически воздействуя на вторичные реакции в ПВ с участием окислов азота. К таким веществам, в частности, относятся соли или окислы щелочных металлов. В табл. 5.10 показано, (состав, содержащий нитрат калия, несмотря на положительный кислородный баланс образовывал окислов азота значительно меньше, чем состав без калиевой соли. Полагают, что одной причин уменьшенного образования ядовитых газов при взрыва предохранительных ВВ является наличие в их составе в качестве пламегасителей хлоридов натрия или калия. Эти ВВ в производственных условиях выделяют при взрыве обычно 10–30 л/кг окиси углерода и около 2 л/кг окислов азота.

Свойства горных пород могут влиять на конечный состав ПВ в результате химического воздействия вещества породы на продукты реакции, связывания или растворения их (грунтовыми водами) физического воздействия на процесс охлаждения газов и соответственно, закалку, и установление ложного равновесия в охлажденных газах. В этой связи Б. Д. Росси предложил классифицировать горные породы по признаку их влияния на образование ядовитым газов при взрыве ВВ. К группе I отнесены апатиты, нефелины, калийные руды, молибденовые руды, некоторые медные и полиметаллические руды, при взрывании в которых аммонита № 6ЖВ количество ядовитых газов в пересчете на

условную окись углерода (для окислов азота переводной коэффициент равен 6,5) составляет менее 40 л на 1 кг ВВ. К группе II отнесены угли и вмещающие породы, свинцово-цинковые, маргитовые железные и золотоносные руды, в которых аммонит № 6ЖВ образует при взрыве 40-100 л/кг ядовитых газов. К группе III отнесены джеспилитовые железные руды, в которых образуется более 100 л/кг ядовитых газов.

В связи с сильным влиянием свойств горных пород на образование ядовитых газов при взрывах нет единой нормы по этому I показателю для различных ВВ, но соблюдается правило, что в одинаковых условиях взрывания каждое новое ВВ, предназначенное I для работ в подземных условиях, должно выделять при взрыве I ядовитых газов в расчете на 1 кг не больше, чем аммонит № 6ЖВ, принятый за эталон.

1.2. Анализ способов подавления пылегазовых выбросов при массовых взрывах на карьерах

Сокращение пылегазовыделения при массовых взрывах осуществляется за счет технологических, организационных и инженерно-технических мероприятий [15, 16, 21].

Технологические мероприятия включают: взрывание высоких уступов (от 30 м и более), что способствует уменьшению в 1,25 раза высоты пылегазового облака и уменьшению образования оксидов азота; замену тротила на ВВ с нулевым или близким к нему кислородным балансом (граммонит 79/21, игданит и др.), что будет способствовать уменьшению (до 2–9 раз) количества образующихся вредных газов при взрывах в любых горнотехнических условиях (так экспериментальными замерами установлено, что при взрывании бестротилового ЭВВ происходит значительное уменьшение загрязнения окружающей среды, чем при взрывании промышленных тротилсодержащих ВВ (при взрыве 1 кг гранулолола в атмосферу карьера выделяется 240 л, 1 кг граммонита - 140

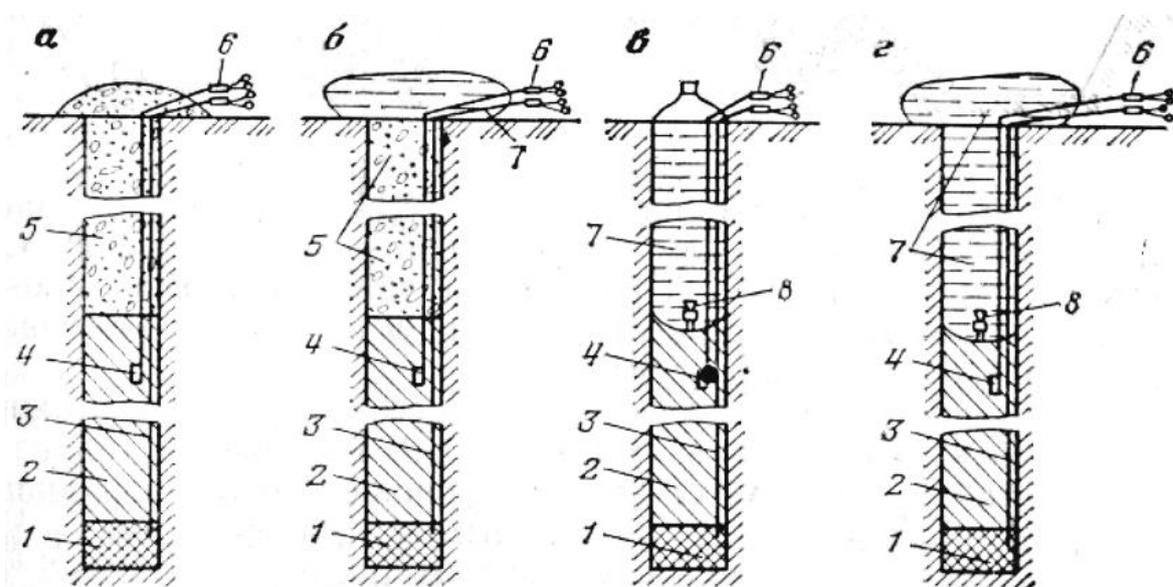
л, 1 кг ЭВВ – 50 л ядовитых газов в пересчете на условную окись углерода)); взрывание на неубранную горную массу, т.е. на подпорную стенку из ранее разрушенной горной массы.

Ширина подпорной стенки должна быть не менее 20 м. При ширине подпорной стенки до 20–30 м резко сокращается или вообще не образуется вторичное пылегазовое облако (отсутствие пылевыведения со стороны развала) и на 2–3 ч после взрыва на нижней отметке взорванного уступа сокращается время снижения концентрации СО до предельно допустимого уровня; использование в качестве ВВ в обводненных скважинах граммонита 79/21 с предварительной откачкой воды или применением специальных загустителей, что способствует уменьшению количества образующихся вредных газов.

Организационные мероприятия включают: перенесение времени взрыва на период максимальной ветровой активности (например, для карьеров Кривбасса это 12–13 ч), что способствует сокращению времени проветривания карьеров на 15–20 %; использование забоечного материала с минимальным удельным пылеобразованием (например, замена шламов хвостохранилищ, буровой мелочи и т. п. на мелкую щебенку или песчано-глинистую забойку, что способствует сокращению пылевыведения); организация систематического контроля состава атмосферы карьеров и участков взорванных блоков после массовых взрывов в соответствии с «Едиными правилами ведения взрывных работ», что позволит избежать преждевременное попадание людей в карьер и их отравление.

Инженерно-технические мероприятия включают: орошение зоны выпадания пыли из пылегазового облака водой или пылесмачивающими добавками из расчета 10 л воды на 1 м² площади орошения. Зону орошения рекомендуется устраивать на расстоянии 50–60 м от границы взрываемого блока. Более точно расстояние от границы взрываемого блока (м), на котором выделяется пыль за счет взметывания ударной волной, находится расчетным способом. Мокрые способы борьбы с пылью делятся на

способы предупреждения подъема пыли в воздух, образующейся при разрушении, погрузке и транспортировании горной породы (предварительное увлажнение массива и отторгнутой горной породы, орошение и смачивание в момент ее разрушения и др.); обеспыливания воздуха или подавления взвешенной пыли распыленной водой (орошение, водяные завесы и др.) и предотвращения повторного поступления в воздух осевших пылевых частиц (орошение и связывание осевшей пыли). Мокрые способы борьбы с пылью составляет основу комплекса обеспыливающих мероприятий в шахтах, рудниках и карьерах. Гидрообеспыливание для сокращения выделения и рассеивания вредных примесей осуществляется с помощью гидрозабойки скважин – внешней, внутренней и комбинированной (рис. 1.1).



а – песчано-глинистая; б – внешняя; в – внутренняя; г – комбинированная;
 1 – оживитель; 2 – заряд ВВ; 3 – ДШ; 4 – патрон-боевик; 5 – инертная забойка; 6 – КЗДШ; 7 – водяная забойка; 8 – компенсатор

Рис. 1.1. Конструкция гидрозабойки скважин на карьерах

Гидрозабойка выполняется с использованием полиэтиленовых емкостей, наполненных водой. Внешняя забойка представляет собой полиэтиленовый рукав диаметром около 1 м и более, который размещается

но рядам скважин. Длина рукавов диктуется состоянием поверхности заряженного блока и контуром взрываемых скважин. Наполнение рукава водой осуществляется с помощью поливочной машины, оборудованной гидронасосом. Внутренняя гидрозабойка – это полиэтиленовый рукав с диаметром, на 15 мм большим, чем диаметр скважины, и длиной на всю ее неактивную часть. Толщина полиэтиленовой пленки не менее 0,2 мм. При большой трещиноватости пород следует применять двойной рукав. Комбинированная гидрозабойка – сочетание двух первых. Эффективность гидрообеспыливания при взрыве заряда массой до 300 кг; с помощью внешней гидрозабойки – 53% (удельный расход воды 1,38 кг/м³ горной массы), внутренней – 84,7% (удельный расход воды 0,78 кг/м³), комбинированной – 89,4% (удельный расход воды 1,04 кг/м³). При взрыве зарядов массой 450–620 кг эффективность внутренней гидрозабойки составляет 50,4% (расход воды 0,46 кг/м³). Сокращение пылевыведения в процессе взрыва возможно также за счет применения гидрогеля для внутренней гидрозабойки скважин (рекомендации Криворожского горнорудного института). Гидрогель включает: аммиачную селитру – 4%, жидкое стекло – 8%; синтетические жирные кислоты – 2%, воду – 86%. Для получения гидрогеля используется специальная установка. Эффективность гидрогелевой забойки при ее высоте 2–4 м достигает 34–54%.

Снижение пылевыведения при отрицательных температурах в процессе взрыва возможно за счет нанесения слоя искусственного снега на взрываемый блок и прилегающую территорию с расходом 8–13 кг/м² поверхности. Это мероприятие позволяет в 3–5 раз снизить поступление пыли в атмосферу. В качестве внутренней гидрозабойки скважин в период отрицательных температур можно использовать снежно-ледяную забойку. Она включает в себя зарядку неактивной части скважины искусственным снегом с оставлением 1 м для инертной забойки. Верхняя часть скважины заливается водой из расчета 20 л при температуре воздуха – 4–8°C. Забойка

в верхней части смерзается и примерзает к стенкам скважины. Пылевыведение сокращается в 5–6 раз. Подавление пыли, выделившейся в атмосферу карьера с пылегазовым облаком, можно осуществить с помощью гидрозавес, создаваемых вентиляторами-оросителями НК-12КВ. Эффективность пылеподавления при использовании последних достигает 70–80%.

Этот способ заключается в том, что в воздушную струю, создаваемую установками искусственного проветривания, вводится вода, которая воздушным потоком разбивается на мелкие капли. При этом создается как бы объемный фильтр, в котором мелкие капли воды, соударяясь с витающими в воздухе пылинками, утяжеляют последние и падают вместе с ними на взорванную горную массу или площадки и откосы карьера.

Кроме очистки воздуха от витающей пыли в выработанном пространстве использование воздушно-водяных струй позволяет равномерно разбрызгивать воду или растворы поверхностно-смачивающих добавок на значительные площади, подлежащие орошению. Воздушно-водяные струи могут быть созданы с помощью реактивных двигателей и оросительно-вентиляционных установок ОВ-1, ОВ-2, ОВ-3 и др. Воздушно-водяная струя, создаваемая установками типа ОВ, способна оросить одновременно около 8 тыс. м², а с одной позиции 60–62 тыс. м² поверхности.

Наряду с орошением осуществляется местное искусственное проветривание участков, прилегающих к взорванному блоку, что позволяет помимо пыли снизить концентрацию вредных газов, скопившихся в застойных зонах.

Сокращение времени проветривания взорванных блоков возможно при интенсификации процесса газовыделения из развала горной массы. Для этого следует осуществить полив горной массы через 1–2 ч после взрыва с расходом 50 л/м³ (кроме руд и пород с примесью глинистых

частиц). Полив горной массы позволяет интенсифицировать процесс газовой выделения на 25–40%.

Как показали результаты исследований [11, 12] в условиях взрывного полигона, с увеличением коэффициента крепости пород по шкале М.М. Протодяконова возрастает объем выделившейся при взрыве пыли. Так, если при взрывании горных пород с коэффициентом крепости $f=6-8$ образуется до $0,04 \text{ кг/м}^3$ пыли, то при взрывании пород с $f=12-14$ выделяется до $0,22 \text{ кг/м}^3$ пылеобразных частиц (размер фракции + 1 мм). Это положение может быть объяснено увеличением размеров зоны пластических деформаций в крепких породах, ввиду более высоких затрат энергии взрыва на их разрушение, что повышает объем выхода переизмельченных фракций. В то же время, взрывание обводненных горных пород той же крепости, приводит к снижению объема выхода указанных фракций в 1,3-2,7 раза, что связано с процессом коагуляции (связывания) образовавшихся при взрыве паров и мельчайших частиц воды, с пылевидными фракциями горных пород. Экспериментальными замерами установлено, что концентрация пылевидных частиц в момент массового взрыва изменяется во времени следующим образом: в начальный момент взрыва на карьере достигает значений - 2500 мг/м^3 , через 30 мин - 850 мг/м^3 . Содержание пылевых частиц размером до 1,4 мкм на расстоянии до 100 м от взрываемого блока, составляет 56%, а размером более 60 мкм - только 2,3%. На расстоянии 500 м от взрываемого блока содержание частиц пыли до 1,4 мкм составляет более 84%, а частиц крупнее 60 мкм - 0,3%. Это обусловлено тем, что под действием сил гравитации крупные фракции из облака осаждаются на поверхность уступа в более ближней от места взрыва зоне.

По мнению ряда исследователей [3-9], наиболее эффективные способы уменьшения пылегазовых выбросов при массовых взрывах в карьерах основаны на подавлении выбросов пыли и газов непосредственно

в момент взрыва. Для этого наиболее пригодны забойки скважин на жидкостной основе - гидрогелевая и гидравлическая.

Гидрогелевая забойка представляет собой водный раствор жидкого стекла (10-15%) и коагулятора, в качестве которого могут использоваться соляная кислота (7%) или сульфат аммония (4-6%). Время гелеобразования регулируется соотношением гелеобразующих компонентов и их температурой. Конструктивно такая забойка состоит из внутренней части, представленной щебнем с гидрогелевой пропиткой (длина 2,0-2,5 м над зарядом ВВ) и гидрогелем в свободной части скважины, и внешней части, представленной гидрогелем над устьем и вокруг устья скважины.

При взрыве гидрогель переходит в жидкую фазу, которая, распыляясь, смешивается с пылью, что приводит к ее смачиванию и коагуляции. При расходе 100-300 кг гидрогеля на одну скважину эффективность пылеподавления достигает 70%, составляя в среднем 58% [9].

Процессы приготовления гидрогеля и его применения для забойки скважин легко механизуются. Для этого в Кузбассе построены пункты для хранения и заправки компонентов гидрогеля в забоечные машины грузоподъемностью от 12 до 30 т.

В 1990 г. на карьерах Кузбасса была внедрена технология пылегазопо-давления при массовых взрывах с применением полиэтиленовых вкладышей и рукавов, наполняемых водой. Вкладыши вводились в верхнюю часть скважины для создания гидравлической забойки зарядов ВВ, а рукава размещались на поверхности взрываемого блока таким образом, чтобы для распыления воды при взрыве максимально использовалась воздушная волна.

Было проведено восемь экспериментальных взрывов с использованием забойки скважин на жидкостной основе. При этом установлено, что гидравлическая забойка снижает начальную скорость вылета продуктов детонации и материала забойки из скважины в среднем

на 30-40%, высоту подъема пылегазового облака в 3-4 раза, поступление в атмосферу пыли на 33-55% и газов на 32-64%, а оптическая плотность облака за счет коагуляции пыли быстро уменьшается. В результате наблюдалось практически полное осаждение пыли в пределах карьеров.

Объем горной массы, разрыхленной взрывом с использованием забойки на жидкостной основе, за два года составил 32 млн. м³ при уменьшении выноса пыли из карьеров на 4,2 тыс. т.

Необходимо отметить, что эффективность забойки на жидкостной основе может быть повышена за счет введения в ее состав экологически чистого поверхностно-активного вещества и комбинации внутренней и внешней забоек.

Другим способом пылеподавления при массовых взрывах в карьерах предусматривается насыщение пылевого облака парами воды, конденсация которых на поверхности пылевых частиц приводит к их коагуляции и более быстрому осаждению [10]. Для этого в верхнюю часть скважинного заряда ВВ помещают емкость, заполненную водой. При взрыве заряда ВВ вода превращается в пар, который в едином потоке с пылью и продуктами детонации вылетает из скважины в атмосферу, где происходит их свободное расширение с уменьшением давления и температуры. Это приводит к конденсации водяного пара и дальнейшему понижению давления внутри пылегазового облака. Следствием этого процесса является сжатие пылегазового облака под воздействием давления окружающего воздуха и интенсификация коагуляции пыли. Одновременно происходит поглощение водой газообразных продуктов детонации ВВ. Способ прошел проверку на карьере Михайловского ГОКа (Россия). В качестве емкости для размещения воды в скважине диаметром 250 мм использовались полиэтиленовые рукава диаметром -100 мм. Длина рукава, наполненного водой и помещенного в верхнюю часть заряда ВВ, составляла 1,0-1,5 м (длина скважинного заряда 10-12 м). В дальнейшем из-за технологических неудобств полиэтиленовые рукава были заменены

пластиковыми бутылками. В процессе проведения экспериментов было установлено, что при использовании такого способа пылеподавления практически полное осаждение пыли из облака происходит не более чем за 3 мин.

Известно, что при массовых взрывах в карьерах верхний слой горных пород на взрываемом блоке, равный величине перебура скважин предыдущего горизонта, представляет собой сильнотрещиноватый разрушенный массив, который является одним из основных источников образования пыли. Кроме того, существенное влияние на пылевые выбросы в атмосферу оказывает пыль, образовавшаяся при бурении скважин и скопившаяся на поверхности взрываемого блока. Для уменьшения таких выбросов в 1992-1993 гг. в карьере Мурунтау были проведены промышленные эксперименты по связыванию этой пыли растворами сульфит-спиртовой барды. В результате обработки поверхности блоков указанным раствором из пыли образовывалась корка толщиной 2-3 см, а анализ полученных кинограмм показал, что в этом случае пылеобразование уменьшается на 30-40%, высота подъема пылегазового облака - на 15% [11].

Для эффективной очистки пылегазового облака, образующегося при взрыве 500 т ВВ, необходимо за 40-60 с подать в него 230-250 м³ воды (~4 м³/с) [12]. Организация такого потока воды требует использования мощной оросительной техники с системой внутрикарьерных трубопроводов и насосных станций, которые необходимо перемещать в рабочей зоне карьера с учетом расположения взрываемых блоков, что технически трудно осуществимо. Эти факторы в сочетании с неопределенностью параметров перемещения в атмосфере карьера пылегазового облака делают метод подавления пылегазовых выбросов орошением водой при массовых взрывах малореальным.

Разработанные способы активного подавления пылегазового облака метанием жидкого агента из открытых емкостей и скважин взрывом,

высоконапорными струями воды и эжекцией жидких агентов потоками окружающего воздуха [6] отражают развитие инженерной мысли, но реального значения для практики в обозримом будущем иметь, по-видимому, не будут.

Из предложенных технических средств активного подавления пылегазового облака при массовых взрывах в карьерах ("расстреливание" облака ракетами с кристаллизующими реагентами, применение парашютных систем, установок импульсного дождевания и т.п.) [6,13], наиболее привлекательна установка УППО-1 залпового пневмогидроподавления. Такая установка создана по программе конверсии на базе танка Т-55. Она способна за один залп (22 ствола) выбросить в течение 5-6 с до 7200 кг жидкого агента на расстояние 75-100 м. Эффективность работы экспериментального образца такой установки, ее устойчивость к поражающим факторам взрыва скважинных зарядов ВВ массой до 60 т подтверждены результатами полигонных и промышленных испытаний, когда установку размещали на расстоянии 10-15 м от скважин взрываемого блока.

В то же время следует отметить, что во многом случайный характер развития и перемещения пылегазового облака в пространстве не позволяет рассматривать технические средства пылегазоподавления в качестве надежного средства борьбы с залповыми выбросами пыли и газов при массовых взрывах в карьерах. Это связано с тем, что область применения таких средств ограничена инерционностью механической системы (запаздывает с реакцией на изменение положения облака в пространстве), объемом воздействия (лимитирует объем взрываемого блока) и цикличностью процесса выброса агента (требуется значительное время на перезарядку установки). По этому наибольшую перспективу имеют все-таки средства пассивного пылегазоподавления, основанные на применении жидких агентов (воды, гидрогеля и т.п.), помещаемых непосредственно во взрывные скважины.

В процессе ведения горных работ десятки тысяч тонн пыли оседает на бортах, рабочих площадках и дорогах карьера. При массовых взрывах в карьерах эта пыль поднимается в воздух под воздействием ударной воздушной и сейсмической волн. Вместе с тем, карьерная пыль часто представляет собой мелкодисперсную фракцию ценного минерального сырья, безвозвратно теряемого в карьерном пространстве. Поэтому пыль в карьерах может рассматриваться не только как вредный экологический фактор, но и как ценный промышленный продукт. В этом случае не исключается целесообразность ее сбора для выделения полезных и захоронения вредных компонентов. Для этого разработаны предложения [6] по утилизации карьерной пыли с использованием передвижных многофункциональных роботизированных комплексов. В основу этих решений положены новые способы уборки пыли, базирующиеся на эффектах взметания пыли с различных грунтов, ее улавливании, накоплении, разделении по минеральному и фракционному составу и подготовке к промышленному использованию путем брикетирования, гранулирования, каменного литья и т.п. Однако в настоящее время такие предложения реализованы только в виде технологических схем, а практическое применение такого оборудования в карьерах, вероятнее всего, ограничится изготовлением и испытанием опытного образца.

Интенсивное загрязнение атмосферы карьеров продолжается после массового взрыва и происходит за счет выделения газов из взорванного массива горных пород. При этом установлено, что в зоне взрыва сверхнормативное загрязнение воздуха оксидами азота сохраняется в течение 6-10 ч, а оксидами углерода – 100-120 ч. Поэтому были рассмотрены различные схемы принудительной дегазации взорванных пород.

Одним из таких способов является продувка массива горячей воздушной или воздушно-кислородной смесью через перфорированные трубопроводы, уложенные на подошве уступа с таким расчетом, чтобы при

взрыве они оказались под навалом породы. Подача воздуха осуществляется от компрессора, а после дегазации блока трубы вытаскиваются из-под навала пород.

Другой способ дегазации взорванных пород основан на применении конверсионной военной техники (база танка Т-55, оснащенная манипулятором и установкой горизонтального бурения скважин) и предусматривает развертывание на поверхности блока эластичного покрытия, под которым размещаются дегазационные секции, и внедрение в разрушенный массив с помощью буровой установки перфорированных труб. Через дегазационные секции в разрушенный массив подают нейтрализующую жидкость, а через перфорированные трубы - воздух. Нейтрализующая жидкость связывает взрывные газы в безвредные химические соединения, а сжатый воздух выносит газы из взорванного массива под эластичную оболочку, откуда они отсасываются через дегазационные секции и утилизируются.

Такие способы дегазации взорванных массивов пород принципиально могут быть реализованы, однако в силу высокой трудоемкости и технологической сложности широкого применения в практике открытых разработок, по-видимому, не найдут.

Наиболее реальным с нашей точки зрения способом дегазации взорванных пород остается способ, основанный на орошении блоков водой с помощью гидромониторов, установленных на поливочных машинах. Такие гидромониторы с дальностью полета струи воды до 70 м эффективно применяются в карьере Мурунтау для орошения забоев. При необходимости в воду могут добавляться нейтрализующие вещества, а дальность полета струи воды может быть значительно увеличена за счет применения насадок специальной конструкции.

При решении вопроса о дегазации взорванных пород следует уяснить цель такого мероприятия. И если она проводится только для защиты персонала карьеров от вредного воздействия газообразных

продуктов детонации, то необходимо рассмотреть в качестве альтернативы применение индивидуальных или коллективных средств снабжения работающих очищенным воздухом. Тем более, что такие средства предлагаются промышленностью в изобилии.

1.3. Исследование влияния забойки скважинных зарядов ВВ на эффективность взрывного разрушения на карьерах

Для удержания продуктов взрыва в зарядной полости выше заряда размещается забойка, которая на открытых горных работах изготавливается из отходов дробильных цехов или песка.

Проведенные исследования [17] показывают, что забойка предотвращает потери энергии в процессе детонации ВВ, способствуя полноте детонации и высвобождению максимальной доле потенциальной энергии ВВ, а также завершению вторичных реакций в продуктах детонации, повышающих энергию взрыва; увеличивают длительность поршневого действия продуктов взрыва и длительность напряженного состояния породы под действием взрыва; способствует уменьшению количества ядовитых газов в продуктах взрыва, что очень важно для глубоких трудно проветриваемых карьеров; препятствует образованию сильной ударной волны в воздухе.

Исследованиями [17] также установлено, что забойка плотно запирает продукты взрыва и движется как единое целое. С увеличением массы забойки увеличивается импульс, передаваемый стенкам скважины. В связи с этим стремились принимать большую длину забойки, что, в свою очередь, приводит к удалению заряда от верхней части уступа и увеличению выхода негабарита. Установлено [18], что забойка не запирает плотно продукты взрыва в скважине и частицы забойки, различной массы и размеры движутся с различными скоростями. Рациональная длина забойки в значительной степени определяется физико-механическими свойствами пород и трещиноватостью массива.

Исследованиями [19] установлено, что качественная забойка скважинных зарядов является важным условием интенсификации действия взрыва при отработке глубоких карьеров. Как известно, забойка оказывает влияние на эффективность взрыва: уменьшает потери энергии в процессе детонации заряда и обеспечивает более полное протекание реакции взрыва; увеличивает длительность воздействия газов взрыва на стенки скважины, в результате чего увеличивается интенсивность дробления; уменьшает силу ударной воздушной волны и в 2-3 раза разброс кусков породы.

Исследованиями [20] также установлено, что качество забойки, прежде всего, зависит от применяемого материала забойки. Основными требованиями, предъявляемыми к материалу, являются: обеспечение высокой эффективности взрыва, технологичность (удобство в обращении и возможность механизации работ по забойке), а также низкая себестоимость забоечных работ. По физико-механическим свойствам и характеру сопротивления истечению из скважины газообразных продуктов детонации все используемые в настоящее время типы забойки можно разбить на две группы - из сыпучих материалов и жидкостные. К первой группе относятся: забойка из пластичных материалов (глиняная, песчано-глинистая, из суглинков); мелкозернистая, сыпучая забойка (песчано-гравийная, шлаковая, из отходов обогатительных фабрик-хвостов, из буровой мелочи); крупнозернистая, сыпучая забойка (щебень, смесь щебня с мелочью или песком).

Одним из технологически осуществимых и экономически обоснованных методов борьбы с пылегазовыми выбросами с одновременным повышением эффективности взрывных работ, является использование многокомпонентных, низкоплотных смесей, в том числе пеногелей представляющий собой механические смеси гидрогелей с пенообразующими веществами, разработанных авторами работ [22].

Применения низкоплотных многокомпонентных смесей - пеногеля в условиях разрезов Кузбасса [23, 24] показывают, что пылегазовые облако образующееся над участком блока пеногелевой забойкой, примерно два раза ниже и имело явно выраженный белый цвет, что свидетельствует о снижении концентрации ядовитых газов, запыленность снижается 40-50% а для зоны оседания пыли размером от 25-50 мкм снижается до 1-1,5 км от место взрыва, т.е. 10 раз.

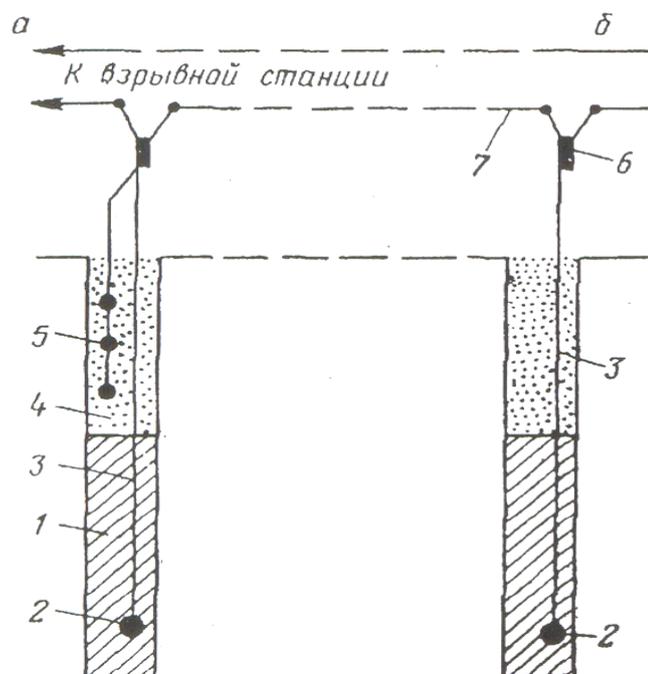
Применение низкоплотных многокомпонентных смесей – пеногеля в условиях карьера Мурунтау [25] показывает, что она значительно уменьшит выбросы ядовитых газов, пыли и улучшит дробление горной массы.

Для оценки эффективности авторами работ [26] предложена новая конструкция забойки, которая была внедрена опытно-промышленными взрывами на карьерах ОАО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат». Экспериментальные исследования проводились на добычных и вскрышных уступах при рациональных параметрах взрывных работ.

Обычная забойка представляла собой в основном буровой шлам, полученный при бурении взрывных скважин шарошечными станками. Роль экспериментальной активной забойки выполнял забойка, состоящий из трех зарядов ВВ из патронированного аммонита № 6ЖВ весом от 0,75 до 1,5 кг, размещаемые внутри обычной инертной забойки, масса активной забойки уменьшался в направлении к устью скважины, схема которого приведена на рис. 1.2.

Расстояние между этими зарядами, а также расстояние верхнего заряда от устья скважины и нижнего от скважинного заряда принимались одинаковыми и составляли примерно 2 м.

Инициирование активных забоек, расположенных внутри забоечного материала и основного скважинного заряда, осуществлялось одновременно отдельными нитями ДШ, иницируемых, в свою очередь, электродетонатором у устья взрывных скважин.



а – с активной забойкой; б – с обычной забойкой;

1 – основной заряд ВВ; 2 – боевик; 3 – ДШ; 4 – инертная забойка;

5 – заряды ВВ; 6 – электродетонатор; 7 – магистральный провод

Рис. 1.2. Схема установки скважинных зарядов ВВ

При проведении опытно-промышленных взрывов часть взрываемого блока заряжалась с применением активной забойки, а на другой части блока использовалась обычная инертная забойка. Породы взрываемых блоков были представлены плотными, трудновзрываемыми вторичными кварцитами и сиенитами. Усредненные параметры взрывов приведены в табл. 1.4.

Анализ гранулометрического состава взорванной горной массы показал, что при наличии активной забойки выход фракций размером более 300 мм снизился в 1,5-2 раза. Степень дробления горной породы в зависимости от типа забойки приведена на рис. 1.3.

Автором работы [27] предложен принципиально новый вид активной забойки скважинного заряда ВВ, состоящий из флегматизированного ВВ, обладающего пониженной восприимчивостью к детонации и позволяющий повысить полезную энергию взрыва при разрушении горных пород

взрывом. При проведении полигонных исследований в качестве активной забойки использовалось аммиачная селитра, флегматизация которой осуществлялось в скважине при заливке ее 10-15% воды. Установлено, что при применении ВВ со скоростью детонации менее 4000 м/с активную забойку из аммиачной селитры целесообразно флегматизировать 10% воды, а при скорости детонации более 4000 м/с – 15% воды.

Таблица 1.4

Показатели	Способ взрывания	
	с инертной забойкой	с активной забойкой
Высота уступа, м	11	11
Диаметр скважин, мм	190	190
Соппротивление по подошве, м	7,7	7,7
Расстояние между скважинами, м	7	7
Расстояние между рядами скважин, м	5,3	5,3
Длина перебура, м	2,5	2,5
Длина забойки, м	6,8	6,8
Удельный расход ВВ кг/м ³	0,51	0,51

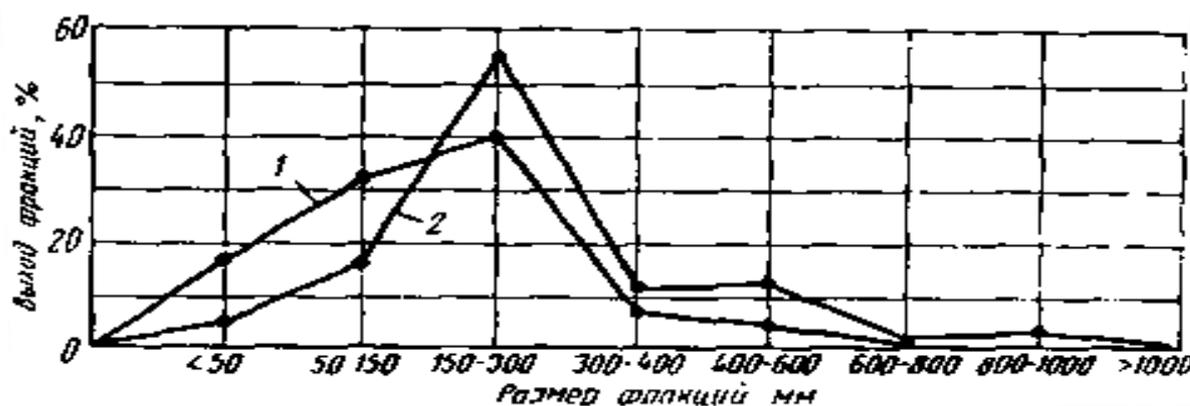


Рис. 1.3. Распределение гранулометрического состава по фракциям при взрыве скважинных зарядов ВВ с активной (1) и инертной (2) забойкой

Проведенные промышленные испытания на разрезах ПО «Экибастузуголь» показали, что применение активной забойки позволяет обеспечить равномерное дробление горной массы, снизить выход

негабарита в 3 раза и более, уменьшить выход крупных фракций более 400 мм в 1,8-2,0 раза, сократить ширину развала взорванной горной массы на 6-8 м, значительно уменьшить разлет кусков горной массы при взрыве.

Применение новой конструкции скважинного заряда при зарядании скважин игданитом позволяет исключить ручной труд и осуществлять механизированное создание активной забойки, вслед за заряданием скважин ВВ, при одном наезде на скважину зарядной машиной марки МЗ-3А или МЗ-4А.

Основные выводы

В результате анализа способов снижения пылегазовыделений при ведении взрывных работ можно сделать следующие основные выводы:

1. Установлено, что среди разнообразных методов взрывания, с помощью которых современная технология взрывных работ эффективно управляет разрушением горных пород, можно выделить три основных направления: первое направление связано с разработкой рациональных конструкций зарядов; второе направление основано на принципе энергетического соответствия между энергией, затрачиваемой на взрывное разрушение горных пород с различными физико-механическими свойствами и энергией сконцентрированной в единице заряда ВВ; третье направление включает широкий круг работ связанных с интегральными эффектами дробления массива горных пород и базируются на различных технологических приемах взрывания совокупности однородных зарядов ВВ.

2. В исследованиях ученых в области управления энергией взрыва в разрушаемом массиве, где среди многих факторов, позволяющих увеличение эффективности дробящего действия взрыва, значительная роль принадлежит забойке скважин, оказывающая существенное влияние на полноту передачи энергии взрыва в окружающую среду. Применение

забойки приводит к улучшению степени дробления породы за счет увеличения времени воздействия взрыва на горную породу, предотвращению выхода ударной волны в атмосферу.

3. В работах ряда исследователей предложена новая конструкция активной забойки, состоящий из трех зарядов ВВ из патронированного аммонита № 6 ЖВ весом от 0,75 до 1,5 кг, размещаемые внутри обычной инертной забойки, отличающийся тем, что масса активной забойки уменьшается в направлении к устью скважины, расстояние между этими зарядами принимались одинаковыми и составляли примерно 2 м. Главным недостатком предложенной конструкции забойки является – технологическая сложность формирования конструкции забойки и размещение внутри инертной забойки трех зарядов ВВ из патронированного аммонита № 6 ЖВ на расстоянии равной 2 м.

4. В работах ряда исследователей, также предложен принципиально новый вид забойки скважинного заряда ВВ, состоящий из флегматизированного ВВ на основе из аммиачной селитры и 10-15 % воды, обладающего пониженной восприимчивостью к детонации и позволяющий повысить полезную энергию взрыва горных пород. Проведенные промышленные испытания показали, что применения активной забойки позволяет обеспечить равномерное дробление горной массы и снизить выход негабарита в три раза и более, уменьшить выход крупной фракции более 400 мм в 1,8-2,0 раза, сократить ширину развала взорванной горной массы на 6-8 м и значительно уменьшить разлет кусков при взрыве. Главным недостатком предложенной конструкции забойки является технологическая сложность перемешивания аммиачной селитры и 10-15 % воды при формировании конструкции активной забойки. Не до конца установлен механизм действия взрыва скважинных зарядов на основе простейших составов ВВ с изменяющимися детонационными характеристиками, переходящих в горения.

5. Исследованиями установлено, что применение всех имеющихся типов забойки не даёт возможности эффективно осуществлять передачу энергии взрыва разрушаемой среде для качественного дробления массива горных пород, в особенности верхней части уступа, недостаточно длительного воздействия продуктов детонации на стенки скважины.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ЯДОВИТЫХ ГАЗОВ, ВЫДЕЛЯЕМЫХ ПРИ МАССОВЫХ ВЗРЫВАХ НА КАРЬЕРАХ, И МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ИХ КОНЦЕНТРАЦИИ

2.1. Исследование предельно допустимой концентрации ядовитых газов, выделяемых при массовых взрывах

Взрывчатое превращение взрывчатых веществ и средств взрывания (СВ) сопровождается образованием большого количества газов и паров (600–900 л на 1 кг ВВ), содержащих ядовитые окислы и соединения, к основным из которых относятся: окись углерода, окись азота, двуокись азота.

При содержании в составе ВВ или породах серы или сернистых соединений возможно образование при взрыве сероводорода и сернистого ангидрита.

При взрывании детонаторов, содержащих гремучую ртуть и азид свинца, в атмосфере горных выработок обнаруживаются пары ртути или свинца в опасных количествах.

Исследованиями [27,31,32] установлены допустимые концентрации перечисленных ядовитых соединений в воздухе горных выработок (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Соединение	Окись углерода	Окислы азота	Сероводород	Сернистый ангидрит	Пары ртути
Предельно допустимая концентрация, объемные проценты (мг/л)	0,0016 (0,02)	0,0001 (0,005)	0,00066 (0,01)	0,00035 (0,01)	(0,00001)

При подсчете общего количества выделяемых при взрыве ядовитых газов вычисляют количество условной окиси углерода. При этом коэффициент токсичности окислов азота по отношению к окиси углерода принимается равным 6,5, для сернистых газов этот коэффициент равен 2,5. Исходя из этого, общее количество условной окиси углерода вычисляют по формуле

$$X = aCO + 6,5b (NO + NO_2) + 2,5c (SO_2 + ВД), \text{ л/кг}, \quad (2.1)$$

где a , b , c – общее количество, соответственно, окиси углерода, окислов азота и сернистых газов.

Количество условной окиси углерода, образуемой при взрыве штатных промышленных ВВ, колеблется в пределах от 10 до 40 л на 1 кг ВВ.

Газообразные продукты, в том числе и ядовитые, образовавшиеся при взрыве ВВ в шпуре, скважине или камере, распределяются следующим образом:

- часть газов непосредственно поступает в атмосферу выработок, смешивается с рудничным воздухом и частично вступает во взаимодействие с ним;
- часть газов поглощается породой, раздробленной при взрыве и выброшенной в выработку, сорбируется пылью;
- часть газов под давлением взрыва заполняет трещины и поры кровли, стенок и почвы выработок.

Газы, выброшенные при взрыве в рудничную атмосферу, удаляются средствами вентиляции. При этом часть окислов азота, постепенно переходя из окиси в двуокись, может, соединившись с влагой, содержащейся в атмосфере выработки, превратиться в азотную и азотистую кислоты и осесть на почве, стенках выработок и на поверхности породы.

Газы взрыва, поглощенные разрушенной породой, постепенно выделяются в атмосферу выработок. Этот процесс значительно ускоряется во время уборки породы.

Газы, заключенные в трещинах пород, диффундируют очень медленно и могут находиться в них длительное время

Количество ядовитых газов образующихся при взрывных работах, зависит:

- от состава и физико-химических свойств ВВ, их влажности и плотности, от массы бумажно-парафиновой оболочки

- от физико-механических свойств горных пород, в которых ведутся взрывные работы.

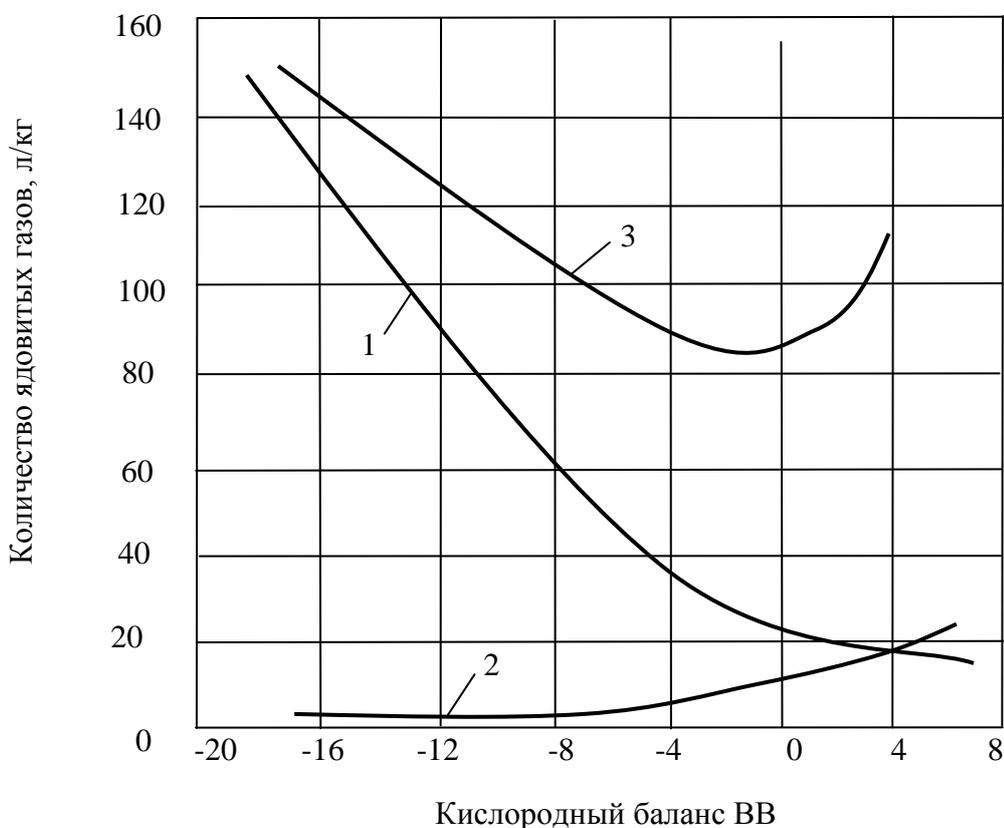
2.2. Исследование влияния состава и физико-химических свойств ВВ на образование ядовитых газов

Основным фактором в рецептуре ВВ, влияющим на образование ядовитых газов, является его кислородный баланс. При отрицательном кислородном балансе растет количество выделяемой при взрыве окиси углерода и несколько уменьшается количество окислов азота. При положительном кислородном балансе наблюдается обратная картина, которая приведена на рис. 2.1. Для аммонитов оптимальным с точки зрения образования ядовитых газов является не нулевой, а небольшой отрицательный (до 3%) кислородный баланс. Для других ВВ (особенно крупнодисперсных) более рационален небольшой положительный кислородный баланс.

Одной из основных причин образования ядовитых газов при взрыве ВВ с кислородным балансом, близким к нулевому, является неполнота реакции взрывчатого превращения.

С повышением детонационной способности ВВ уменьшается образование ядовитых газов, что подтверждается данными, которые

приведены в табл. 2.2, полученными в работе [22] при взрыве аммонита № 6ЖВ с увеличивающейся от первой к третьей пробе степенью измельчения компонентов.



1 - CO; 2 - NO + NO₂; 3 - условная окись углерода

Рис. 2.1. Влияние кислородного баланса ВВ на количество выделяемых при взрыве ядовитых газов

На полноту взрывчатого превращения ВВ, а, следовательно, и на образование ядовитых газов, значительное влияние могут оказывать тип сенсibilизатора, а также малоактивные компоненты, флегматизирующие ВВ. Так, составы, сенсibilизированные гексогеном или нитроглицерином, образуют меньше ядовитых газов, чем аммониты.

Существенное влияние на образование ядовитых газов оказывают соли-пламегасители, применяемые в предохранительных ВВ, — хлористый натрий и хлористый калий, способствуя более полному завершению

реакции и, следовательно, уменьшению количества ядовитых газов. Особенно заметно снижается при этом содержание окислов азота.

Таблица 2.2

Номер пробы	Бризантность, мм	Количество ядовитых газов, л/кг		
		окись углерода	окислы азота	условная окись углерода
1	12,4	42,2	2,8	60,4
2	15,0	38,4	2,5	54,6
3	17,0	30,1	2,4	52,2

Повышение плотности ВВ вначале приводит к уменьшению количества ядовитых газов, затем, после достижения определенной плотности, дальнейшее ее увеличение приводит к росту количества выделяющихся ядовитых газов, так как увеличение плотности ВВ приводит к снижению полноты его детонации (при плотностях, близких к критическим).

Влага в составе ВВ является компонентом, затрудняющим его детонацию. Поэтому повышение влажности ВВ приводит к росту количества ядовитых газов, в основном окислов азота.

Влияние массы бумажно-парафиновой оболочки на количество ядовитых окислов при взрыве прессованного аммонита №6ЖВ иллюстрируется данными, приведенными в табл. 2.3, полученными П.А.Парамоновым.

Таблица 2.3

Масса оболочки на 1 кг ВВ		Количество ядовитых газов, л/кг		
бумага	парафин	окись углерода	окислы азота	условная окись углерода
0	0	7,5	4,2	35,0
1,2	1,7	28,3	4,7	58,9
2,0	2,5	29,6	5,1	62,8
4,0	5,0	35,9	5,9	74,3

Чтобы ограничить отрицательное влияние бумажно-парафиновой оболочки на образование ядовитых газов, ГОСТом на промышленные ВВ установлена максимальная масса бумажной оболочки (до 2 г) и гидроизоляционного покрытия (парафин – петролатум) на патронах до 2 г на 100 г ВВ.

При увеличении плотности заряжения количество ядовитых газов уменьшается. Уменьшается количество ядовитых газов также при взрывании в обводненном забое, при обратном иницировании заряда, при применении высококачественной забойки и при групповом взрывании в сравнении с одиночным.

2.3. Исследование влияния физико-механических свойств горных пород на образование ядовитых газов

Влияние физико-механических свойств горных пород на образование ядовитых газов подробно исследовано в работах [23, 24], может быть связано с химическим взаимодействием продуктов взрыва с горными породами или каталитическим действием пород на ход вторичных реакций. Физические свойства горных пород – вязкость, трещиноватость, прочность, теплоемкость и теплопроводность могут также влиять на состав продуктов взрыва и особенно на количество ядовитых газов, поглощенных породой и выделяющихся в дальнейшем.

Чем выше коэффициент крепости горных пород, тем больше образуется окиси углерода и, как правило, меньше окислов азота.

Автор работы [23] предложил разделить горные породы по «газовой вредности» на три группы в зависимости от количества ядовитых газов, выделяемых при взрыве в данных породах ВВ с кислородным балансом, близким к нулевому.

К первой группе отнесены апатиты, нефелины, калийные соли, молибденовые руды, некоторые медные и полиметаллические руды, при взрыве которых количество ядовитых газов составляет 10-40 л на 1 кг ВВ.

Ко второй группе отнесены угли и вмещающие их породы, свинцово-цинковые руды, мармитовые железные руды, золотоносные руды (образование ядовитых газов от 40 до 100 л на 1 кг ВВ).

К третьей группе отнесены джеспилитовые железные руды, при взрывании в которых выделяется более 100 л ядовитых газов на 1 кг ВВ.

2.4. Методы снижения концентрации ядовитых газов, выделяемых при массовых взрывах на глубоких карьерах

Основным способом борьбы с ядовитыми газами взрыва является проветривание горных выработок. Чтобы проветривание могло обеспечить в короткий срок разбавление ядовитых газов до санитарно-гигиенических норм, Едиными правилами безопасности устанавливается предельное содержание ядовитых газов при взрыве промышленных ВВ до 80 л на 1 кг.

Для определения количества ядовитых газов, образуемых при взрыве промышленных ВВ, применяется шахтный и лабораторный методы, предложенные П.А.Парамоновым [22,23]. Результаты испытаний ряда ВВ по указанным методам приведены в табл. 2.4.

Снижение количества ядовитых газов, выделяемых при взрыве ВВ, достигается за счет совершенствования их рецептур, введения в их состав специальных добавок, уменьшающих вторичные реакции в продуктах взрыва, а также за счет повышения детонационной способности ВВ.

В настоящее время ведутся работы по созданию электродетонаторов (ЭД) с уменьшенным содержанием или полным отсутствием соединений свинца и ртути.

К основным методам, снижающим концентрацию ядовитых газов при массовых взрывах на глубоких карьерах, относятся использование

способа производства взрывов в зажатой среде, взрывание высоких уступов, применение гидрозабойки, гелевой и активно-запирающей забоек, водораспылительных завес, воздушно-механической пены и др.

Таблица 2.4

ВВ	Удельное количество ядовитых газов, л/кг					
	при лабораторных испытаниях			при взрывных работах в шахтах		
	окись углерода	окислы азота	условная окись углерода	окись углерода	окислы азота	условная окись углерода
Аммонит №6ЖВ	29,2	5,5	65,0	29,6	4,9	61,3
Динамит 62%-ный на калиевой селитре	15,6	1,0	22,1	1,54	0,9	21,3
Скальный аммонит №1	40,1	0,8	45,3	40,2	0,4	42,8
Аммонит ПЖВ-20	29,6	2,4	45,2	28,6	1,8	40,3
Победит ВП-3	21,2	3,3	42,7	19,0	2,1	32,4
Аммонит Т-19	36,2	2,0	49,2	35,1	1,5	44,9
Угленит Э-6	11,7	3,0	31,2	9,9	2,3	24,9
Аммонал ЖВ	2,8	0,7	7,4	3,4	0,5	6,7
Зерногранулит 79/21	–	–	–	8,8	5,3	42,9

На обозримый период времени взрывные работы остаются наиболее распространенным средством разрушения скальных пород, несмотря на их негативное воздействие на окружающую среду из-за залповых выбросов пыли и газов, из которых формируется пылегазовое облако. Такое облако поднимается на высоту до 600-800 м и распространяется по направлению ветра на десятки километров, что угнетает флору и фауну и может привести к снижению способности плодородной почвы к самоочищению. Поэтому возникает задача постепенного перехода на открытых разработках сначала к природосберегающим, а затем к природоохранным технологиям взрывных работ. При этом оценка эффективности и надежности таких технологий должна основываться на балансе экономических и экологических интересов предприятия, что в системе "горное производство - окружающая среда" достигается при минимизации

затрат на реализацию технологических решений и экологического ущерба в конкретных горнотехнических условиях. С технической точки зрения задача сводится к оптимизации технологии взрывных работ и методов защиты окружающей среды.

Способы уменьшения залповых выбросов пыли и газов при взрывных работах в карьерах можно условно разделить на три группы: предупреждения, подавления и утилизации [25]. При этом технологическое, техническое или организационное решения по каждой группе характеризуются различной стадией - от идеи до практического использования, результативностью применения - от кажущегося до объективно ощущаемого эффекта, сложностью реализации - от элементарных усилий до сложнейших приемов.

2.5. Методы снижения концентрации пылегазовых выбросов, выделяемых при массовых взрывах на глубоких карьерах

При массовых взрывах $2/3$ вредных примесей поступает в атмосферу карьера в виде пылегазового облака, а $1/3$ - остается внутри разрушенного горного массива [21, 26]. Поэтому негативное влияние взрывных работ проявляется как через поступление пыли и газов в окружающую среду, так и через выделение газа в атмосферу карьера из разрушенной взрывом горной массы. При этом окружающая среда подвергается залповому пылегазовому удару, а атмосфера карьера еще в течение длительного времени после массового взрыва интенсивно загрязняется ядовитыми газами. Такая ситуация побуждает к поиску путей уменьшения пылегазовых выбросов при взрывных работах, основными из которых являются:

- рационализация ассортимента ВВ;
- минимизация объема взрываемого блока;
- рыхление пород в зажатой среде;

- взрывание высоких уступов;
- рационализация параметров забойки скважин.

2.5.1. Метод уменьшения пылегазовых выбросов на глубоких карьерах рационализацией ассортимента ВВ

Экспериментально установлено [21], что количество образующихся при взрыве ядовитых газов зависит от типа применяемого ВВ. В частности, при использовании ВВ с отрицательным кислородным балансом отмечается интенсивное выделение таких газов из разрушенной горной массы, которые приводят к недопустимому загрязнению воздуха рабочей зоны. При использовании простейших ВВ (игданит и т.п.) и эмульсионных взрывчатых составов в атмосферу карьеров выделяется значительно меньше ядовитых газов, чем при использовании тротилсодержащих ВВ. Так, например, при взрыве 1 кг гранулатола образуется 200 л, граммонита 79/21 - 100-140 л, а игданита и эмульсионных ВВ - 30-50 л ядовитых газов (в пересчете на условную 5 окись углерода). В то же время задача выбора рационального ВВ может быть решена при выявлении физико-технических параметров, оказывающих наибольшее влияние на формирование и распространение пылегазового облака, образующегося при массовом взрыве.

Пылегазовое облако отличается от окружающей атмосферы тем, что температура газов в нем выше температуры окружающего воздуха, а средневзвешенная молекулярная масса газов в облаке, как правило, меньше молекулярной массы окружающего воздуха. Очевидно, что чем больше эти различия, тем больше подъемная сила, действующая на пылегазовое облако, величина которой, в свою очередь, влияет на концентрацию и размеры перемещаемых частиц пыли. Поэтому процесс осаждения пыли, по всей видимости, может быть интенсифицирован путем управления параметрами газа в облаке пыли. Такое управление

заключается в целенаправленном формировании состава и свойств газов в пылегазовом облаке и осуществляется корректировкой ассортимента применяемых ВВ, от которых зависит молекулярный вес продуктов детонации и температура газа в облаке, который указан в табл. 2.5 [25].

Таблица 2.5

Средневзвешенный молекулярный вес продуктов детонации
в пылегазовом облаке и скважине

Тип ВВ	Содержание, г/моль	
	в облаке	в скважине
Тротил	29,4	25,6
Игданит	31,5	22,9
Граммонит 79/21	33,8	25,1
Граммонит 30/70	34,9	26,4
Акватола 65/35	36,2	25,2
Акватола М-15	44,0	19,6

Анализ данных табл. 2.5 показывает, что наибольшая подъемная сила, действующая на пылегазовое облако, имеет место при массовых взрывах с использованием тротила, а наименьшая - акватола М-15.

Наличие воды в продуктах детонации ВВ интенсифицирует процесс осаждения пыли из облака. В данном случае при уменьшении температуры пылегазовой смеси проявляется механизм понижения давления с уменьшением объема облака в результате конденсации воды, приводящий к смачиванию пыли и интенсификации процесса ее коагуляции. Расчеты показывают, что относительное содержание паров воды в продуктах детонации составляет: тротил - 0,333; граммонит 30/70 - 0,506; граммонит 79/21 - 0,533; акватола 65/35 - 0,605; акватола М-15 - 0,94. Таким образом, наименьшее содержание паров воды в продуктах детонации имеет место при использовании тротила, а наибольшее - акватола. Следовательно, процесс конденсации воды в расширившихся продуктах детонации при массовых взрывах с применением акватола будет оказывать более заметное влияние на коагуляцию пыли. В этом случае

следует ожидать более интенсивного осаждения пыли с уменьшением зоны распространения пылегазового облака в окружающей среде.

Расчеты показывают, что температура расширившихся продуктов детонации для рассматриваемых типов ВВ находится в пределах от 42,5 (акватола) до 191°С (тротил). Поэтому температурный фактор, наряду с молекулярной массой газов, должен оказывать существенное влияние на параметры перемещения пылегазового облака. Чтобы убедиться в этом, оценим величину ускорения центра тяжести пылегазового облака при использовании тротила и акватола, воспользовавшись для этого формулой (2.2):

$$a = g \frac{\mu_g T_2}{\mu_r T_1}, \quad (2.2)$$

где a – ускорение центра тяжести облака, м/с^2 ; g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; μ_r , μ_g – соответственно молекулярная масса газа в облаке и воздуха, г/моль; T_1 , T_2 – соответственно, температура воздуха и газа в облаке, К.

Расчеты показывают, что ускорение перемещения пылегазового облака при взрыве акватола составляет $a_a = -0,3g$, при взрыве тротила = $0,77g$. Из этого следует, что при массовом взрыве скважин, заряженных акватолом, пылегазовое облако прижимается к земной поверхности, так как ускорение отрицательное, а заряженных тротилом – поднимается вверх, увеличивая зону распространения пыли.

Изложенное позволяет сделать вывод о том, что с практической точки зрения предпочтение следует отдавать таким типам ВВ, которые характеризуются более высокой плотностью заряжения скважин при меньшей теплоте взрыва и наибольшем количестве паров воды в продуктах детонации. Поэтому для каждого карьера должен быть определен рациональный ассортимент ВВ, применение которого обеспечивает не только требуемые технико-экономические показатели дробления массива, выделение наименьшего количества ядовитых газов,

но и обуславливает минимизацию зоны распространения пыли в окружающей среде. В качестве примера в табл. 2.6 приведен рациональный ассортимент ВВ для карьера Мурунтау [21].

Таблица 2.6

Рекомендуемый ассортимент ВВ для карьера Мурунтау

Категория пород	Коэффициент крепости	Тип ВВ
Легковзрываемые	6-8	Игданит, гранулит С-6М, ЭВВ 85/15, нобелан 2070
Средневзрываемые	8-10	Игданит, игданит А-6, гранулит АС-4, ЭВВ 85/15 и 80/20, нобелан 2070
Трудновзрываемые	10-12	Игданит А-6, гранулит АС-4, ЭВВ 85/15 и 80/20, нобелан 2070
Весьма трудновзрываемые	>12	Игданит А-6, гранулит АС-4, ЭВВ 85/15 и 80/20, нобелан 2070
Обводненные породы		Игданит А-6, гранулит АС-4, ЭВВ 85/15 и 80/20, нобелан 2070 ЭВВ 30/70, нобелит 2030

2.5.2. Метод уменьшения пылегазовых выбросов на глубоких карьерах минимизацией объема взрываемого блока

Минимизация объемов взрываемых блоков в СНГ применяется на карьерах строительных материалов, а в дальнем зарубежье - практически на всех карьерах с производительностью по горной массе до 15 млн. м³/год. При этом в каждом экскаваторном забое технологический цикл "бурение – взрывание - экскавация" совершается в течение относительно короткого отрезка времени (1-3 сут). Такая организация работ не вызывает особых трудностей, связанных с выводом людей и оборудования из зоны массового взрыва, если в одновременной работе находятся 3-4 забоя. В этом случае взрывные работы, как правило, ведут в обеденные перерывы с полной остановкой карьера.

Более сложным способом минимизации объема взрываемого блока является обеспечение высокой технологической дисциплины, поскольку процессы технологического цикла должны выполняться в жестко регламентированном режиме. Такой режим аналогичен режиму обработки детали на станке с программным управлением, когда последовательно заданные операции выполняются в строго соблюдаемом ритме. Указанный режим горного производства достаточно четко реализован в карьерах Am Platz и Venetia (ЮАР), где массовые взрывы проводятся в каждом экскаваторном забое один раз в сутки.

Неоспоримым преимуществом минимизации взрывных блоков является возможность практически полного прекращения залповых выбросов пыли и газов в окружающую среду с осаждением пылегазового облака в пределах карьерного пространства либо (крайний случай) в санитарно-защитной зоне карьера. Принципиальное значение в этом случае имеет обоснование размера взрываемого блока по технологическим, техническим, экономическим и экологическим соображениям с учетом сохранения производственной мощности карьера.

Расчеты показывают [21], что объем пылегазового облака при ведении взрывных работ малыми объемами ВВ уменьшается в десятки раз (табл. 2.7), а выбросы пыли и газов в окружающую среду - в 1,5-3,0 раза [26]. При этом сохраняются существующие параметры буровзрывных работ (станок СБШ-250МН), а экскаваторы ЭКГ-8И (высота уступа 15 м) обеспечиваются на заданный период времени взорванной горной массой в соответствии с эксплуатационной производительностью.

Для оперативной оценки объема пылегазового облака при массовом взрыве можно использовать выражение:

$$V_0 = 4,4 \cdot 10^4 A^{0,08}, \quad (2.3)$$

где V_0 - объем пылегазового облака, м³; A - количество взрываемого ВВ в блоке, т.

Расчетные варианты ведения взрывных работ в карьерах малыми
объемами ВВ

Периодичность взрывания, дней	Объем блока, м ³	Масса заряда ВВ на блоке, кг	Объем буровых работ, м	Затраты времени на бурение скважин, сут	Объем пылегазового облака, млн. м ³
1	5400	4307	108	0,9	0,19
2	10800	8614	234	1,9	0,38
3	16200	12730	342	2,8	0,56
4	21600	16750	450	3,7	0,74
5	27000	21536	576	4,8	0,95
6	32400	25843	684	5,7	1,14
7	37800	30150	810	6,7	1,33

Переход на массовые взрывы с малым объемом ВВ должен осуществляться с учетом горнотехнических особенностей карьеров и созданием индивидуальных энергетических и транспортных коммуникаций для каждого забоя. Поэтому наиболее предпочтительным выемочно-погрузочным оборудованием в таких условиях является мобильное (фронтальные погрузчики) или высокоманевренное (гидравлические экскаваторы) оборудование с автономным приводом, что позволяет отказаться от линий электропередач в рабочей зоне карьера.

На эффективность минимизации объема взрывных блоков существенное влияние оказывает размер запретной и опасной зон, устанавливаемых в карьерах при подготовке и проведении массовых взрывов, поскольку в границах этих зон линии электропередач должны быть отключены, транспортные коммуникации перекрыты, а оборудование отогнано на безопасное расстояние. В то же время следует иметь в виду, что современные методы управления взрывом в сочетании с новыми взрывчатыми материалами (например, волновые трубки для передачи детонации и эмульсионные взрывчатые вещества, приобретающие взрывные свойства только в скважине) характеризуются высокой степенью

безопасности, позволяют существенно уменьшить размеры запретной и опасной зон. Для оценки зон требуется уточнение расчетных методик, изложенных в соответствующих правилах [27].

2.5.3. Метод уменьшения пылегазовых выбросов на глубоких карьерах рыхлением пород в зажатой среде

На карьере Мурунтау были проведены экспериментальные исследования [21] по определению влияния условий взрывания (в "зажатой" среде и на свободную поверхность) на образующийся объем пылегазового облака, для фиксации развития которого во времени и пространстве использовалась скоростная киносъемка.

Взрываемые породы были представлены кварцево-слюдистыми сланцами крепостью $f = 8-10$. Экспериментальный блок объемом 115 тыс. м³ был разделен на две равные части, одна из которых имела, а другая не имела подпорной стенки из необработанной взорванной массы. Параметры взрывного блока: высота уступа - 10,5 м, сетка скважин - 7x7 м, переbur - 2 м, ширина подпорной стенки - 2-15 м, схема взрывания - диагональная, интервал замедления взрывания между рядами - 35 мс, удельный расход ВВ (гранулит С-6М) - 0,63 кг/м³.

Расшифровка кинограмм показала, что формирование пылегазового облака на участке блока без подпорной стенки закончилось на 5-й секунде. При этом поступление пыли и газов в атмосферу наблюдалось не только за счет выбросов пыли и газов из верхней площадки уступа, но и за счет взметания пыли как с нижнего горизонта под действием продуктов детонации, прорвавшихся через откос уступа, так и в результате формирования развала из пород бокового откоса уступа. Высота подъема пылегазового облака в этом случае составила 320 м, а его объем - 3,8 млн. м³. На участке взрываемого блока в "зажатой" среде формирование облака

закончилось за 3 с, высота подъема пылегазового облака достигла 280 м, а объем его - 2,6 млн. м³.

Таким образом, при взрывном рыхлении горного массива в "зажатой" среде объем пылегазового облака уменьшается на 30-35% по сравнению с рыхлением "на подобранный забой", что объясняется существенным уменьшением пылеобразования из-за отсутствия сброса пород в сторону свободной боковой поверхности уступа.

Переход на взрывание высоких (с 10-15 на 20-30 м) уступов, как показала практика расконсервации юго-западного борта карьера Мурунтау, позволил на 15-20% уменьшить количество окислов азота, выбрасываемого в его атмосферу. Увеличение в этом случае степени полезного использования энергии взрыва уменьшает температуру продуктов детонации и зону переизмельчения пород, что, в свою очередь, способствует снижению в 1,2 раза высоты подъема пылегазового облака и в 1,3-1,4 раза концентрации пыли в атмосфере карьера.

Забойка скважинных зарядов ВВ является важным условием сокращения пылегазовых выбросов в атмосферу карьеров за счет снижения температуры продуктов детонации в результате повышения на 15-20% степени использования энергии взрыва, увеличения времени воздействия продуктов детонации на стенки скважины, уменьшения ударной воздушной волны и разброса кусков породы. В то же время материал забойки выбрасывается при взрыве из скважины в формируемое пылегазовое облако. Качество забоечного материала определяется его сопротивляемостью сдвигу, характеризуемой углом внутреннего трения. Этот параметр повышается с увеличением в забоечном материале доли пород крупнозернистой фракции, поскольку при взрыве забоечный материал сжимается, а породные зерна расклиниваются, образуя качественную забойку. С этой точки зрения наиболее эффективной является забойка из смеси песка (40%) и щебня (60%) фракции от 8-10 до 20-25 мм [28].

При оценке механизма взаимодействия продуктов детонации ВВ и забойки возникает вопрос об эффективной массе забоечного материала в скважине. Исследованиями и практикой работ в карьере Мурунтау установлено, что при использовании в качестве забоечного материала буровой мелочи рациональная масса забойки составляет 50-60% от массы ВВ в скважине. Это уменьшает поступление забоечного материала в атмосферу карьера без ухудшения качества дробления пород взрывом.

2.5.4. Метод уменьшения пылегазовых выбросов на глубоких карьерах на основе применения различной конструкции забоек

Разработка методов и средств подавления пылегазовых выбросов при взрывных работах в карьерах ведется по многим направлениям, основными из которых являются: применение забойки на жидкостной основе; орошение или покрытие пеной поверхности взрываемого блока; воздействие на пылегазовое облако тепло-, пыле- и газоподавляющими агентами и др.

По мнению ряда исследователей [20-29], наиболее эффективные способы уменьшения пылегазовых выбросов при массовых взрывах в карьерах основаны на подавлении выбросов пыли и газов непосредственно в момент взрыва. Для этого наиболее пригодны забойки скважин на жидкостной основе - гидрогелевая и гидравлическая.

Гидрогелевая забойка представляет собой водный раствор жидкого стекла (10-15%) и коагулятора, в качестве которого могут использоваться соляная кислота (7%) или сульфат аммония (4-6%). Время гелеобразования регулируется соотношением гелеобразующих компонентов и их температурой. Конструктивно такая забойка состоит из внутренней части, представленной щебнем с гидрогелевой пропиткой (длина 2,0-2,5 м над зарядом ВВ) и гидрогелем в свободной части скважины, и внешней части, представленной гидрогелем над устьем и вокруг устья скважины.

При взрыве гидрогель переходит в жидкую фазу, которая, распыляясь, смешивается с пылью, что приводит к ее смачиванию и коагуляции. При расходе 100-300 кг гидрогеля на одну скважину эффективность пылеподавления достигает 70%, составляя в среднем 58% [29].

Процессы приготовления гидрогеля и его применения для забойки скважин легко механизуются. Для этого построены пункты для хранения и заправки компонентов гидрогеля в забоечные машины грузоподъемностью от 12 до 30 т.

На некоторых карьерах внедрена технология пылегазоподавления при массовых взрывах с применением полиэтиленовых вкладышей и рукавов, наполняемых водой. Вкладыши вводились в верхнюю часть скважины для создания гидравлической забойки зарядов ВВ, а рукава размещались на поверхности взрываемого блока таким образом, чтобы для распыления воды при взрыве максимально использовалась воздушная волна.

Было проведено восемь экспериментальных взрывов с использованием забойки скважин на жидкостной основе. При этом установлено, что гидравлическая забойка снижает начальную скорость вылета продуктов детонации и материала забойки из скважины в среднем на 30-40%, высоту подъема пылегазового облака в 3-4 раза, поступление в атмосферу пыли на 33-55% и газов на 32-64%, а оптическая плотность облака за счет коагуляции пыли быстро уменьшается. В результате наблюдалось практически полное осаждение пыли в пределах карьеров.

Объем горной массы, разрыхленной взрывом с использованием забойки на жидкостной основе, за два года составил 32 млн. м³ при уменьшении выноса пыли из карьеров на 4,2 тыс. т.

Необходимо отметить, что эффективность забойки на жидкостной основе может быть повышена за счет введения в ее состав экологически

чистого поверхностно-активного вещества и комбинации внутренней и внешней забоек.

Другим способом пылеподавления при массовых взрывах в карьерах предусматривается насыщение пылевого облака парами воды, конденсация которых на поверхности пылевых частиц приводит к их коагуляции и более быстрому осаждению [30]. Для этого в верхнюю часть скважинного заряда ВВ помещают емкость, заполненную водой. При взрыве заряда ВВ вода превращается в пар, который в едином потоке с пылью и продуктами детонации вылетает из скважины в атмосферу, где происходит их свободное расширение с уменьшением давления и температуры. Это приводит к конденсации водяного пара и дальнейшему понижению давления внутри пылегазового облака. Следствием этого процесса является сжатие пылегазового облака под воздействием давления окружающего воздуха и интенсификация коагуляции пыли. Одновременно происходит поглощение водой газообразных продуктов детонации ВВ. Способ прошел проверку на карьере Михайловского ГОКа (Россия). В качестве емкости для размещения воды в скважине диаметром 250 мм использовались полиэтиленовые рукава диаметром -100 мм. Длина рукава, наполненного водой и помещенного в верхнюю часть заряда ВВ, составляла 1,0-1,5 м (длина скважинного заряда 10-12 м). В дальнейшем из-за технологических неудобств полиэтиленовые рукава были заменены пластиковыми бутылками. В процессе проведения экспериментов было установлено, что при использовании такого способа пылеподавления практически полное осаждение пыли из облака происходит не более чем за 3 мин.

Известно, что при массовых взрывах в карьерах верхний слой горных пород на взрываемом блоке, равный величине перебура скважин предыдущего горизонта, представляет собой сильнотрещиноватый разрушенный массив, который является одним из основных источников образования пыли. Кроме того, существенное влияние на пылевые

выбросы в атмосферу оказывает пыль, образовавшаяся при бурении скважин и скопившаяся на поверхности взрываемого блока. Для уменьшения таких выбросов в карьере Мурунтау проведены промышленные эксперименты по связыванию этой пыли растворами сульфит-спиртовой барды [21]. В результате обработки поверхности блоков указанным раствором из пыли образовывалась корка толщиной 2-3 см, а анализ полученных кинограмм показал, что в этом случае пылеобразование уменьшается на 30-40%, высота подъема пылегазового облака - на 15% [31].

Для эффективной очистки пылегазового облака, образующегося при взрыве 500 т ВВ, необходимо за 40-60 с подать в него 230-250 м³ воды (~4 м³/с) [32]. Организация такого потока воды требует использования мощной оросительной техники с системой внутрикарьерных трубопроводов и насосных станций, которые необходимо перемещать в рабочей зоне карьера с учетом расположения взрываемых блоков, что технически трудно осуществимо. Эти факторы в сочетании с неопределенностью параметров перемещения в атмосфере карьера пылегазового облака делают метод подавления пылегазовых выбросов орошением водой при массовых взрывах малореальным.

Разработанные способы активного подавления пылегазового облака метанием жидкого агента из открытых емкостей и скважин взрывом, высоконапорными струями воды и эжекцией жидких агентов потоками окружающего воздуха [26] отражают развитие инженерной мысли, но реального значения для практики в обозримом будущем иметь, по-видимому, не будут.

Из предложенных технических средств активного подавления пылегазового облака при массовых взрывах в карьерах ("расстреливание" облака ракетами с кристаллизующими реагентами, применение парашютных систем, установок импульсного дождевания и т.п.) [26,33], наиболее привлекательна установка УППО-1 залпового

пневмогидроподавления. Такая установка создана по программе конверсии на базе танка Т-55. Она способна за один залп (22 ствола) выбросить в течение 5-6 с до 7200 кг жидкого агента на расстояние 75-100 м. Эффективность работы экспериментального образца такой установки, ее устойчивость к поражающим факторам взрыва скважинных зарядов ВВ массой до 60 т подтверждены результатами полигонных и промышленных испытаний, когда установку размещали на расстоянии 10-15 м от скважин взрываемого блока.

В то же время следует отметить, что во многом случайный характер развития и перемещения пылегазового облака в пространстве не позволяет рассматривать технические средства пылегазоподавления в качестве надежного средства борьбы с залповыми выбросами пыли и газов при массовых взрывах в карьерах. Это связано с тем, что область применения таких средств ограничена инерционностью механической системы (запаздывает с реакцией на изменение положения облака в пространстве), объемом воздействия (лимитирует объем взрываемого блока) и цикличностью процесса выброса агента (требуется значительное время на перезарядку установки). Поэтому наибольшую перспективу имеют все-таки средства пассивного пылегазоподавления, основанные на применении жидких агентов (воды, гидрогеля и т.п.), помещаемых непосредственно во взрывные скважины.

Основные выводы

1. Исследованиями установлено, что образование ядовитых газов при производстве массовых взрывов зависит от состава, кислородного баланса и физико-химических свойств ВВ. Повышение плотности ВВ вначале приводит к уменьшению количества ядовитых газов, затем, после достижения определенной плотности, дальнейшее ее увеличение приводит

к росту количества выделяющихся ядовитых газов, т.к. увеличение плотности ВВ приводит к снижению полноты его детонации.

2. Установлено, что физические свойства горных пород влияют на состав продуктов взрыва и особенно на количество ядовитых газов, поглощенных породой и выделяющихся в дальнейшем. Чем выше коэффициент крепости горных пород, тем больше образуется окиси углерода и, как правило, меньше окислов азота.

3. Исследованиями доказано, что к основным методам, снижающим концентрацию ядовитых газов при массовых взрывах на глубоких карьерах, относятся: производство взрывов в зажатой среде, взрывание высоких уступов, рационализация ассортимента ВВ, минимизация объема взрываемого блока, применение гидрозабойки, гелевой и активно-запирающей забоек, водораспылительных завес, воздушно-механической пены и др.

4. Получены зависимости, показывающие, что при взрывном рыхлении горного массива в "зажатой" среде объем пылегазового облака уменьшается на 30-35% по сравнению с рыхлением "на подобранный забой", что объясняется существенным уменьшением пылеобразования из-за отсутствия сброса пород в сторону свободной боковой поверхности уступа.

5. Установлено, что переход на взрывание высоких (с 10-15 на 20-30 м) уступов позволяет на 15-20% уменьшить количество окислов азота, выбрасываемого в его атмосферу. Увеличение в этом случае степени полезного использования энергии взрыва уменьшает температуру продуктов детонации и зону переизмельчения пород, что, в свою очередь, способствует снижению в 1,2 раза высоты подъема пылегазового облака и в 1,3-1,4 раза концентрации пыли в атмосфере карьера.

6. Установлено, что забойка скважинных зарядов ВВ является важным условием сокращения пылегазовых выбросов в атмосферу карьеров за счет снижения температуры продуктов детонации в результате

повышения на 15-20% степени использования энергии взрыва, увеличения времени воздействия продуктов детонации на стенки скважины, уменьшения ударно-воздушной волны и разброса кусков породы.

3. РАЗРАБОТКА МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ДЕТОНАЦИИ ЗАРЯДОВ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ И ЗАМЕРА УДАРНОЙ ВОЗДУШНОЙ ВОЛНЫ

3.1. Разработка методики замера скорости детонации в скважинных зарядах ВВ

Рассмотрим возможность использования метода Дотриша для замера скорости детонации скважинных зарядов ВВ, переходящих в горение в верхней части в промышленных условиях.

Сложность использования этого метода при замере скорости детонации скважинных зарядов заключается в том, что необходимо обеспечить начальную детонацию детонирующего шнура (ДШ) в определенной точке скважинного заряда от ДШ. Для этого на концы надеваются капсулы-детонаторы (КД) и отрезок ДШ, помещаемый в скважину, пропускаясь через стальные трубки (рис. 3.1).

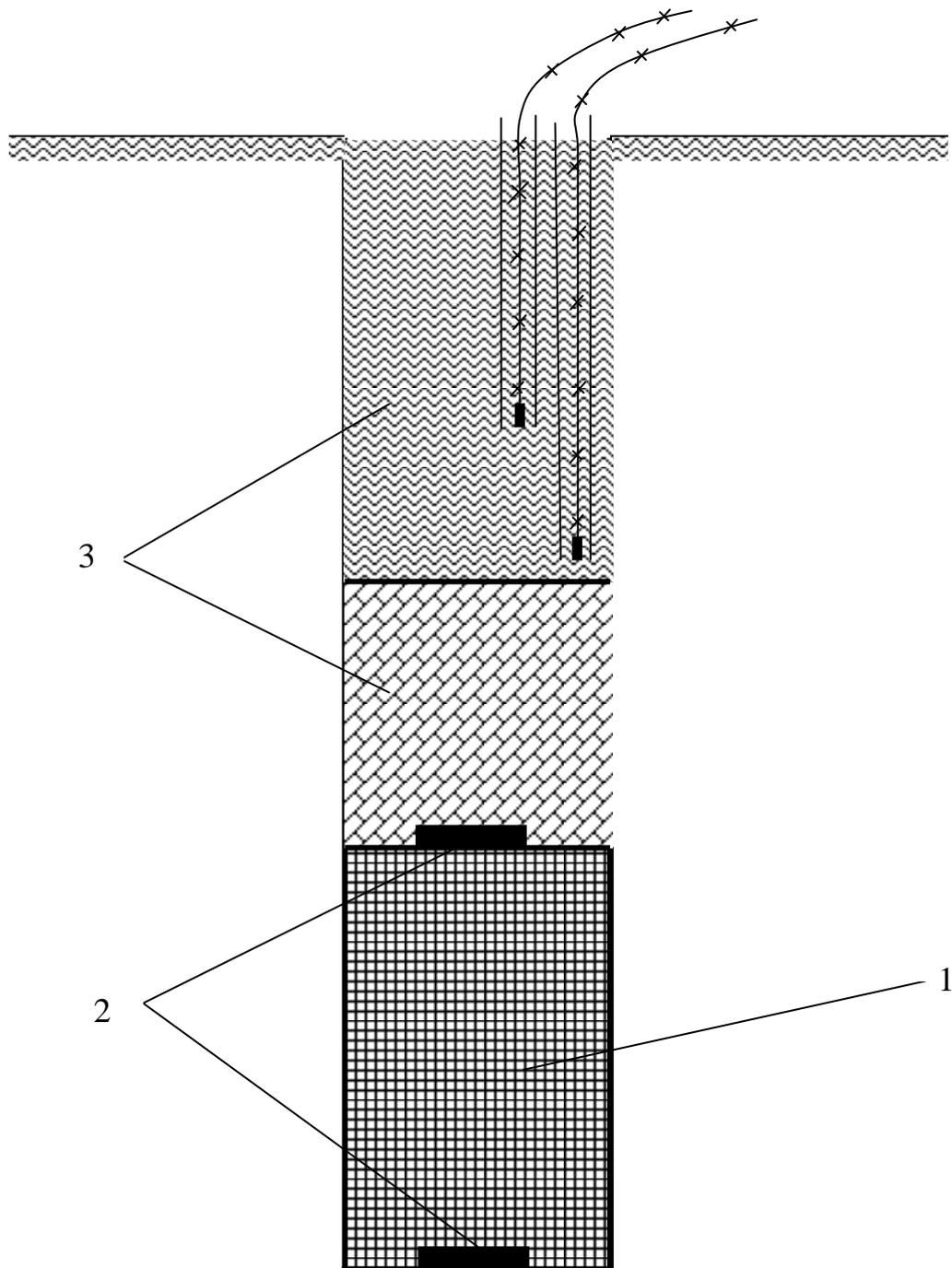
Так как измерительную пластину необходимо размещать за зоной разрушения взрывом заряда на расстоянии 10-20 м, то длина шнура будет составлять 30-50 м. Возникает вопрос о точности измерения, так как к ошибке, полученной ранее при использовании способа в лабораторно-промышленных условиях, добавится ошибка замера длины шнура.

В этом случае относительная ошибка замера скорости детонации устанавливается по выражению

$$\frac{dD}{D} = \pm \left(\frac{dl}{l} + \frac{dD_{uu}}{D_{uu}} + \frac{dh}{h} + \frac{dL}{L} \right) 100\%. \quad (3.1)$$

При тех же величинах относительных ошибок $\frac{dD}{D}$; $\frac{dh}{h}$ и абсолютных ошибок замера $dL = 50$ см при $L = 50$ м, $dl = 1$ см при $l = 0,5$ м получим

$$\frac{dL}{L} = \frac{50 \cdot 10^2}{50 \cdot 10^2} = 1\%, \quad \frac{dl}{l} = \frac{1 \cdot 100}{50} = 2\%. \quad (3.2)$$



1 – основной заряд; 2 – инициаторы; 3 – компенсационная забойка;
4 – стальные трубки; 5 – детонирующий шнур.

Рис. 3.1. Замер скорости детонации в скважинных зарядах ВВ

Суммарная ошибка при определении скорости детонации составит

$$\frac{dD}{D} = \pm 7,5\%,$$

что не превышает 10% значения, рекомендуемого для полигонных экспериментов в горном деле.

Найдем величину h – расстояние между отметками при ожидаемых скоростях детонации скважинных зарядов D , по формуле

$$h = \frac{ID_{\text{ш}}}{2D}$$

При исследовании дополнительного заряда ожидаемая скорость детонации составляет $D = 2000$ м/с, при этом

$$h = \frac{0,5 \cdot 7000}{2 \cdot 2000} = 0,9 \text{ , м}$$

При исследовании активной забойки интересуемым диапазоном скорости детонации является $D = 1000-3000$ м/с.

В этом случае имеем $h = 2-6$ м.

Следовательно, длина измерительной пластины будет составлять при исследовании дополнительного заряда 2 м.

При исследовании активной забойки для замера скорости детонации в ее нижней части длина измерительной пластины составляет 2,5-3 м.

При замере в средней части величина замерной пластины может быть оставлена той же, но при ее смещении относительно центра петли ДШ на 1,5-2 м, а при замере в верхней части – на 3-4 м. Необходимо отметить, что после предварительных экспериментов во всех случаях длина измерительной пластины может быть сокращена до 1-1,5 м при учитываемом ее смещении относительно центра петли ДШ.

Замер скорости детонации скважинных зарядов проводится на одиночных скважинах диаметром 100-200 м, глубиной 10-20 м. При замере скорости детонации дополнительного заряда в скважину помещается основной заряд, согласно паспорту предприятия, и дополнительный заряд

до устья скважины. В промежуточный заряд помещаются две трубки с ДШ, жестко зафиксированные относительно друг друга, расстояние между их концами составляет 0,5 м. петля ДШ длиной 40-50 м отводится от скважины и крепится на замерной пластине. Скорость детонации дополнительного заряда определяется в конце, середине и в начале заряда.

Аналогично проводятся эксперименты по замеру скорости детонации активной забойки. В этом случае скважина заряжается основным зарядом ВВ, дополнительным зарядом и активной забойкой из АС, флегматизированной водой. Результаты замеров определяются по величине h на пластинке с учетом смещения центра петли ДШ.

На основе проведенных исследований характеристик селитры Б проведены испытания выбора оптимального состава АС+ДТ переходящего в горение. При этом целью испытания являлось установления состава АС+ДТ, обладающего свойством перехода детонации в дефлограцию (горение) и обеспечивающей равномерное торможение взрывного импульса основного заряда, а также использовании энергии взрывчатого и дефлогрирующего разложения верхней части скважинного заряда на дробления основной части выхода негабарита уступа, что позволит повысить эффективность разрушения горного массива и ликвидировать выход негабарита из верхней части уступа.

Поставленная цель достигалась путем создания конструкции скважинного заряда верхней части скважины размещением над основным ВВ и смеси простейшего состава на основе гранулированной аммиачной селитры с дизельным топливом.

Исследования проводились совместно с СМПК-5 на карьерах АО «Гранит» ГАЖДК «Узбекистон темир йуллари». Взрываемые породы карьерного поля были представлены известняками, гранитами, метаморфизованными песчаниками и окварцованными породами с коэффициентом крепости 10-14 по шкале проф. М.М.Протоdjяконова.

Для установления оптимального состава смеси исследовались смесь гранулированные аммиачной селитры и дизельного топлива в следующих соотношениях по весу: ГАС - от 97 до 99%, ДТ – от 1 до 3%.

Для получения достоверных данных производилась серия взрывов одиночных скважинных зарядов индивидуально для каждого состава смеси. Изготовление смеси производилась не посредственно на месте заряжения путем заливки необходимого количество дизельного топлива в предварительных разрезанные бумажные мешки с гранулированной аммиачной селитры. Дозирование горючие добавки (1-3 % по весу) осуществлялось при помощи мерных кружек.

Результаты взрывов одиночных скважинных зарядов, произведенных с применением конструкции скважинного заряда ВВ переходящего в горения верхней части приведены в табл. 3.2.

Оценка степени дробления горных пород производилось взрывом серии массовых взрывов с применением предлагаемой конструкции скважинного заряда переходящего в горения по гранулометрическому составу взорванной горной массы, который замерялся методом фотопланометрии.

Исследовались следующие конструкции скважинных зарядов ВВ, рис. 3.1:

- а) с инертной забойкой;
- б) с активной забойкой;
- в) с компенсационной забойкой на основе смесей простейших ВВ.

В качестве основного ВВ использовалось ВВ типа граммонит 30/70, патрона боевика аммонит 6ЖВ. Активная забойка выполнялась из гранулированной аммиачной селитры флегматизированной 10-15% воды, инертная забойка из бурового шлама, компенсационная забойка состояла из двух частей, первая на основе смеси аммиачной селитры (АС) и дизельного топлива (ДТ) соответственно (АС-98 – 98,5%, ДТ-1,5 – 2%), вторая часть флегматизированная АС с 10% воды.

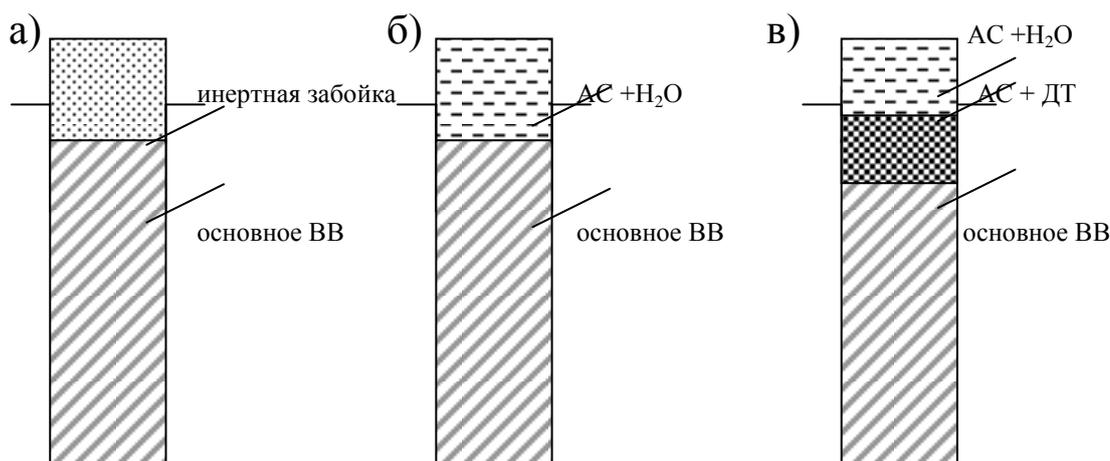


Рис. 3.1. Конструкции скважинных зарядов

Для каждого типа конструкции скважинных зарядов ВВ, число экспериментальных замеров составляло не менее 5.

3.2. Разработка методики замера параметров ударной воздушной волны при взрыве скважинных зарядов ВВ

Для разработки методики замера параметров ударной воздушной волны (УВВ) в ближней зоне скважинного заряда требуется оценка величины и длительности УВВ при взрыве скважинных зарядов ВВ. Давление ΔP (Па) при замере параметров ударной воздушной волны определяется по зависимости:

$$\Delta P = K \sqrt{m} \left(\frac{\sqrt{\theta}}{r} \right)^{1,5}, \quad (3.3)$$

где K – коэффициент, зависящий в основном от длины и вида забойки; m – число одновременно взрывааемых зарядов; θ – масса заряда, кг.

В соответствии с экспериментальными данными $\Delta P_{\max} \approx 600$ Па.

Длительность положительной фазы $T+$ составляет $1 \div 2$ мс

Однако замеры воздушной волны проводились на большом расстоянии от зарядов ВВ (порядка 100 м), т.е. при диаметре скважины 0,1÷ 0,2 м оно равнялось $\approx 1000 r_{зар}$. На этих расстояниях влияние различных видов и характеристик забойки на параметры УВВ сглаживаются. Анализ названных работ провёл В. П. Тарасенко и показал пути устранения ошибок измерений и ряда трудно объяснимых экспериментальных данных.

Так как $\Delta rP \ll R_r$ на одних и тех же расстояниях от заряда ВВ и длительность импульса волны напряжений в среде на порядок меньше длительности УВВ, то в работе предлагается проводить замеры УВВ на более близких расстояниях ($< 1000 r_{зар}$).

Для замера параметров УВВ в ближней зоне, при взрыве скважинных зарядов рассмотрим вопрос выбора способа и средств замера УВВ (напряжения, звукового давления, скорости смещения).

Для их замера могут быть использованы датчики:

- пьезоэлектрические (напряжение);
- микрофонные (звуковое давление);
- электродинамические (скорость смещения).

Первый вид датчиков используется для замера слабых УВВ, но при их применении возникают затруднения при интерпретации результатов замеров.

Микрофонные датчики существуют различных видов: динамические, ленточные, конденсаторные, пьезоэлектрические и др. их чувствительность лежит в пределах от единиц до сотен $\text{мВ} \cdot \text{н}^{-1} \cdot \text{м}^2$, равномерность частотной характеристики от 40÷50 Гц до 10÷15 кГц с неравномерностью ± 10 дБ. Однако их амплитудная характеристика линейна до давлений единиц ÷ сотен Па. Как было показано ранее, давление УВВ вблизи от зарядов ВВ достигает тысяча Па. Следовательно, микрофонные датчики также могут быть применены на больших расстояниях от зарядов ВВ.

Предлагается для замера УВВ на расстояниях $R \leq 100$ от зарядов ВВ использовать устройство, представляющее собой механическую колебательную систему в виде инерционного физического маятника. В качестве датчика на платформе закрепляется СПЭД. При подходе к платформе УВВ смещается, и датчик СПЭД выдает электрический сигнал. Чувствительность устройства может широко изменяться с изменением площади и массы платформы. Характер этого сигнала будет зависеть от параметров инерционного физического маятника и режима колебаний СПЭД.

Уравнение свободного движения физического маятника имеет следующий вид:

$$I\ddot{\varphi} + mg a \sin \varphi = 0, \quad (3.4)$$

где a – расстояние от центра массы до горизонтальной оси вращения; m – масса тела платформы; I – момент инерции тела относительно горизонтальной оси вращения O ; g – ускорение свободного падения.

При малых углах отклонения $\sin \varphi \approx \varphi$ имеем:

$$I\ddot{\varphi} + m g a \varphi = 0 \quad \text{или} \quad \ddot{\varphi} + \frac{m g a}{I} \varphi = 0 \quad (3.5)$$

Из этого уравнения следует, что φ будет изменяться по гармоническому закону с частотой:

$$\omega = \sqrt{\frac{m g a}{I}}. \quad (3.6)$$

Она совпадает с частотой колебаний описанного математического маятника, длина которого имеет величину:

$$l_0 = \frac{I}{m a}. \quad (3.7)$$

Период собственных колебаний физического маятника определяется по формуле:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mga}} = 2\pi \sqrt{\frac{l_0}{g}}. \quad (3.8)$$

Рассмотрим зависимость сигнала, снимаемого с датчика СПЭД на платформе от параметров инерционного маятника и характеристик УВВ при ее воздействии на колебательную систему.

Известно, что начало движения системы с одной степенью свободы относительно ее положения равновесия описывается линейным дифференциальным уравнением второго порядка с постоянными коэффициентами:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2h \frac{dx}{dt} + R^2 x = f(t), \quad (3.9)$$

где x – смещение от положения равновесия; t – время; h – коэффициент демпфирования; R_1 – коэффициент, учитывающий жесткость подвески СПЭД; $f(t)$ – внешняя воздействующая сила.

Поведение системы зависит от соотношения длительности воздействия внешней силы t_u и период собственных колебаний системы $T = \frac{2\pi}{R}$. Если $t_u < T$, то разложив дифференциальное уравнение (3.9), получим:

$$x = \frac{1}{R} \int_0^t f(u) \sin R_1(t-u) du, \quad (3.10)$$

то разложив под знаком интеграла $\sin R_1(t-u)$ и применяя теорему о среднем, находим:

$$x = \frac{1}{R} \cos R_1 \theta_1(t_u) \int_0^{t_u} f(u) du - \frac{1}{R} \sin R_1 \theta_2(t_u) \int_0^{t_u} f(u) du, \quad (3.11)$$

где $\theta_1(t_u)$ и $\theta_2(t_u)$ – фиксированные моменты времени.

Так как $R t_u \ll 2\pi \frac{t_u}{T}$ и мало по величине (в силу $t_u \ll T$), то $\cos R \theta_1(t_u) \approx 1$; $\sin R \theta_2(t_u) \approx 0$ и смещение от положения равновесия можно выразить уравнением:

$$x = \frac{1}{R} \int_0^{t_u} f(t) dt. \quad (3.12)$$

Таким образом, если продолжительность действия внешней силы мала по сравнению с периодом собственных колебаний системы, то отклонение системы пропорционально интегралу скорости смещения. При $t_u \gg T$, интегрируя дифференциальное уравнение (3.12) по частям, получим:

$$x = \frac{1}{R^2} f(t) - \frac{1}{R^2} \int_0^{t_u} f(u) \cos R(t-u) du. \quad (3.13)$$

Интегралом в этом пренебречь, и тогда:

$$x = \frac{1}{R^2} f(t), \quad (3.14)$$

следовательно, если продолжительность действия внешней силы велика по сравнению с периодом собственных колебаний системы, то отклонение системы пропорционально внешнему воздействию.

Так как известно аналитически, что разрушение горного массива и воздействие УВВ определяются импульсом воздействия, то в нашем случае приемлемым является первый случай ($t_u \ll T$).

Конструктивно инерционный маятник представляет собой металлическую платформу размером 0,2 x 0,3 x 0,016 м², массой 8 кг, подвешенную в раме. В центре платформы устанавливается датчик типа СПЭД. При выбранной конструкции маятника его период собственных колебаний, рассчитанный по формуле (4.7), составляет $T \approx 1,5$ с. Условие $T \geq t_u$ выполняется, так как $T \geq t_u \approx 10 \div 20$ мс.

Проведем выбор регистрирующей аппаратуры.

Для регистрации процессов с длительностью $T=1$ мс и частотой 1 кГц могут быть использованы светолучевые осциллографы, самописцы, магнитофоны.

Для карьерных условий наиболее приемлемыми являются портативные магнитофоны с последующей перезаписью сигнала на фоторегистратор.

Скорость протяжки современных магнитофонов: 19, 06; 9, 53; 4,76 см/с; частотные характеристики соответственно от 40 ÷ 80 до 5 ÷ 10000 Гц.

Для измерения ожидаемой длительности волн напряжений и УВВ эти магнитофоны вполне подходят. Для работы на линейном участке и получения амплитудной характеристики необходимо экспериментально установить расстояние датчиков от места взрыва и чувствительность регистраторов. Калибровка их осуществляется по существующим методикам. Скорость протяжки при перезаписи на шлейфный осциллограф установим, исходя из необходимости разрешения сигнала по длительности. При минимальной разрешающей способности $\Delta_{\min}=10$ мм и $t_u=1$ мс скорость протяжки составляет

$$v_{np} = \frac{\Delta}{t_u} = \frac{10}{1 \cdot 10^{-3}} = 10000 \quad \text{мм/с}$$

Такая скорость обеспечивается осциллографами Н117, Н700.

3.3. Условия проведения экспериментов и определение их числа

Опытно-промышленные исследования конструкций скважинных зарядов ВВ проведены на карьерах АО «Гранит» ГАЖДК «Узбекистон темир йуллари» с участием работников СПМК-5. Горные породы месторождения состоят из известняков, гранитов, кварцевых песчаников, окварцованных пород с коэффициентом крепости по шкале проф. М.М.Протождяконова $f=10\div 14$, скорость прохождения продольных волн 3000-4000 м/с, плотность пород 2,2 т/м³.

Исследовались конструкции скважинных зарядов четырех типов:

- а – с инертной забойкой;
- б – с активной забойкой;

в – с дополнительным зарядом с пониженной скоростью детонации;
г – с компенсационной забойкой.

Для определения параметров волн напряжения в массиве, УВВ и скорости детонации в скважинных зарядах бурились одиночные скважины глубиной 12 м, диаметром 214 мм.

Для определения качества дробления горной породы бурились небольшие взрывные блоки и производились массовые взрывы при различных конструкциях, при этом определялись гранулометрический состав взорванной горной массы и ширина развала.

Число экспериментов для каждого случая n определялось по формуле

$$n = t^2 \frac{K_{вар}^2}{K_{доп}^2}, \quad (1.90)$$

где t – доверительный интервал; $K_{вар}$ – коэффициент вариации; $K_{доп}$ – допустимая ошибка.

Коэффициент вариации, учитываемый при полигонно-промышленных экспериментах,

$$K_{вар} \leq 7,5\%$$

Допустимая ошибка по предварительным оценкам составляет

$$K_{доп} = 5 + 10\%$$

При надежности $P=0,90$ имеем

$$t = 1,65.$$

Число экспериментов будет

$$n = (1,65)^2 \frac{(7,5)^2}{(5 + 10)^2} = 3 + 5$$

Основные выводы

1. Разработана методика, позволяющая определять скорость детонации зарядов ВВ при массовых взрывах в промышленных условиях.

2. Установлен оптимальный состав смеси гранулированной аммиачной селитры с дизельным топливом, позволяющего повысить качество дробления горных пород и снижающего пылегазовыделения при взрыве скважинных зарядов ВВ.

3. Разработана методика замера параметров ударной воздушной волны при взрыве скважинных зарядов ВВ. Для замера параметров ударной воздушной волны в ближней зоне при взрыве скважинных зарядов ВВ в качестве средств замера выбраны пьезоэлектрические, микрофонные и электродинамические датчики.

4. РАЗРАБОТКА СПОСОБА СНИЖЕНИЯ ПЫЛЕГАЗО- ВЫДЕЛЕНИЙ ПРИ ВЕДЕНИИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

4.1. Разработка способа снижения пылегазовыделений при массовых взрывах на карьерах

Известен способ пылеподавления при массовых взрывах на карьерах, включающий заполнение каждой скважины зарядами ВВ и размещение герметичной оболочки с водой на поверхности взрываемого блока вблизи устья каждой скважины [46].

Недостатком способа является то, что вода, распыляемая из герметичной оболочки над поверхностью взрываемого блока, недостаточно полно смачивает мелкодисперсные продукты разрушения горных пород. Это связано с тем, что распыляемая вода имеет достаточно крупные размеры и поэтому в процессе перемещения пылевого облака над поверхностью взорванного блока частицы воды под собственным весом выпадают из облака, не реализовав в полной мере операции смачивания, коагуляции и осаждения пыли. Пылевое облако в дальнейшем беспрепятственно расширяется, поднимается вверх, под действием выталкивающей силы со стороны окружающего воздуха переносится на значительные расстояния и в виде осадков загрязняет окружающую территорию, нанося природе экологический ущерб. К недостаткам аналога следует также отнести значительные материальные затраты и трудоемкость операции размещения оболочек на блоке.

Наиболее близким по технической сущности является способ пылеподавления при массовых взрывах на карьерах, включающий заполнение каждой скважины зарядом ВВ и размещение в ней в качестве забойки, в пространстве над зарядом ВВ герметичной оболочки, заполненной водой [47].

Недостатком способа является то, что при взрыве заряда ВВ в отбойной скважине газообразные продукты детонации выталкивают водяную забойку из устья скважины и распыляют воду, также как и в аналоге, в виде крупных капель. При этом капли воды не успевают осуществить коагуляцию мелкодисперсной пыли, так как выпадают под собственным весом из пылевого облака. В дальнейшем пылевое облако поднимается вверх под действием выталкивающей силы со стороны окружающей атмосферы и переносится воздушными потоками на значительные расстояния.

Следует также отметить, что пылевое облако постепенно увеличивается в объеме, так как температура газов, продуктов детонации внутри облака больше температуры окружающего воздуха. Выталкивающая сила, действующая на пылевое облако, прямо пропорциональна его объему и поэтому по мере увеличения объема возрастает вертикальное ускорение пылевого облака. В то же время с увеличением объема пылевого облака понижается вероятность захвата пылевых частиц каплями воды что, соответственно, снижает эффективность процесса коагуляции пыли.

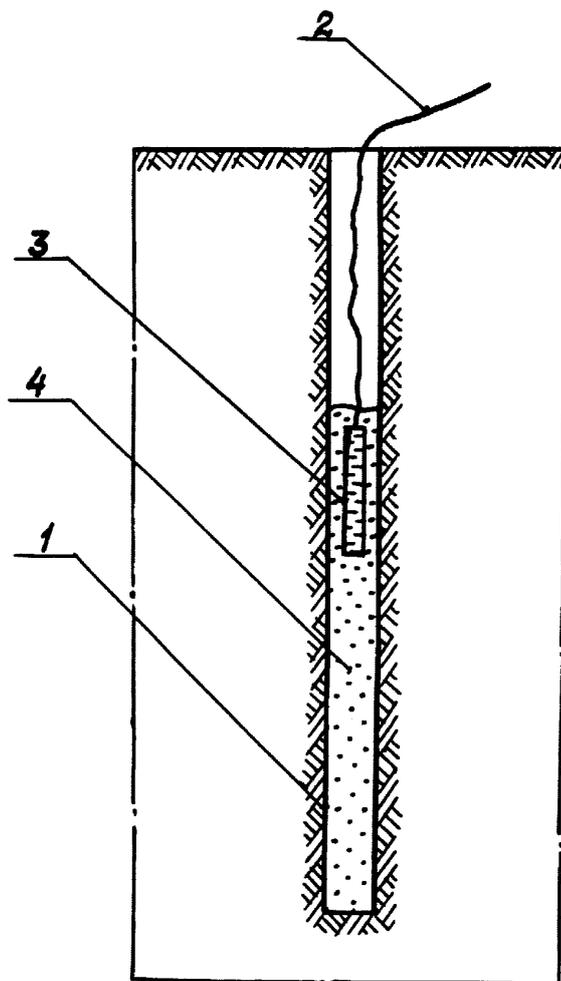
Задачей изобретения является повышение эффективности пылеподавления и увеличение коэффициента полезного действия энергии ВВ при массовых взрывах на карьерах. Интенсификация процесса осаждения пыли над местом взрыва и уменьшение удельного расхода взрывчатых веществ позволяет уменьшить загрязнение окружающей карьер территории, что благоприятно отражается на экологической обстановке в регионе производства горных работ.

Это достигается тем, что в способе пылеподавления при массовых взрывах на карьерах, включающем заполнение каждой скважины зарядом ВВ и размещение в ней герметичной оболочки, заполненной водой. Герметичную оболочку с водой размещают внутри заряда ВВ, а диаметр оболочки составляет 0,2-0,4 от диаметра скважинного заряда.

Для решения этой же задачи герметичная оболочка размещена в верхней части скважинного заряда.

Кроме того, для решения этой же задачи нижний торец герметичной оболочки размещают в средней части скважинного заряда.

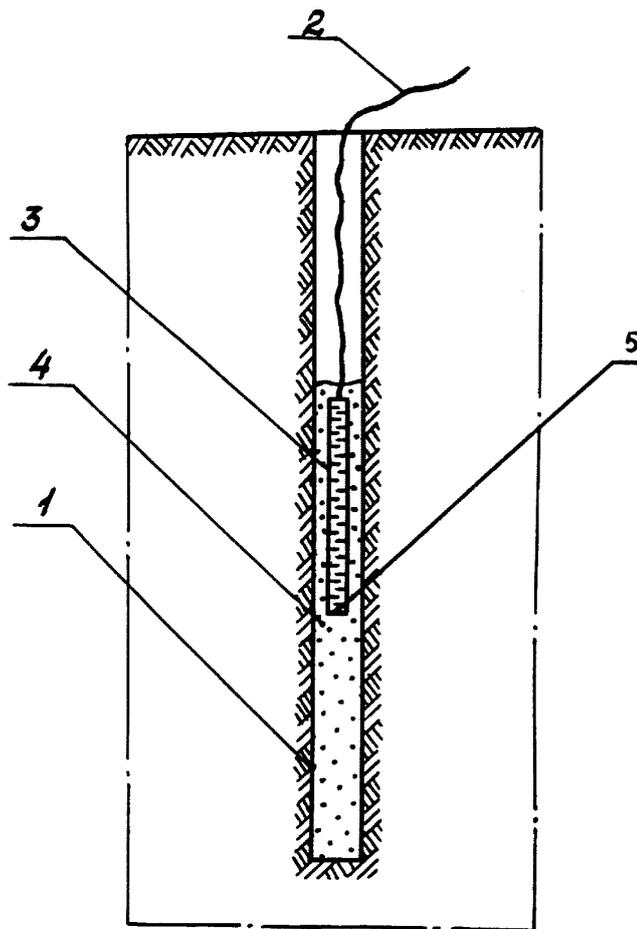
На рис. 4.1 показана схема заряжания каждой скважины при реализации предлагаемого способа пылеподавления с размещением герметичной оболочки внутри верхней части заряда.



1 – взрывная скважина; 2 – трос; 3 – герметичная оболочка с водой;
4 – заряд ВВ

Рис. 4.1. Способ пылеподавления с размещением герметичной оболочки внутри верхней части заряда

На рис. 4.2 показана та же схема заряжания с размещением нижнего торца герметичной оболочки с водой в средней части скважинного заряда.



1 – взрывная скважина; 2 – тросс; 3 – герметичная оболочка с водой;
4 – заряд ВВ; 5 – нижний торец герметичной оболочки

Рис. 4.1. Способ пылеподавления с размещением нижнего торца герметичной оболочки с водой в средней части скважинного заряда

Способ осуществляют следующим образом.

При взрывном дроблении массива формируют взрывные скважины 1, каждую из которых заполняют ВВ, после чего опускают в скважину 1 посредством тросса 2 герметичную оболочку 3 с водой, устанавливая ее нижний торец на ВВ. Затем заполняют этим же ВВ пространство между оболочкой 3 и стенкой скважины 1, а также пространство над оболочкой 3, образуя проектный скважинный заряд 4. При этом герметичная оболочка 3 с водой может быть расположена в верхней части (рис. 4.1) скважинного заряда 4 или ее нижний торец 5 размещают в средней его части (рис. 4.2).

Диаметр герметичной оболочки 3 с водой составляет 0,2-0,4 от диаметра скважинного заряда 4. В скважинах 1 также размещают средства инициирования ВВ.

После заряжания отбойных скважин 1 осуществляют взрыв зарядов 4 ВВ. Продукты детонации ВВ разрушают породный массив и при этом в ближней от заряда 4 зоне образуется сильно измельченная порода, которая в дальнейшем выносится газообразными продуктами детонации из скважины 1 и составляет основу пылевого облака. Под давлением продуктов детонации ВВ в скважине 1 происходит мгновенное сжатие и соответствующее этому процессу повышение температуры воды, заключенной в герметичной оболочке 3. В результате данного процесса вода переходит из жидкого в газообразное (закритическое, парообразное) состояние и передает в качестве рабочего тела свою долю парциального давления на стенки скважины 1 в месте расположения оболочки 3. Тем самым усиливается запирающий эффект на пути вылета продуктов детонации ВВ из скважины 1 и, следовательно, большая доля энергии взрыва расходуется на полезную работу разрушения породного массива. Затем продукты детонации ВВ вместе с продуктами мелкодисперсного разрушения (пылью) в едином потоке с образованным при сжатии воды парогазом вылетают из скважины 1. После их вылета из скважины 1 происходит свободное расширение в атмосферном пространстве газообразных продуктов детонации и водяного пара, в результате чего происходит снижение их температуры и давления. Это приводит к конденсации насыщенных паров воды в пылегазовой среде, что вызывает вакуум, то есть физическое состояние газа, когда его давление меньше атмосферного. Следствием вакуумирования является то, что пылегазовая среда сжимается внешним атмосферным давлением и уменьшается в объеме. В результате конденсации водяного пара образующиеся при этом капли воды смачивают частицы пыли, что приводит к увеличению веса этих частиц. При случайном столкновении смоченных частиц пыли друг с

другом происходит их слипание, т.е. реализуется процесс коагуляции и гравитационного осаждения, интенсивность которого повышается по мере уменьшения объема пылегазового облака. Длительность нахождения пыли во взвешенном состоянии при реализации данного способа минимальна, так как процесс пылеподавления реализуется на начальной стадии развития и перемещения пылевого облака. Таким образом, при реализации данного способа достигается высокая эффективность пылеподавления и повышается коэффициент полезного действия взрыва за счет запираания продуктов детонации в скважине.

Размещение нижнего торца 5 оболочки 3 с водой в средней части заряда 4 (рис. 4.2) обусловлено тем, что энергия верхней половины заряда 4 ВВ расходуется преимущественно на дробление верхней части породного уступа и именно верхняя часть взорванного заряда 4 ВВ составляет основу пылевого облака. Поэтому при указанном размещении оболочки 3 с водой эффект запираания ВВ, повышения КПД взрыва и пылеподавления реализуется в наибольшей степени.

Замещение центральной части верхней половины заряда 4 ВВ герметичной оболочкой 3 с водой приводит с одной стороны к уменьшению температуры продуктов детонации и, соответственно, к уменьшению максимальной величины давления, возникающего в продуктах детонации. При этом реализуется физический механизм повышения парциального давления парогаса. Этот механизм обусловлен низким молекулярным весом воды (18 г/моль), в то время как у газообразных продуктов детонации ВВ эта же величина имеет существенно большие значения (например, у двуокиси углерода - 44 г/моль). Следовательно, давление продуктов детонации ВВ вместе с парогасом, образованным при взрывном сжатии оболочки 3 с водой, принимает достаточно высокие значения, практически такие же, как без частичного замещения ВВ водой. При диаметре оболочки 3, равном 0,2 от диаметра скважинного заряда 4, обеспечивается полное смачивание частиц

пыли конденсатом с возможностью последующей коагуляции и осадений пыли. Увеличение диаметра оболочки 3 до 0,4 от диаметра скважинного заряда 4 интенсифицирует процесс смачивания пыли при эффективном взрывном дроблении породного массива. В данном случае более полно проявляется фактор экономии ВВ при эффективном пылеподавлении.

Таким образом, в результате коагуляции из пылевого облака, в предложенном способе, происходит выпадение укрупненных частиц пыли, связанных между собой поверхностными силами смачивающей воды. Освобожденное от пыли облако не загрязняет окружающую территорию. Одновременно с осадением пыли достигается дополнительный эффект нейтрализации ядовитых газов, образующихся при взрыве. Ядовитые газы типа оксидов азота (NO_x) и окиси углерода (CO) вступают в химическую реакцию с водой с образованием жидкой фазы кислоты, которая также осаждается в месте взрыва. Тем самым предотвращается попадание ядовитых газов в окружающую атмосферу и исключаются кислотные дожди.

4.2. Разработка способа подавления пылегазового облака при ведении взрывных работах на сложноструктурных месторождениях

Разработан способ, включающий продолжительную обработку пылегазового облака водяным паром во время и после взрыва. Пар получают от передвижного парогенератора путем введения в него воды, предварительно нагретой до температуры 65-70°C. Парогенератор устанавливают на безопасном от взрыва месте и направляют по направлению ветра. При этом до взрыва осуществляют обработку атмосферы над местом взрыва. Технический результат заключается в повышении эффективности пылеподавления и маневренности установок.

Известен способ пылеподавления на открытых горных работах [48], заключающийся в орошении поверхности массива водой, нагретой перед

распылением до 60-80°C, для предотвращения ветровой эрозии при отрицательных температурах. Недостатками данного способа являются значительный расход воды, ее замерзание в зимний период, возможность самозамерзания и недостаточное описание изобретения, в том числе физических параметров орошения и устройств для его осуществления.

Известен способ получения диспергированной воды для пылеподавления [49], использующийся для борьбы с пылью при отбойке, транспортировке и переработке различных материалов в горной промышленности и строительстве и заключающийся в подаче в атмосферу воды с температурой 120-180°C и абсолютным давлением 2-11 кг/см², где она мгновенно переходит в перегретое состояние и вскипает по всему объему, а образующийся пар разрывает струю и превращает ее в факел мелкокапельного диспергационного водяного аэрозоля. Недостатками данного способа является отсутствие описания способа для применения его при взрывных работах, а также использование перегретой воды, что экономически нецелесообразно.

Известно устройство для пылегазоподавления при массовых взрывах в карьере [50], состоящее из трубопроводов, размещенных по периметру внутренних берм одного или нескольких уступов карьера, при этом трубопровод нижележащего уступа соединен с трубопроводом вышележащего уступа посредством скважин, образуя гидравлическую систему, которая сообщена с дренажной системой карьера. Недостатками данного способа являются необходимость бурения дополнительных скважин и отсутствие возможности маневрировать направлением водяных завес при изменении направления ветра.

Известен способ пылеподавления при взрывных работах, принятый за прототип [51], заключающийся в продолжительной (до, во время и после взрыва) обработке пылегазового облака тонкораспыленной ионизированной жидкостью, например водой, из оросительных установок, размещаемых в чередующемся (по заряду ионов) порядке вне зоны их

возможного повреждения или разрушения под воздействием взрыва, или защищенных от взрывного воздействия. Недостатками данного способа являются сложность дополнительной ионизации воды и невысокая эффективность пылеподавления мельчайших фракций пыли (до 20 мкм), а также необходимость применения защищающих от физических воздействий специальных установок.

Техническим результатом рекомендуемого способа является повышение эффективности пылеподавления, маневренности соответствующих установок, возможности проведения пылеподавления на безопасном расстоянии от взрывных работ.

Технический результат достигается тем, что способ пылеподавления при взрывных работах, включающий продолжительную обработку пылегазового облака пылеподавателем во время и после взрыва. В качестве пылеподавателя используют водяной пар, полученный от передвижного парогенератора путем введения в него предварительно нагретой до температуры 65-70°C воды, установленного на безопасном от взрыва месте и направленного по направлению ветра, при этом до взрыва осуществляют обработку атмосферы над местом взрыва.

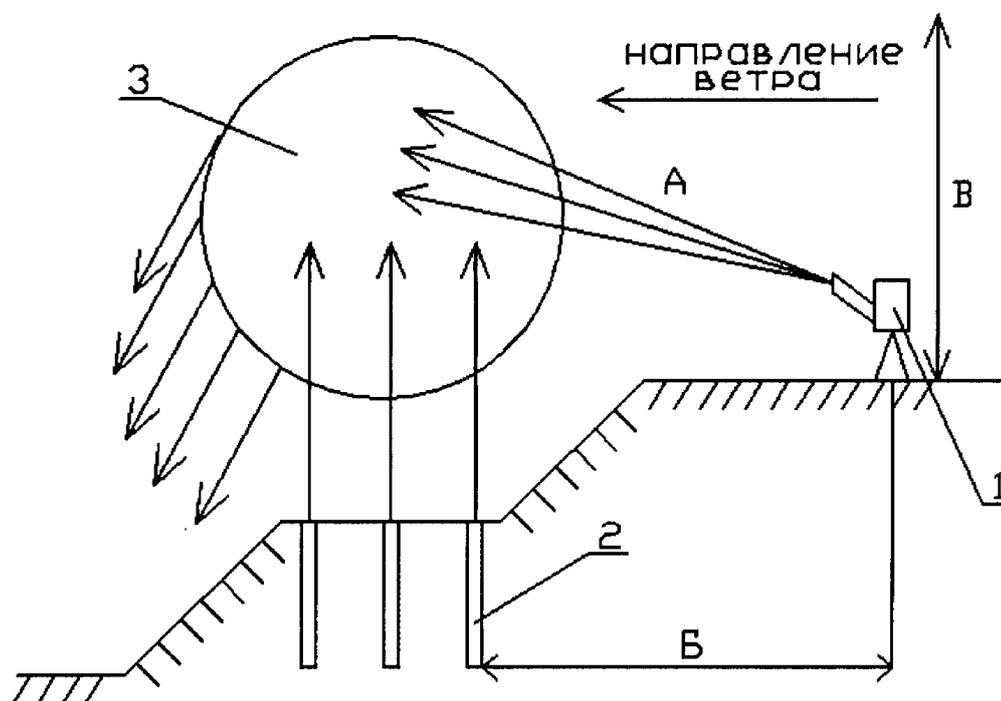
Способ представлен на рис. 4.3 и осуществляется следующим образом:

1. Перед проведением серии взрывов выбирается преобладающее направление ветра и устанавливается по его направлению портативный парогенератор на безопасном для нахождения людей расстоянии от взрыва. Такое расстояние варьируется от 200 до 300 метров (Б), в зависимости от вида взрывных работ.

2. Для использования рекомендуется парогенератор – 1 или ряд парогенераторов, производительностью 50-60 кг пара/час, давление пара на выходе - 0,15-0,25 МПа, мощность электродвигателя 55 кВт.

3. К парогенератору – 1 подается вода, нагретая до температуры 65-70°C, что является оптимальным значением для получения температуры

воды на выходе - 100°C . Источником тепла для круглогодичного нагрева воды могут быть генераторные станции, котельные, биогазовые установки, терриконы и т.п.



1 – парогенератор; 2 – взрывная скважина; 3 - облако ядер кристаллизации пара в атмосфере; А – расстояние от парогенератора до конденсирующегося насыщенного мокрого тумана; Б – безопасное расстояние парогенератора (200-300 м); В – высота конденсирующегося насыщенного мокрого тумана

Рис. 4.3. Способ подавления пылегазового облака при ведении взрывных работах на сложноструктурных месторождениях

4. За 10-15 минут до начала взрывных работ начинает работу парогенератор, переноса на высоту (В) и расстояние (А) конденсирующийся насыщенный мокрый туман в летнее время и центры кристаллизации снежинок в зимнее время.

5. При взрыве ВВ облако пыли смешивается с облаком ядер кристаллизации пара в атмосфере – 3, двигаясь по направлению ветра и под действием силы тяжести и коагулируя между собой, оседает в безопасной для рабочих зоне, не превышающей 200-300 м.

6. Для конкретных условий взрывания в карьере количество парогенераторов и их технические характеристики должны определяться расчетно-экспериментальным методом.

Как известно, взрыв является мощным источником мгновенного выделения в атмосферу карьера и окружающую среду пыли различных фракций. Анализ дисперсного состава пыли показывает, что массовая доля крупной фракции размером 50-100 мкм с ростом расстояния от места взрыва уменьшается с 81,7% до 16,7% (600 м). Таким образом, около 95% пыли по массе за границами карьера будет состоять из фракций крупностью 4-50 мкм, а на «безопасном» расстоянии для людей при взрывных работах (300 м) количество пыли, опасной для человека фракции 5-50 мкм, превышает 60%. Изобретение основано на создании тумана из пара и воздушных масс, направленного по розе ветров от взрыва на карьере, обеспечивая при этом смещение пыли и ее падение до расстояния, где могут находиться люди.

Влажный насыщенный пар содержит мельчайшие капельки жидкости (диаметром 10-40 мкм). Установлено, что время витания капель влажного насыщенного пара (без ветровой нагрузки) с высоты 3 метров варьируется от 1 минуты до 1 часа. При влажностном насыщении и пересыщении воздуха (газа) происходит процесс фазового перехода водяного пара в жидкость, т.е. его конденсация. Конденсация выражается в образовании зародышей-комплексов молекул пара с пониженной кинетической энергией. Если такие комплексы оказываются устойчивыми, то они в дальнейшем за счет конденсационного роста превращаются во взвешенные в газе или выделяющиеся на поверхности капли. Основой для образования зародышей и в последующем капель являются центры, так называемые ядра конденсации.

Конденсация паров воды на поверхности гигроскопических частиц (пыли) происходит значительно быстрее, чем у негигроскопических, так как требуется, чтобы пересыщение было выше предела гигроскопичности.

При быстром пересыщении газа (по сравнению с постепенным) образуются более однородные и многочисленные капли, т.к. активными являются большие и малые ядра конденсации. При конденсационном пылегазоулавливании водяные пары в пересыщенном газе конденсируются на частицах мелкодисперсной пыли, обволакивают их водяной пленкой или растворяют. Полученный конденсат осаждается на относительно холодных поверхностях или выпадает в осадок по мере роста капель, чему способствуют и все виды коагуляции (турбулентная, электростатическая, гравитационная и т.д.).

Важное значение использования пароконденсационного способа пылеподавления приобретает при отрицательной температуре воздуха. При положительных температурах содержание пыли в воздухе приближается к санитарным нормам, при отрицательных температурах оно нередко достигает 1000-3000 мг/м³, а иногда и более. Резкое снижение запыленности происходит обычно в апреле, а очередное ее повышение - в октябре, то есть в переходные, с точки зрения направления тепло- и массообменных процессов, периоды года при $t_0 = -(10 \div 15)^\circ\text{C}$.

Испарительные процессы с поверхности земли, напротив, увеличивают температуру воздуха на 3-5^oC. Они же, а также процессы сублимации снега и льда на поверхности земли, высвобождают связанные тонкодисперсные частицы пыли, которые могут переноситься ветром в атмосфере Земли на значительные расстояния и в больших масштабах (пыльные бури). Конденсация пара в атмосфере с выпадением осадков, напротив, способствует улавливанию витающих твердых частиц и газообразных продуктов и их выпадению на поверхность земли, способствуя очистке атмосферы. Еще одним важным отличием в применении пара является тот факт, что при отрицательных температурах окружающей среды пар в атмосфере превращается в снежинки малого размера, а не в мелкие льдинки, не способные к взаимодействию с пылевым облаком при применении тонкодисперсной воды.

Максимального снижения запыленности воздуха в пределах зоны взрывных работ можно достичь долговременным увлажнением атмосферы с использованием пара, при этом используемые средства борьбы с пылью являются экономичными, маневренными и годными к эксплуатации при различных температурных интервалах.

Основные выводы

1. Разработан способ снижения пылегазовыделений, обеспечивающий повышение эффективности пылеподавления и увеличение коэффициента полезного действия энергии ВВ при массовых взрывах на карьерах. Интенсификация процесса осаждения пыли над местом взрыва и уменьшение удельного расхода взрывчатых веществ позволяет уменьшить загрязнение окружающей карьер территории, что благоприятно отражается на экологической обстановке в регионе производства горных работ.

2. Разработан способ, включающий продолжительную обработку пылегазового облака водяным паром во время и после взрыва, позволяющий повысить эффективность пылеподавления. Максимального снижения запыленности воздуха в пределах зоны взрывных работ можно достичь долговременным увлажнением атмосферы с использованием пара, при этом используемые средства борьбы с пылью являются экономичными, маневренными и годными к эксплуатации при различных температурных интервалах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации на основе выполненных исследований дано решение научно-технической задачи по разработке способа снижения пылегазовыделений, обеспечивающего повышение эффективности пылеподавления и увеличение коэффициента полезного действия энергии ВВ при массовых взрывах, имеющего важное значение при открытой разработке месторождений полезных ископаемых.

Основные научные результаты диссертации, практические выводы и рекомендации сводятся к следующему:

1. Исследованиями установлено, что образование ядовитых газов при производстве массовых взрывов зависит от состава, кислородного баланса и физико-химических свойств ВВ. Повышение плотности ВВ вначале приводит к уменьшению количества ядовитых газов, затем, после достижения определенной плотности, дальнейшее ее увеличение приводит к росту количества выделяющихся ядовитых газов, т.к. увеличение плотности ВВ приводит к снижению полноты его детонации.

2. Установлено, что физические свойства горных пород влияют на состав продуктов взрыва и особенно на количество ядовитых газов, поглощенных породой и выделяющихся в дальнейшем. Чем выше коэффициент крепости горных пород, тем больше образуется окиси углерода и, как правило, меньше окислов азота.

3. Исследованиями доказано, что к основным методам, снижающим концентрацию ядовитых газов при массовых взрывах на глубоких карьерах, относятся: производство взрывов в зажатой среде, взрывание высоких уступов, рационализация ассортимента ВВ, минимизация объема взрываемого блока, применение гидрозабойки, гелевой и активно-запирающей забоек, водораспылительных завес, воздушно-механической пены и др.

4. Получены зависимости, показывающие, что при взрывном рыхлении горного массива в "зажатой" среде объем пылегазового облака уменьшается на 30-35% по сравнению с рыхлением "на подобранный забой", что объясняется существенным уменьшением пылеобразования из-за отсутствия сброса пород в сторону свободной боковой поверхности уступа.

5. Установлено, что переход на взрывание высоких (с 10-15 на 20-30 м) уступов позволяет на 15-20% уменьшить количество окислов азота, выбрасываемого в его атмосферу. Увеличение в этом случае степени полезного использования энергии взрыва уменьшает температуру продуктов детонации и зону переизмельчения пород, что, в свою очередь, способствует снижению в 1,2 раза высоты подъема пылегазового облака и в 1,3-1,4 раза концентрации пыли в атмосфере карьера.

6. Установлено, что забойка скважинных зарядов ВВ является важным условием сокращения пылегазовых выбросов в атмосферу карьеров за счет снижения температуры продуктов детонации в результате повышения на 15-20% степени использования энергии взрыва, увеличения времени воздействия продуктов детонации на стенки скважины, уменьшения ударно-воздушной волны и разброса кусков породы.

7. Разработана методика, позволяющая определять скорость детонации зарядов ВВ при массовых взрывах в промышленных условиях.

8. Установлен оптимальный состав смеси гранулированной аммиачной селитры с дизельным топливом, позволяющего повысить качество дробления горных пород и снижающего пылегазовыделения при взрыве скважинных зарядов ВВ.

9. Разработана методика замера параметров ударной воздушной волны при взрыве скважинных зарядов ВВ. Для замера параметров ударной воздушной волны в ближней зоне при взрыве скважинных зарядов ВВ в качестве средств замера выбраны пьезоэлектрические, микрофонные и электродинамические датчики.

10. Разработан способ снижения пылегазовыделений, обеспечивающий повышение эффективности пылеподавления и увеличение коэффициента полезного действия энергии ВВ при массовых взрывах на карьерах. Интенсификация процесса осаждения пыли над местом взрыва и уменьшение удельного расхода взрывчатых веществ позволяет уменьшить загрязнение окружающей карьер территории, что благоприятно отражается на экологической обстановке в регионе производства горных работ.

11. Разработан способ, включающий продолжительную обработку пылегазового облака водяным паром во время и после взрыва, позволяющий повысить эффективность пылеподавления. Максимального снижения запыленности воздуха в пределах зоны взрывных работ можно достичь долговременным увлажнением атмосферы с использованием пара, при этом используемые средства борьбы с пылью являются экономичными, маневренными и годными к эксплуатации при различных температурных интервалах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бертокс П., Радд Д. Стратегия защиты окружающей среды от загрязнений. – М.: Мир, 1980. – 606 С.
2. Дубнов Л.В., Бахаревич Н.С., Романов А.И. Промышленные ВВ. М., "Недра", 1973. 318 с.
3. Росси Б.Д. Ядовитые газы при подземных взрывных работах. М., «Недра», 1966, 92 с.
4. Худяков М. Я. Определение количества ядовитых газов при взрывных работах в шахтах. - «Техника безопасности, охрана труда и горноспасательное дело». М., 1973, №8, с. 24–25.
5. Каркашадзе Г.Г., Новик И.В. Разработка эффективного способа пылеподавления при производстве массовых взрывов на рудных карьерах // Записки Горного института, т. 148 (2). -Санкт-Петербург, 2001. - С. 50-56.
6. Зберовский А.В. Охрана атмосферы в экосистеме "карьер – окружающая среда – человек". - Днепропетровск: РИО АП ДКТ, 1997. - 136 с.
7. Единые правила безопасности при взрывных работах / Редкол.: М.П.Васильчук и др. -М.:НПО ОБТ, 1992.-238 с.
8. Рубцов С.К., Шеметов В.П., Бибики И.П. Исследование рациональных параметров конструкции и состава забойки скважинных зарядов в условиях карьера Мурунтау // Горный вестник Узбекистана, 2002. -№ 1.- С. 27-29.
9. Методы снижения выбросов пыли и газов при массовых взрывах в карьерах и шахтах /Н.М.Бондаренко, В.В.Перегудов, Е.И.Киковка и др. // Горный журнал, 1992.–№ 10. – С. 46-49.
- 10.Новый способ пылеподавления при производстве массовых взрывов / Г.Г.Каркашадзе,И.В.Новиков, В.М.Олименко и др. // Горный журнал, 2002. - № 4. - С. 73-74.

11. Джое В.Ф., Сытенков В.Н., Гончаров В.В. Способы снижения пылегазовыделений при массовых взрывах на карьерах // *Металлургическая и горная промышленность*, 1995.–№ 1. – С. 56-57.
12. Михайлов А.М. Охрана окружающей среды на карьерах. - Киев: Высшая школа, 1990. -186 с.
13. Приматов Г. Пушка все не стреляет // *Изобретатель и рационализатор*, 1990.– № 9. - С. 16-17.
14. Баум Ф.А., Станючков К.П., Шехтер Б.И. Физика взрыва. –М.: Физматгиз, 1959. с.800.
15. Бересневич П. В., Михайлов В. А., Филатов С. С. Аэрология карьеров: Справочник.– М.: Недра, 1990. – 280 с.
16. Ушаков К. З., Михайлов В. А. Аэрология карьеров. М., «Недра»,1975, 248.
17. Друкованный М.Ф., Ильин В.И., Ефремов Э.И. Буровзрывные работы на карьерах. – М.: Недра, 1978. – 390 с.
18. Друкованный М.Ф. Методы управления взрывом на карьерах. – М.: Недра, 1973. – 415 с.
19. Бибик И.П. Выбор и обоснование параметров процессов буровзрывных работ для повышения эффективности горно-транспортного оборудования глубоких карьеров. Дисс. ... канд. техн. наук. – Навоий, 2002. – 119 с.
20. Бибик И.П., Гончаров В.В., Шеметов В.П., Косенко В.И., Лашко В.Т. Оптимизация параметров БВР за счет использования в забойке заряда асимметричного действия // *Горный вестник Узбекистана*. – Навоий, 2001. – №2. – С. 47-49.
21. Сытенков В.Н. Управление пылегазовым режимом глубоких карьеров. – М.: ООО «Геоинформцентр», 2003. – 288 с.
22. Рахматулин Х.Л. О распространении волн в многокомпонентных средах. // *Прикладная математика и механика*. – Т., 1969. – Т. 33. – В. 4.

23. Катанов И.Б. Влияние пеногелевой забойки на эффективность взрывной подготовки пород. В кн. Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники. // Электронное конференции по подпрограмме «Топливо и энергетика»: Тез. докл. науч. конф. – М., 2002.– С. 23-25.
24. Катанов И.Б. Пеногелевая забойка взрывных скважин на открытых горных работах. // Уголь. – М., 1994. – №2. – С. 44-46.
25. Рубцов С.К., Шеметов В.П., Бибик И.П., Исследование рациональных параметров конструкции и состава забойки скважинных зарядов в условиях карьера Мурунтау. // Горный вестник Узбекистана. – Навоий, 2002. – №1. – С. 27-29.
26. Сеинов Н.П., Жариков И.Ф., Валиев Б.С., Удачин В.Г. Об эффективности применения активной забойки // Взрывное дело. – М.: Недра, 1971. – №71(28). – С.134-139.
27. Чакветадзе Р.А. Разработка активной забойки скважинных зарядов ВВ и определение её параметров с целью повышения эффективности разрушения горных пород // Дисс. ... канд. техн. наук. – М., 1985. – 126 с.
28. Борьба с пылью и ядовитыми газами при буровзрывных работах на карьерах / Михайлов В.А., Бересневич П.В., Лобода А.И., Радионов Н.Ф., -М.: Недра, 1971.-120с.
29. Очиров В.С. Исследование процесса формирования и распространения пы-легазового облака при взрывных работах в карьере / «Вестник ВСГТУ. -Улан-Удэ: 2001.
30. Фурса И.В. Исследование процессов формирования, рассеивания и гидрообеспыливания пылегазового облака при массовых взрывах в карьерах. Дис. на соис. уч. степ. канд. техн. наук. -Караганда: -1980.273
31. Никитин В.С., Битколов Н.З. Проектирование вентиляции в карьерах. М.: Недра, 1980.-С. 171.

32. Никитин В.С., Битколов Н.З. Проветривание карьеров. -М.: Недра, 1975. -256с.
33. Бересневич П.В., Михайлов В.А. Способы снижения запыленности и загазованности воздуха при массовых взрывах в карьерах // НИИ Руд.вентиляции.
34. Адушкин В.В., Когарко С.М., Лямин А.Г. Расчет безопасности расстояний при газовом взрыве в атмосфере // В кн. Взрывное дело. 75/32, -М.: Недра, 1975. -С.82-94.
35. Пути сокращения пылевыделения при массовых взрывах в карьерах. Бересневич П.В., Фурса И.В., Николин Г.Я и др. // Горный журнал, -1980, -№8. -54-56с.
36. Мосинец В.Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах. -М.: Недра, 1976, -271с.
37. Ушаков К.З., Бурчаков А.С. и др. Аэрология горных -М: Недра, 1987. -421с.
38. Филатов С.С. О предотвращении опасных загрязнений атмосферы глубоких карьеров. // Горный журнал, 1979, №1, -С.59-61.
39. Разработка методов улучшения атмосферы в карьере и уменьшение отрицательного воздействия взрывных работ на окружающую среду / Отчет. Д412. П/я В-8761.-Л.: 1981-84.
40. Друковенный М.Ф., Куц В.С., Ильин В.И. Управление действием взрыва скважинных зарядов на карьерах. -М.: Недра, 1980. -223с.274
41. Чудаков Т.Ч. Теория и практика обеспыливания атмосферы карьеров. —М.: Недра, 1973. -160с.
42. Мухитов И.О. Изыскание эффективного способа пылеподавления при взрывных работах на открытых разработках. -Автореф. дис. на соиск. уч. степ.канд.техн.наук. -Алма-Ата: Каз.ПИ, 1975. -18с.
43. Ю.П.Протасов Разрушение горных пород. МГГУ, Высшее горное образование.-М.: -1945.

44. Проблемы и нормализация атмосферы на открытых горных работах отрасли / Мосинец В.Н., Лукьянов А.Н., Аверкин Л.А., Конорев М.М. // Горн. Журнал. 1991,-№1. -С.48-52.

45. Филатов С.С., Михайлов В.А., Вершинин А.А. Борьба с пылью, газами на карьерах. -М.: Недра. 1973.

46. Борьба с пылью и ядовитыми газами при буровзрывных работах на карьерах. Михайлов В.А., Бересневич П.В., Лобода А.И., Родионов Н.Ф. М.: Недра, 1971. - с.81.

47. Бересневич П. В. , Михайлов В.А., Филатов С.С. Аэрология карьеров: Справочник. - М.: Недра, 1990. - с.81.

48. Патент РФ № 2142564, МПК E21F 5/02, 1999 г.

49. Патент РФ № 2014470, МПК E21F 5/02, 1994 г.

50. Патент РФ № 2301342, МПК E21F 5/14, 2007 г.

51. Патент РФ № 2273738, МПК E21F 5/02, 2006 г.