

**Министерство образования и науки Украины  
Национальный горный университет**

**ЛАБИНСКИЙ Константин Николаевич**

УДК 622.268.1:622.236.4:622.235.3

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШПУРОВЫХ ЗАРЯДОВ,  
ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ПОВЫШЕНИЕ СКОРОСТИ СООРУЖЕНИЯ  
ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК**

Специальность 05.15.04 - “Шахтное и подземное строительство”

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**Днепропетровск – 2004**

### **Диссертацией является рукопись**

Работа выполнена на кафедре “Строительство шахт и подземных сооружений” Донецкого национального технического университета Министерства образования и науки Украины

### **Научный руководитель:**

доктор технических наук, профессор  
**ШЕВЦОВ Николай Романович**, заведующий кафедрой  
“Строительство шахт и подземных сооружений”  
Донецкого национального технического университета  
Министерства образования и науки Украины

### **Официальные оппоненты:**

доктор технических наук, старший научный сотрудник  
**ПЕТРЕНКО Владимир Дмитриевич**, заведующий кафедрой  
“Туннели, основы и фундаменты” Государственного  
технического университета железнодорожного транспорта  
Министерства образования и науки Украины (г. Днепропетровск)

кандидат технических наук, доцент  
**УСИК Игорь Иванович**, профессор кафедры “Строительные геотехнологии и геомеханика” Национального горного университета Министерства образования и науки Украины (г. Днепропетровск)

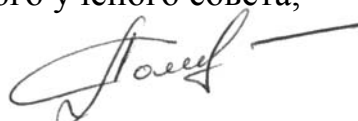
Ведущая организация - **Донбасский государственный технический университет**, кафедра “Строительные геотехнологии и горные сооружения” Министерства образования и науки Украины (г. Алчевск).

Защита диссертации состоится “17” декабря 2004 г. в \_\_\_\_\_ часов на заседании специализированного ученого совета Д 08.080.04 при Национальном горном университете Министерства образования и науки Украины (49027, Украина, г. Днепропетровск - 27, просп. К.Маркса, 19).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Национального горного университета Министерства образования и науки Украины (49027, Украина, г. Днепропетровск - 27, просп. К.Маркса, 19).

Автореферат разослан “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2004 г.

Ученый секретарь специализированного ученого совета,  
кандидат технических наук, доцент



А.В. Солодянкин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В общем комплексе строительства и реконструкции современных шахт значительную часть всего объема работ занимает проведение горизонтальных и наклонных горных выработок. Необходимое обновление шахтных фондов в условиях новых рыночных отношений требует наряду с повышением темпов строительства снижения его себестоимости.

С увеличением глубины ведения работ также усложняются условия проведения выработок, в частности повышается крепость горных пород и возрастает количество метана, который выделяется в рудничную атмосферу. Наиболее распространенным способом разрушения пород остается буровзрывной, а наличие метана и взрывчатой угольной пыли обуславливает использование предохранительных взрывчатых веществ. Но с повышением уровня предохранительности ВВ снижается потенциальная энергия взрыва, что приводит к снижению коэффициента использования шпуров, а значит, к снижению темпов проведения горных выработок.

Анализ ведения взрывных работ показывает, что перспективным направлением повышения эффективности буровзрывной технологии является использование донной забойки шпуров. Теоретическое обобщение и разработка технологических решений по ее внедрению является актуальной научно-технической задачей.

**Связь работы с научными программами и темами.** Тема диссертации принадлежит к той части основных научных направлений кафедры СШ и ПС ДонНТУ которая касается разработки эффективных и безопасных технологических решений по проведению горных выработок, которая касается эффективности буровзрывной технологии проведения горизонтальных и наклонных выработок, и отражена в техотчетах госбюджетных тем Г-10-2000 и Н-6-2000, где автор диссертации был ответственным исполнителем.

**Цель работы** заключается в повышении скорости сооружения горных выработок путем разработки эффективной конструкции шпуровых зарядов.

**Идея работы** состоит в использовании донной забойки, которая приводит к перераспределению энергии взрыва в донной части шпура перпендикулярно его оси для повышения эффективности буровзрывных работ.

**Объект исследования** – процесс разрушения горных пород при проведении выработок по буровзрывной технологии.

**Предмет исследования** – конструкция шпурового заряда с использованием донной забойки.

### **Основные задачи исследований:**

- провести теоретические и экспериментальные исследования взаимодействия продуктов детонации и донной забойки и установить механизм разру-

шающего действия донной забойки;

- установить методику расчета эффективных параметров донной забойки, при которых обеспечивается максимальная эффективность ее использования;
- разработать технологические регламенты для проведения горных выработок по буровзрывной технологии с применением донной забойки;
- провести промышленные испытания использования донной забойки при буровзрывной технологии проведения горных выработок, определить уровень эффективности и перспективы ее применения.

**Методы исследований:** для достижения поставленной в работе цели за методическую основу принят комплексный подход, который включает научно-техническое обобщение результатов взаимодействия продуктов детонации с забойкой шпуров, лабораторные и шахтные исследования взаимодействия продуктов детонации и забойки, разработку механизма ее действия, промышленную апробацию параметров донной забойки, технико-экономический анализ ее применения.

**Основные научные положения и результаты, которые выносятся на защиту:**

1. Механизм двухстадийного действия донной забойки заключается в перераспределении энергии взрыва из осевого направления в радиальное при столкновении забойки с продуктами детонации, которое вызывает ее расклинивание в зоне импульса контактной силы и в зоне гидроудара, причем между этими зонами располагается нерабочая зона, что позволяет сформулировать принцип расчета эффективной длины донной забойки за счет исключения нерабочей зоны забойки.

2. Отношение длин зон расклинивания и гидроудара определяется параметром пропорциональности, который нелинейно зависит от плотностей продуктов взрыва во фронте детонационной волны и материала донной забойки, при равенстве которых он принимает свое максимальное значение, равное единице, что позволяет получить максимальную эффективность взрывных работ за счет использования донной забойки.

**Научная новизна полученных результатов:**

1. Впервые раскрыт механизм двухстадийного действия донной забойки, согласно которого продукты детонации заряда взрывчатого вещества на стадии конденсированного состояния вызывают ее расклинивание и возникновение радиальных напряжений, которые разрушают породу перпендикулярно оси шпура, а ударная волна, которая идет по забойке к забою шпура, отражается от препятствия и осуществляет эффект гидроудара с удвоением давления на границе сред «забойка - массив».

2. Впервые установлено, что длина зоны расклинивания нелинейно зависит от радиуса точки сопряжения, плотности продуктов детонации и материала донной забойки.

3. Впервые установлено, что длина зоны гидроудара определяется параметром пропорциональности между ней и длиной зоны расклинивания, который нелинейно зависит от плотности продуктов детонации ВВ и плотности материала заполнителя донной забойки, и принимает свое максимальное значение  $k=1$  при равенстве этих плотностей.

**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций работы** подтверждена: корректностью применения фундаментальных положений физики взрыва и гидравлики к исследуемым процессам; лабораторными исследованиями механизма взаимодействия продуктов детонации с забойкой с использованием стандартного оборудования (стандартный баллистический маятник для определения бризантности); удовлетворительной сходимостью экспериментальных и расчетных данных и положительными результатами опытно-промышленной проверки параметров донной забойки при проведении выработок по буровзрывной технологии.

**Научное значение работы** состоит в установлении закономерностей взаимодействия донной забойки с продуктами детонации и в обосновании эффективных ее параметров для повышения коэффициента использования шпуров (КИШ) при проведении выработок по буровзрывной технологии.

**Практическое значение работы:** установлен механизм разрушающего действия донной забойки, разработана методика расчета параметров донной забойки; разработаны и внедрены технологические регламенты проведения выработок по буровзрывной технологии с использованием донной забойки; обеспечено применением разработанной технологии повышение КИШ до 0,95..1,00, что превышает нормативные показатели на 5..20%.

**Реализация выводов и рекомендаций работы.** Рекомендации и методика расчета параметров донной забойки использованы при проходке выработок по буровзрывной технологии в шахтоуправлении им. А.А. Скочинского. Благодаря внедренной технологии скоростные темпы проходки вентиляционного хода на ш/у им. А.А. Скочинского возросли на 7%, а полученный экономический эффект составил 32 грн/м.

Научные и практические результаты работы используются в учебном процессе при подготовке специалистов горного профиля.

**Личный вклад автора** заключается в постановке задач исследования, математическо-статистической обработке результатов экспериментальных и лабораторных исследований, в разработке нового подхода относительно расчета параметров донной забойки, в постановке и проведении опытно-промышленной проверки технологии в условиях шахты «Красноармейская-Западная» и внедрении результатов диссертации в практику проходческих работ ш/у им. А.А. Скочинского.

**Апробация работы.** Основные положения работы и результаты ее отдель-

ных этапов обсуждались и были одобрены на IX международной научно-технической конференции „Машиностроение и техносфера XXI века” (Севастополь, 2002 г.), международной студенческой научно-технической конференции „Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений” (ДонНТУ, 2004 г.), международной научно-технической конференции „Шахтное и подземное строительство” (ДонНТУ, 2004 г.) и на расширенном заседании кафедры СШ и ПС ДонНТУ (2004 г.).

**Публикации.** Основные положения диссертационной работы опубликованы в 6 печатных работах, из которых 5 - в ведущих профессиональных изданиях и 1 - в сборниках материалов научно-практических конференций.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация содержит вступление, 4 раздела и выводы, 44 рисунка, 3 таблицы, список литературных источников с 115 наименований, 7 приложений. Работа изложена на 114 страницах машинописного текста, общий объем - 170 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Раздел 1.** Учитывая актуальность задачи обеспечения Украины собственным углем различного качества, намечено довести общую добычу угля в Украине в 2030 году до 120 млн. т, что подтверждает важность строительства новых и реконструкции действующих шахт. Одним из основных компонентов в этих задачах является сооружение горизонтальных и наклонных горных выработок для своевременной подготовки новых горизонтов. Практика показывает, что проведение горизонтальных и наклонных горных выработок является наиболее объемным звеном в их строительстве. Основной технологией проведения горных выработок, как и раньше, остается буровзрывная.

В условиях наличия выделения метана в проводимых выработках единственным средством обеспечения безопасности ведения взрывных работ является использование предохранительных взрывчатых веществ IV-VI класса. Но работоспособность этих взрывчатых веществ в условиях высокой крепости пород, по которым проводятся выработки на шахтах Донбасса, не обеспечивает надлежащей эффективности ведения взрывных работ (коэффициент использования шпуров в большинстве случаев лежит в диапазоне 0,8..0,9). Поэтому на данное время актуальной является задача повышения эффективности ведения взрывных работ без снижения безопасности.

Большой вклад в исследование механизма разрушения пород взрывом и разработку методов управления энергией взрыва внесли академики АН СССР М.А. Лаврентьев, Н.В. Мельников, М.А. Садовский, Э.И. Шемякин, член-корреспондент АН УССР Э.Г. Ефремов, профессора Э.Г. Баранов, Л.И. Барон, Ф.А. Белаенко, О.Е. Уласов, А.А. Вовка, М.М. Докучаев, Г.П. Демидюк, М.Ф. Пе-

чатный, В.Ф. Клочков, В.И. Комашенко, В.М. Комир, Б.М. Кутузов, Ф.И. Кучерявый, Э.О. Миндели, Г.И. Покровский, В.Н. Родионов, П.И. Федоренко, А.М. Ханукаев и многие другие.

Современное состояние буровзрывных работ характеризуется значительным прогрессом, который достигнут в результате применения комплексных мероприятий, включающих надежные и эффективные средства управления действием взрыва и научные основы расчета их основных параметров, значительный вклад в развитие которых внесли ведущие отечественные и зарубежные специалисты горного дела в таких научных центрах как: Национальный горный университет, Институт гидромеханики НАН Украины (г. Киев), Криворожский технический университет, Кременчугский Государственный политехнический университет, МакНИИ, ДонНТУ, ДонУГИ, Донбасский горно-металлургический институт, ИГТМ НАН Украины, Московский Государственный горный университет, ИГД им. А.А. Сочинского и др.

Однако разработанные рекомендации не могут в полной мере обеспечить эффективность и безопасность способов ведения взрывных работ на глубоких горизонтах шахт Донбасса из-за большого расхождения горно-геологических (прочность, обводненность, выбросоопасность пород и т.д.) и горно-технических условий проведения горных выработок (сечение выработки, тип и длина забойки и шпуров, конструкция шпуровых зарядов, тип ВВ и т.д.).

Одним из передовых средств повышения эффективности ведения взрывных работ является гидровзрывание. Разработкой теоретических основ гидровзрывания занимались ряд ученых, среди которых Ф.А. Баум, К.П. Станюкович, Б.И. Шехтер, Р. Коул, Ю.С. Яковлев, С.А. Калякин и прочие. Гидровзрывание имеет ряд преимуществ по сравнению с обычным взрыванием на угольных шахтах, которые разрабатывают пласты, опасные по выбросам угля и газа, так как при его осуществлении резко возрастает эффективность взрыва (увеличивается коэффициент использования шпуров и снижается удельный расход ВВ) и безопасность взрывных работ (резко снижается пылеобразование и выделение в шахтную атмосферу ядовитых газов взрыва и газов, которые образуются при разрушении горного массива, а значит снижается вероятность взрыва метана и угольной пыли, а также внезапного выброса угля и газа).

Но, не смотря на высокую эффективность и безопасность гидровзрывания, эта технология разрушения горного массива широкого использования не получила. Основными причинами, которые препятствуют ее внедрению, является отсутствие промышленных взрывчатых веществ, которые способны находиться в воде под ее избыточным давлением, а также отсутствие каких-нибудь закономерностей, которые описывают механизм гидровзрывания, и зависимостей, которые вытекают из него, позволяющих оценить эффективность действия взрыва заряда ВВ в горной породе, а также, рассчитать паспорт буровзрывных работ - разрабо-

тать конструкцию заряда, определить количество шпуров на забой и рассчитать схему их расположения. Поэтому на данном этапе для повышения эффективности буровзрывных работ применяют донно-патронированную забойку - частный случай гидровзрывания - взрывание, при котором водонасыщенная система (в граничном варианте - вода) примыкает к торцу заряда ВВ. Вместе с тем, механизм действия донной забойки в шпуре при взрыве до сих пор недостаточно понятен, как и сам механизм гидровзрывания.

С учетом выше указанного необходимо установить механизм действия донной забойки, разработать методику расчета ее параметров и разработать технологические регламенты проведения горных выработок по буровзрывной технологии с ее использованием, которые позволят повысить эффективность проведения выработок в сложных условиях шахт Донбасса без снижения безопасности.

**Раздел 2.** Для установления механизма действия донной забойки необходимо провести ряд лабораторных исследований, которые позволят установить процессы, протекающие в забойке при взаимодействии с продуктами детонации, и факторы, которые влияют на протекание этих процессов.

На первом этапе исследований планировалось установить характер взаимодействия продуктов детонации с донной забойкой. На втором этапе планировалось определить влияние длины донной забойки и наличия зазора между ней и стенками шпура на процессы, протекающие в донной забойке. На третьем этапе планировалось установить влияние физических свойств заполнителя донной забойки при ее неизменной плотности. И в конце лабораторных исследований, на четвертом этапе, планировалось определить влияние плотности материала забойки на процессы, которые протекают в шпуре при ее взаимодействии с продуктами детонации. Выполнение этих этапов позволяет получить общее представление о процессах, протекающих в донной забойке при ее взаимодействии со шпуровым зарядом.

На первом этапе для получения качественной картины взаимодействия продуктов детонации с донной забойкой было проведено три серии лабораторных экспериментов в буровзрывной лаборатории ДонНТУ, где изучался характер взаимодействия продуктов детонации со свободно расположенной забойкой. Для этого в центре камеры подвешивали патрон ВВ и прикрепляли к его торцу ампулы забойки разной длины. Для изготовления забойки использовались стандартные полиэтиленовые ампулы с обратным клапаном диаметром 37 мм и длиной 350 мм, которые используются в угольных шахтах Донбасса. Для получения разных длин ампул забойки их перевязывали на необходимом расстоянии хлопчатобумажной нитью. Заряд выбирался таким, чтобы, с одной стороны, он был удлиненным (длина не менее чем в три раза больше диаметра патрона), а с другой стороны, его масса не превышала бы допустимую для одновременного взрывания в камере лаборатории величину. Таким образом, был принят заряд аммонита Т-19 массой 80



граммов, длиной - 150 мм, диаметром - 23 мм. В первой серии экспериментов длина ампулы составляла 120мм, во второй серии - 190 мм, и в третьей- 280 мм. Результаты взрыва регистрировались на неподвижную пленку.

Результаты лабораторных исследований показали, что при столкновении продуктов детонации и забойки происходит изменение направления разлета продуктов детонации из осевого на радиальное, а также происходит расклинивание забойки, которое подтверждается характерными особенностями разрушения части забойки, находящейся рядом с патроном ВВ. При этом длина расклинивания равнялась: 26...28 мм при длине ампулы 120 мм; 28...30 мм при длине ампулы 190 мм; 31...33 мм при длине ампулы 280 мм.

Также изучалось влияние твердого препятствия (моделирование дна шпура) вплотную с забойкой на характер разлета продуктов детонации. Использовались такие же заряды, как и на первом этапе исследований, и ампулы забойки длиной 120 и 190 мм. Ампулы опирались на твердую опору из бетонного блока. Из результатов испытаний видно, что кроме изменения направления разлета продуктов детонации из осевого на радиальное на стыке с ВВ, возрастает разлет продуктов детонации в обратном направлении при уменьшении длины забойки. Это можно объяснить явлением отражения ударной волны, которая идет по забойке, от твердого препятствия на границе „забойка - жесткая преграда”. При этом ударная волна отражается от препятствия и продолжает движение в радиальном и обратном направлениях. Чем длиннее забойка, тем сильнее ударная волна затухает и тем меньше ее энергия после отражения. Кроме того, при наличии твердого препятствия независимо от длины забойки длина расклинивания оставалась неизменной и составляла 32...35 мм.

На втором этапе исследований для изучения влияния длины донной забойки и зазора между донной забойкой и стенками шпура на процессы, которые протекают в забойке, было проведено четыре серии лабораторных исследований с использованием стандартного баллистического маятника для определения бризантности ВВ. Донная часть шпура моделировалась с помощью металлической трубы с внутренним диаметром 40 мм, что является максимально приближенным к реальным условиям значением при проведении выработок по буровзрывной технологии в части стандартных диаметров шпуров. Она имеет свойство изменять размеры под действием нагрузок, что позволяет следить за процессами, которые протекают в донной забойке при взаимодействии с продуктами детонации. Масса заряда подбиралась экспериментально, исходя из следующих позиций: во-первых, заряд должен быть удлиненным (длина составляет не менее трех диаметров заряда); во-вторых, его величина не должна приводить к разрушению стальной трубы; в-третьих, масса заряда должна обеспечивать достаточное для контроля изменение диаметра при возникновении радиальных нагрузок. Исходя из этого масса заряда была принята равной 40 граммов, длина – 75 мм, диаметр – 23 мм. Для ими-

тации нахождения забойки в шпуре одну сторону трубы перекрывали мембраной из полиэтилена, потом заполняли ее водой и герметизировали с другой стороны такой же мембраной из полиэтилена. Толщина мембраны составляла 80..120 мкм. В трубу не доливали воду на объем, который равняется объему воздушной полости, образованной из-за расхождения в диаметрах шпура и забойки в 3..5 мм. С помощью этого имитировался зазор между стенками шпура и забойкой.

Каждая серия экспериментов проводилась для разных длин труб: 50 мм, 60 мм, 70 мм и 350 мм. Результаты средних изменений периметров труб по их длине изображены на рис. 1 и рис. 2.

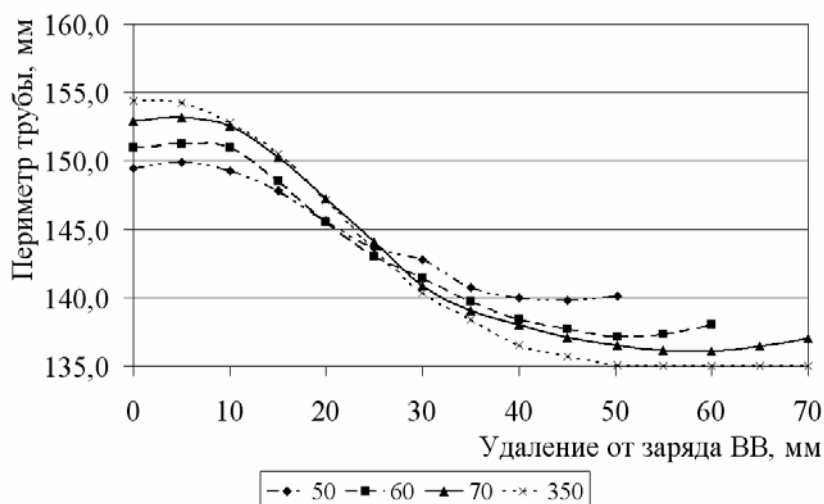


Рис. 1. Среднее значение изменения периметра труб длиной 50, 60, 70 и 350 мм, заполненных водой, на расстоянии от 0 до 70 мм под действием взрыва заряда ВВ

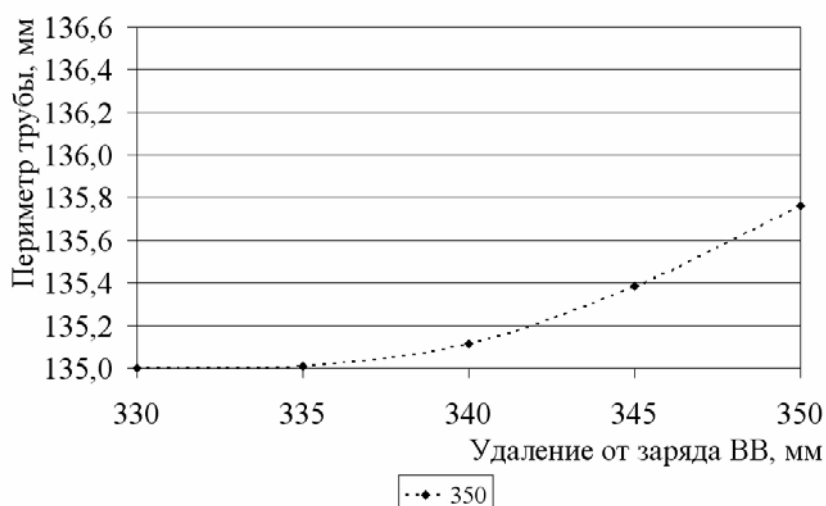


Рис. 2. Среднее значение изменения периметра труб длиной 350 мм, заполненных водой, на расстоянии от 330 до 350 мм под действием взрыва заряда ВВ

Как видно из результатов экспериментов, явным образом выраженная зона расклинивания проявляется на длине от 0 до 25...30 мм. Также лабораторные эксперименты показали, что с отдалением от границы „ВВ - забойка” расширение труб на границе „забойка - жесткая преграда” уменьшается. Кроме того, в трубе длиной 350 мм расширения не происходило в зоне между 70 мм и 330 мм (влияние расклинивания проявляется на первых 70 мм, а действие отражения ударной волны проявляется в зоне 20 мм от дна шпура). Таким образом, при большой длине забойки есть ее часть, которая „не работает” в радиальном направлении.

На третьем этапе исследований для проверки влияния отдельных физических свойств материала заполнителя донной забойки на процессы, которые протекают в ней, было проведено две серии

лабораторных исследований.

Первая серия экспериментов была посвящена изучению влияния поверхностного натяжения, а вторая серия - для изучения влияния вязкости заполнителя донной забойки на характер перераспределения энергии взрыва в радиальном направлении при взаимодействии продуктов детонации с забойкой. Для получения жидкости с низким значением коэффициента поверхностного натяжения к воде прибавлялось 5% по массе поверхностно активного вещества (порошок „Лотос”), а для создания вязущей системы к воде прибавлялся клей Na-КМЦ (5% по массе). Результаты изменения периметров труб в зависимости от удаления от ВВ изображены на рис. 3, 4 и 5.

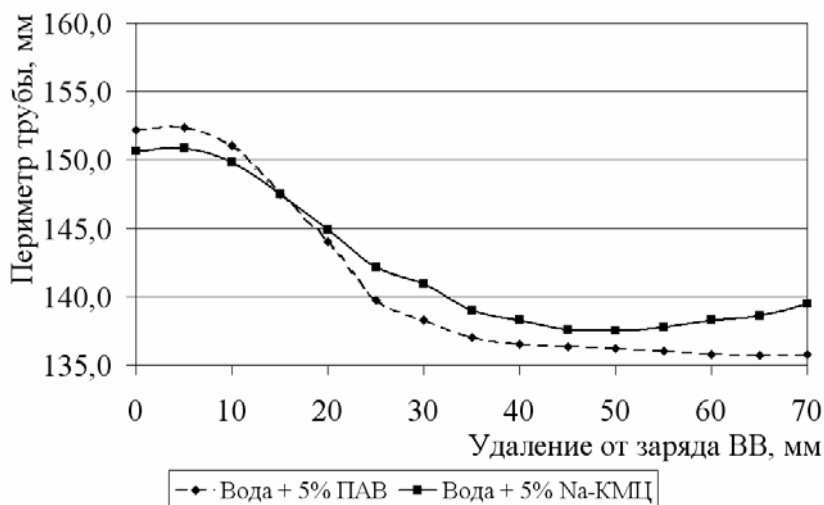


Рис. 3. Среднее значение изменения периметра труб длиной 70 мм с разными физическими характеристиками заполнителя под действием взрыва заряда ВВ

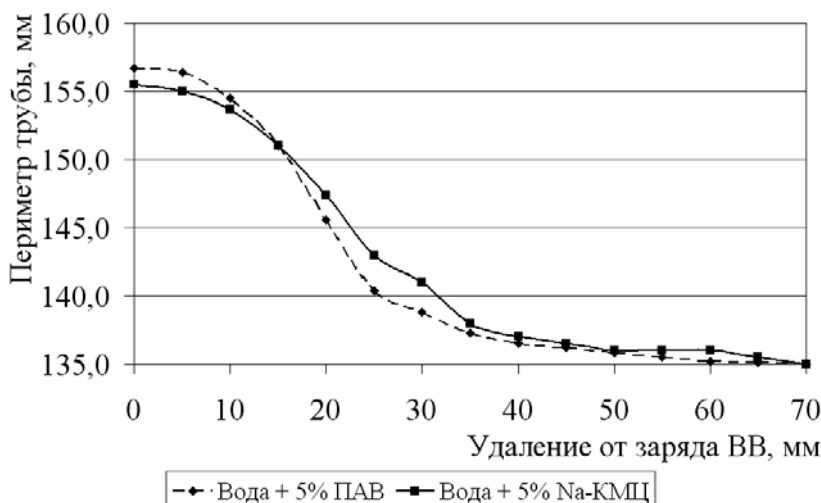


Рис. 4. Среднее значение изменения периметра труб длиной 350 мм на участке от 0 до 70 мм с разными физическими характеристиками заполнителя под действием взрыва заряда ВВ

Как видно из результатов экспериментов, расклинивание систем с поверхностным натяжением близким нулю более интенсивное, но зона его действия меньше, а также меньшее расширение в донной части труб при отражении ударной волны от твердого препятствия. При взаимодействии продуктов детонации с вязкой системой изменение периметра в зоне расклинивания меньше, чем при взаимодействии с водой, но зона его действия немного больше. Расширение периметра трубы в донной части тоже немного больше. Также видно, что длина зоны изменения периметра в донной части больше при использовании вязких систем в сравнении с другим заполнителем.

При длине трубы 350 мм снова наблюдается „нерабочая зона” на отрезке от 70 до 330 мм.

На четвертом этапе

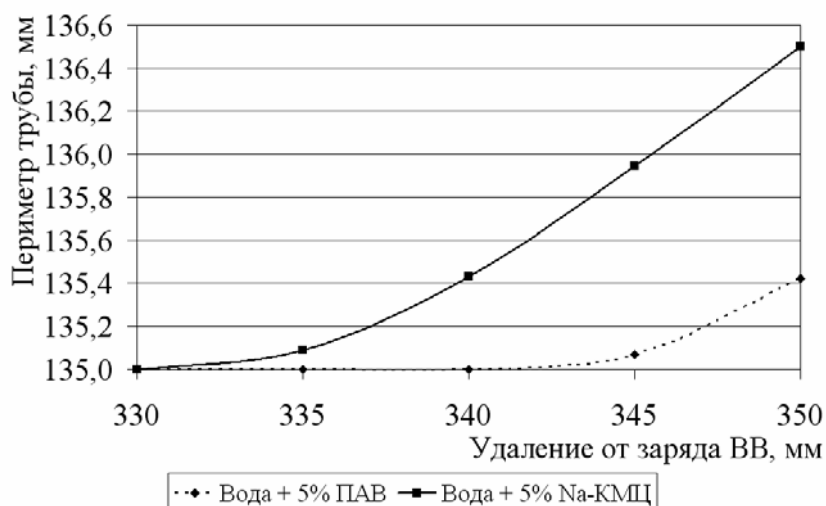


Рис. 5. Среднее значение изменения периметра труб длиной 350 мм на участке от 330 до 350 мм с разными физическими характеристиками заполнителя под действием взрыва заряда ВВ

Эффективность действия забойки. Поэтому исследования проводились с четырьмя типами смесей: песчано-глинистая забойка с содержанием воды 12% (стандартная смесь); песчано-глинистая забойка с содержанием воды 20%; песчано-глинистая забойка с содержанием воды 30%; ПЗМ-3. Плотность смесей составляла 1510, 1560, 1600 и 1700 кг/м<sup>3</sup> соответственно. Результаты изменения периметра труб длиной 70 мм изображены на рис. 6.

Как видно из результатов исследований, при приближении плотности материала заполнителя к плотности продуктов детонации в детонационном фронте, расширение труб на границе „забойка - жесткая преграда” приближается к длине зоны расклинивания забойки продуктами детонации.

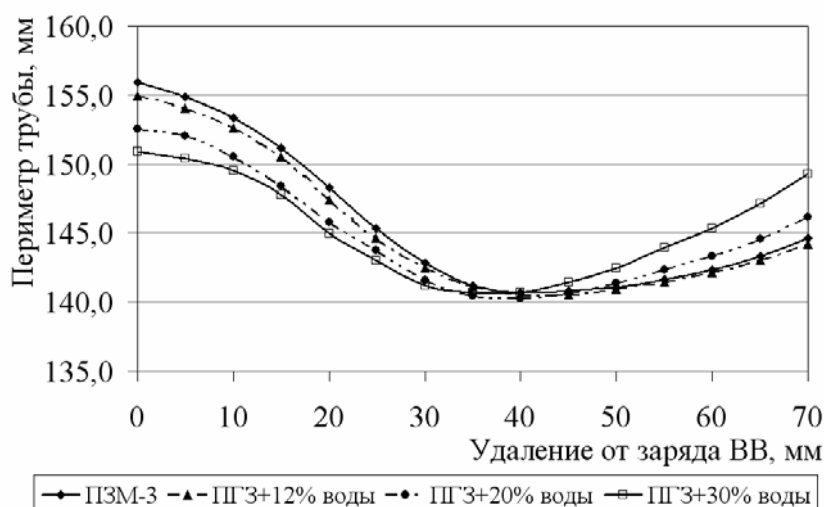


Рис. 6. Среднее значение изменения периметра труб длиной 70 мм с заполнителями разной плотности под действием взрыва заряда ВВ

изучалось взаимодействие продуктов детонации с наиболее распространенными водосодержащими забоечными материалами с плотностью, близкой плотности продуктов детонации в детонационном фронте: песчано-глинистой забойкой и пластичной забойкой ПЗМ-3. При проведении исследований изучалось влияние плотности заполнителя забоечных материалов на эффек-

Анализируя результаты изменения периметра труб в зависимости от материала донной забойки, а также учитывая значение отклонений маятника, можно сделать вывод о том, что в донной забойке, которая имеет свойства жидкости в условиях взрыва шпурового заряда, при взаимодействии с продуктами детонации происходит два процесса: расклинивание при

столкновении двух струй (струи продуктов детонации и струи забойки), и гидроудар на границе „забойка - жесткая преграда”. При чем длина зоны расклинивания при наличии жесткой преграды не зависит от длины самой забойки.

Механизм действия донной забойки можно представить в виде следующей схемы (рис. 7), из которой видно, что эффективная длина донной забойки равняется сумме длин зоны расклинивания и зоны проявления гидроудара (длина зоны  $L_H$  принимается равной нулю):

$$L_{д.з.} = L_1 + L_2, \quad (1)$$

где  $L_1$  – длина зоны расклинивания забойки продуктами детонации;

$L_2$  – длина зоны проявления гидроудара.

**Раздел 3.** На основании результатов, полученных при проведении лабораторных исследований, была предложена методика определения эффективной длины забойки на основе решения задачи гидравлики о столкновении двух потоков жидкости, и решении задачи резкого изменения давления при гидроударе с помощью основных уравнений неустановившегося движения жидкости в забойке.

Основываясь на работах Ф.А. Баума, К.П. Станюковича и Б.И. Шехтера, установлено, что длину струи продуктов детонации можно определять как радиус точки сопряжения при взрыве заряда ВВ (максимальный радиус расширяющегося облака продуктов детонации, при котором они еще обладают свойствами жидкости). Учитывая вышесказанное и анализируя работы С.П. Левчика и Б.З. Табадзе, предложена следующая зависимость для определения зоны расклинивания донной забойки продуктами детонации:

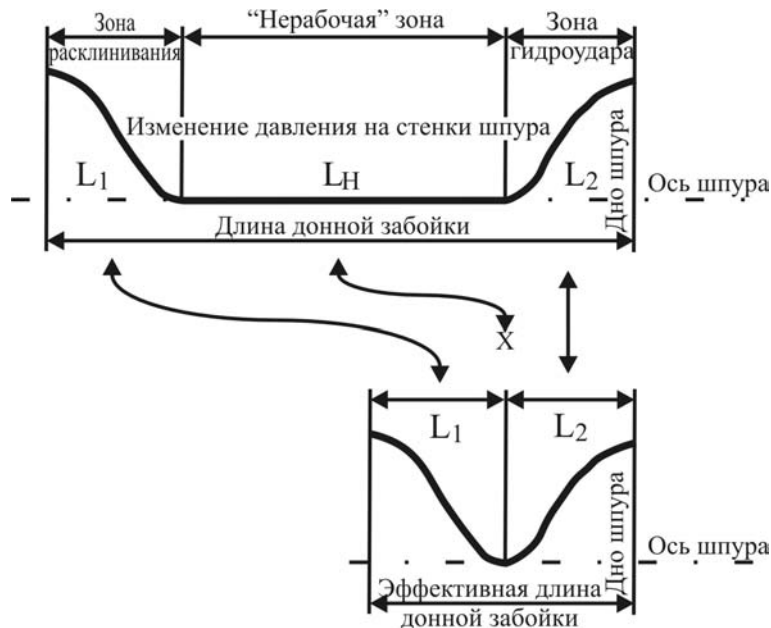


Рис. 7. Принципиальная расчетная схема к определению эффективной длины донной забойки

$$L_1 = r_x \sqrt{\frac{\rho_n}{\rho_{д.з.}}}, \quad (2)$$

где  $\rho_n$  – плотность продуктов детонации в детонационном фронте, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{д.з.}$  – плотность донной забойки, кг/м<sup>3</sup>;

$r_x$  – радиус точки сопряжения заряда ВВ, м.

Схему передачи импульса вдоль донной забойки можно представить в следующем виде (рис. 8). Во время взрыва ВВ от продуктов детонации передается импульс  $P$ . При столкновении с донной забойкой происходит расклинивание последней и срабатывание струи продуктов детонации на расстоянии  $L$ . После этого импульс переламывается и передается в направлении, перпендикулярном плоскости, которая образуется углом наклона пелены. Предполагая, что радиус струи продуктов детонации и донной забойки равны, можно получить зависимость передачи импульса вдоль донной забойки:

$$P' = P \sqrt{1 - \frac{\rho_n - \rho_{д.з.}}{\rho_n + \rho_{д.з.}}}, \quad (4)$$

где  $P$  – импульс взрыва.

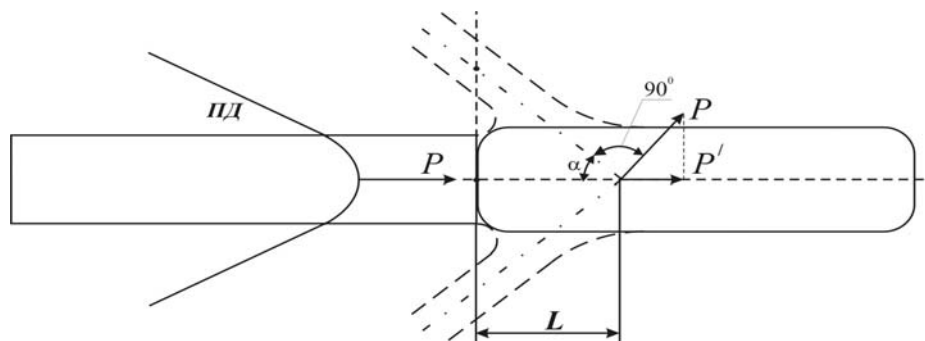


Рис. 8. Схема к определению импульса, который передается через донную забойку

Скорость распространения в забойке волны изменения давления определяется скоростью ударной волны, которая образуется в результате передачи импульса от струи продуктов детонации ВВ забоечному материалу, а величина импульса линейно зависит от массы заряда. Учитывая это, зависимость между длиной зоны расклинивания и длиной зоны влияния гидроудара линейная. Таким образом, длину зоны влияния гидроудара можно определить следующим уравнением:

$$L_2 = kL_1, \quad (5)$$

где  $k$  – параметр пропорциональности между длиной зоны расклинивания и зоны гидроудара.

Учитывая, что максимальная длина струи продуктов детонации определяется как радиус точки сопряжения для ВВ данной массы, зависимость между массой заряда и радиусом точки соединения кубическая, а зависимость между импульсом взрыва и массой заряда линейная, то параметр  $k$  можно определить по следующей зависимости:

$$k = \left( 1 - \left| \frac{\rho_n - \rho_{д.з.}}{\rho_n + \rho_{д.з.}} \right| \right)^{\frac{3}{2}}. \quad (6)$$

Значения параметра  $k$ , полученные расчетным путем и в результате лабораторных исследований, изображены на рис. 9.

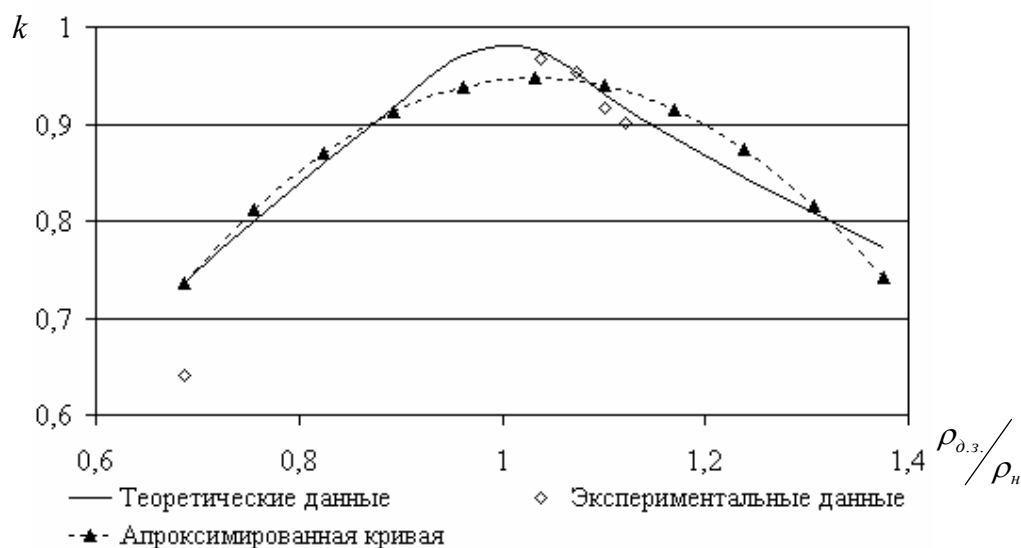


Рис. 9. Зависимость параметра  $k$  от отношения плотностей продуктов детонации и донной забойки

Поскольку расчет параметра  $k$  в производственных условиях сложен, была проведена аппроксимация на участке отношения плотности материала донной забойки к плотности продуктов детонации в детонационном фронте от 0,7 до 1,4. Полученная формула второй степени с погрешностью  $R^2=0,9204$  имеет такой вид:

$$k = -1,76x^2 + 3,63x - 0,93, \quad (7)$$

где  $x$  – отношение плотности материала донной забойки к плотности продуктов детонации в детонационном фронте.

Расчет длин зон расклинивания и гидроудара подтверждает результаты, по-

лученные при проведении лабораторных исследований.

На основании теоретических исследований была разработана методика расчета параметров донной забойки. Порядок расчета следующий. Для используемого ВВ рассчитывается плотность продуктов детонации в детонационном фронте с учетом направления инициирования. На основании этого выбирается материал донной забойки и соответственно его плотности и плотности продуктов детонации в детонационном фронте рассчитывается параметр  $k$ . Выполняется расчет длины струи продуктов детонации и определяется эффективная длина донной забойки.

Опытно-промышленная проверка эффективности донной забойки осуществлялась при проведении транспортного ходака на сопряжении воздухоподающего ствола №2 с гор. 805 г на ш. «Красноармейская-Западная». Учитывая плотность продуктов детонации в детонационном фронте применяемого ВВ, было принято решение об использовании забоечного материала ПЗМ-3. В зависимости от массы шпурового заряда каждого шпура была рассчитана эффективная длина донной забойки.

Конструкции шпуровых зарядов с предложенной донной забойкой позволили получить КИШ равный 0,97.

На основании полученных результатов были разработаны технологические регламенты проведения выработок по буровзрывной технологии с использованием донной забойки.

Внедрение разработанной технологии осуществлялось на ш/у им. А.А. Скочинского при проведении вентиляционного ходака первой западной лавы пласта «Смоляниновский». Использование донной забойки позволило получить КИШ 0,97 при взрывании зарядов угленита 10П (VI класс по предохранительности) массой 1,0 кг и зарядов уменьшенной массы 0,8 кг угленита 13П (V класс по предохранительности) в сравнении с КИШ=0,90, полученного при взрывании зарядов аммонита Т-19 (IV класс по предохранительности) массой 1,0 кг. Таким образом, при значительном снижении энергии взрыва использование донной забойки позволило повысить КИШ на 7%. Ожидаемое сокращение продолжительности сооружения выработки составило 3 дня.

Технико-экономическая оценка эффективности применения разработанной технологии при проведении вентиляционного ходака по забойным затратам показала, что использование донной забойки позволило получить экономию в 39,66 грн/м при использовании угленита 13П, и 16,04 грн/м при использовании угленита 10П.

## ВЫВОД

Диссертация является завершенной научно-исследовательской работой, в



которой дано новое решение задачи повышения эффективности взрывных работ за счет использования донной забойки, основанное на раскрытии процессов взаимодействия продуктов детонации ВВ и материала забойки, что позволяет обосновать рациональные параметры шпуровых зарядов, которые обеспечивают повышение темпов сооружения выработок.

***Основные научные и практические результаты работы:***

1. На основании проведенных лабораторных исследований установлены два процесса, протекающие в донной забойке при взаимодействии с продуктами детонации при взрывании шпурового заряда: расклинивание донной забойки продуктами детонации на границе „заряд ВВ - забойка” и гидроудар на границе „забойка - дно шпура”.

2. Разработана математическая модель взаимодействия продуктов детонации в детонационном фронте с донной забойкой, которая позволила рассчитать длину зоны расклинивания донной забойки продуктами детонации и длину зоны гидроудара.

3. Обоснованы и подтверждены лабораторными и шахтными исследованиями эффективные параметры донной забойки. Установлена аналитическая зависимость для расчета ее эффективной длины.

4. Разработана блок-схема расчета длины донной забойки в зависимости от энергетических и физических параметров используемого ВВ, способа его инициирования в шпурах (прямое или обратное), а также плотности забоечного материала.

5. Разработаны технологические регламенты проведения выработок по буровзрывной технологии с использованием донной забойки.

6. Соответственно установленным зависимостям определены параметры донной забойки, изготовленной из пластичного заполнителя ПЗМ-3, для ведения буровзрывных работ при проведении вентиляционного ходка с вентиляционного штрека первой западной лавы пласта  $h'_6$  «Смоляниновский» ш/у им. А.А. Сочинского. При проведении выработки по разработанному паспорту буровзрывных работ удалось повысить КИШ с 0,90 (при применении ВВ IV класса - аммонита Т-19 без донной забойки) до 0,97 (при применении ВВ V и VI класса - угленита 13П и угленита 10П соответственно с донной забойкой).

7. Внедрение разработанной технологии обеспечило повышение темпов проведения вентиляционного штрека первой западной лавы УП.ЦП. по пласту  $h'_6$  «Смоляниновскому» на ш/у им. А.А. Сочинского на 7%, и позволило получить экономический эффект по забойным затратам в зависимости от используемого ВВ 39,66 и 16,04 грн/м.

1. Калякин С.А., Шевцов Н.Р., Лабинский К.Н., Купенко И.В. Влияние забойки на процесс поджигания и выгорания шпурового заряда ВВ // Наукові праці ДонДТУ. Випуск 36. Серія гірничо-геологічна. Донецьк, ДонНТУ, 2001. – С. 18-26
2. Шевцов Н.Р., Калякин С.А., Лабинский К.Н. Основы теории гидровзрывания при разрушении пород // Проблеми гірського тиску. Випуск 7. Донецьк, ДонНТУ, 2002. – С. 59-84.
3. Шевцов Н.Р., Лабинский К.Н., Калякин С.А. Обоснование эффективной длины донно-устьевой гидрозабойки // Наукові праці ДонДТУ. Випуск 54. Серія гірничо-геологічна. Донецьк, ДонНТУ, 2003. – С. 115-122.
4. Шевцов Н.Р., Лабинский К.Н., Калякин С.А. Лабораторные исследования взаимодействия продуктов детонации с гидрозабойкой // Наукові праці ДонНТУ: Серія гірничо-геологічна. Випуск 63. – Донецьк, ДонНТУ, 2003. – С. 61-67.
5. Шевцов Н.Р., Лабинский К.Н., Калякин С.А. Донная гидрозабойка – одно из простых средств повышения эффективности взрывных работ // Наукові праці ДонНТУ: Серія гірничо-геологічна. Випуск 72. – Донецьк, ДонНТУ, 2004. – С. 3-6.
6. Лабинский К.Н. Обоснование эффективной длины донной гидрозабойки // Материалы международной студенческой научно-технической конференции “Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений”. – Донецк: ООО “Норд Компьютер”, 2003. – С. 29-32.

*Личный вклад диссертанта в публикации, написанные в соавторстве:*

[1] – определение роли забойки в процессах, которые происходят при взрыве шпуровых зарядов; [2,3] – теоретические исследования взаимодействия продуктов детонации и забойки; [4] – лабораторное моделирование взаимодействия забойки с продуктами детонации, установление зоны проникновения продуктов детонации в забойку; [5] – обоснование процессов, которые протекают в забойке при взрыве, обоснование конструкций зарядов, которые рекомендуются, установление методики расчета эффективных параметров донной забойки.

## АННОТАЦІЯ

Лабінський К.М. Обґрунтування параметрів шпурових зарядів, котрі забезпечують підвищення швидкості спорудження гірничих виробок. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.04 „Шахтне і підземне будівництво”. – Національний гірничий університет Міністерства освіти і науки України. – Дніпропетровськ: - 2004.

Дисертація присвячена питанням підвищення ефективності проведення гір-

ничих виробок за буропідривною технологією за допомогою використання донної набійки.

У дисертації розкритий механізм взаємодій продуктів детонації в детонаційному фронті та донної набійки при вибуху шпурового заряду ВР. Розроблена математична модель взаємодії продуктів детонації з донною набійкою. Одержана аналітична залежність для визначення довжини зони розклинювання донної набійки продуктами детонації, та залежність між зоною розклинювання донної набійки продуктами детонації та зоною впливу гідродару на границі „набійка – дно шпура”. Розроблено методика розрахунку ефективних параметрів донної набійки, яка була підтверджена лабораторними та шахтними дослідженнями. Розроблено технологічні регламенти проведення виробок за буропідривною технологією з використанням донної набійки.

Основні результати роботи знайшли промислове застосування при проведенні вентиляційного ходка на ш/у ім. О.О. Скочинського.

**Ключові слова:** буропідривна технологія, набійка, заряд ВР, продукти детонації, розклинювання, гідродар, методика розрахунку, ефективність.

## АННОТАЦИЯ

Лабинский К.Н. Обоснование параметров шпуровых зарядов, обеспечивающих повышение скорости сооружения горных выработок – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.04 „Шахтное и подземное строительство”. – Национальный горный университет Министерства образования и науки Украины. – Днепропетровск: - 2004.

Диссертация посвящена вопросам повышения эффективности проведения горных выработок по буровзрывной технологии за счет использования донной забойки.

В работе предложен новый подход к установлению механизма взаимодействия продуктов детонации в детонационном фронте с донной забойкой при взрыве шпурового заряда.

Показано, что при взаимодействии продуктов детонации с забойкой происходит расклинивание последней, причем длина зоны расклинивания не зависит от длины забойки при наличии жеткой преграды (дно шпура).

Показано, что при взрыве шпурового заряда в донной забойке при взаимодействии с продуктами детонации протекает два процесса: расклинивание забойки продуктами взрыва в детонационном фронте и гидроудар на границе „донная забойка – дно шпура”. Установлено влияние зазора между стенками шпура и донной забойкой на процессы, протекающие в последней при взаимодействии с про-

дуктами детонации в детонационном фронте. Показано, что при наличии воздушного зазора между стенками шпура и донной забойкой при взрыве шпурового заряда происходит сжатие воздуха и заполнение освободившегося пространства заполнителем забойки с ее смещением ко дну шпура.

Разработана математическая модель взаимодействия продуктов детонации в детонационном фронте и донной забойки. Доказано, что при равных плотностях заполнителя донной забойки разные значения коэффициента поверхностного натяжения и вязкости практически не влияют на длины зоны расклинивания и зоны проявления гидроудара.

Экспериментальными взрываниями показано, что длина зоны действия гидроудара не зависит от длины донной забойки. Установлен параметр пропорциональности между длиной зоны расклинивания и длиной зоны действия гидроудара, зависящий от плотности продуктов детонации в детонационном фронте и от плотности заполнителя донной забойки. Теоретически установлено и экспериментально подтверждено, что при приближении плотности заполнителя донной забойки к плотности продуктов детонации в детонационном фронте коэффициент пропорциональности приближается к единице, и длина зоны влияния гидроудара приближается к длине зоны расклинивания.

Впервые разработана методика расчета параметров донной забойки в зависимости от параметров заряда ВВ и направления инициирования.

Проведена опытно-промышленная проверка эффективности использования донной забойки расчетной длины. Разработаны технологические регламенты проведения горных выработок по буровзрывной технологии с использованием донной забойки.

Проведено внедрение разработанной технологии на шахте им. А.А. Скочинского при проведении вентиляционного ходка первой западной лавы пласта  $h'_6$  «Смоляниновский». Проведена технико-экономическая оценка эффективности разработанной технологии, позволившая установить, что применительно к вентиляционному ходку ш. им. А.А. Скочинского экономия по забойным затратам достигает 39.66 грн/м, а скорость проведения выработки предположительно возрастет на 7%.

**Ключевые слова:** буровзрывная технология, забойка, заряд ВВ, продукты детонации, расклинивание, гидроудар, методика расчета, эффективность.

## ANNOTATION

Labinskiy K.N. The ground of the parameters of blust-hole charges, that guarantee rising of building rates of mining excavations. – Manuscript.

The thesis for scientific degree of the candidate of technical science on speciality 05.15.04 „Mine and underground construction”. – National mining university of

Ukraine, Dnepropetrovsk: - 2004.

The dissertation shows questions of rising the building effectiveness of mining excavation by using explosive technology with the help of tamping.

The mechanism of interaction of detonation products in detonation front and bottom tamping by detonation in the blast-hole was described in this thesis. Mathematic model of interaction of detonation products with bottom tamping was developed here. Analytic dependence for definition of bowing length of bottom tamping with detonation products and dependence between bowing length of bottom tamping with detonation products and length of influence hydroblow in zone „tamping – bottom of blast-hole” was received here. Methodics of calculation of effective parameters of bottom tamping, which was confirmed laboratory and mining researches was developed in this thesis.

Basic results of this work are used in building of mining excavation on mine Skochinskogo.

**Key words:** explosive technology, tamping, explosive, products of detonation, bowing, hydroblow, methodic of calculating, effectiveness.

**ЛАБИНСКИЙ Константин Николаевич**

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШПУРОВЫХ ЗАРЯДОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ПОВЫШЕНИЕ СКОРОСТИ СООРУЖЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК**

(Автореферат)

Подписано в печать \_\_. \_\_. 2004 г. Формат 30x42/4  
Бумага офсетная. Усл. печ. лист. Учет-изд. листов 1,0.  
Тираж 100 экз. Заступник. № \_\_\_\_\_ Безкоштовно.