

Министерство образования и науки  
Донецкой Народной Республики  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

*На правах рукописи*

**Мальшева Наталья Николаевна**

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНСТРУКЦИИ ОХРАННОГО  
СООРУЖЕНИЯ В ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТКАХ**

Специальность 25.00.22 – Геотехнология  
(подземная, открытая и строительная)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Донецк – 2020

Работа выполнена в Государственном Образовательном Учреждении Высшего Профессионального Образования «Донецкий национальный технический университет» Министерства образования и науки Донецкой народной республики (г. Донецк).

Научный

руководитель:

**Петренко Юрий Анатольевич**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой разработки месторождений полезных ископаемых ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» МОН ДНР (г. Донецк)

Защита состоится «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ года в \_\_ часов на заседании диссертационного совета Д 01.008.01 при ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет» по адресу: 283001, г. Донецк, ул. Артема 58, 1-й учебный корпус, каб. 1.203. Тел./факс: +3(8062)304-30-55, E-mail: [uchensovet@donntu.org](mailto:uchensovet@donntu.org)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет» по адресу: 283001, г. Донецк, ул. Артема, 58, 2-й учебный корпус. Адрес сайта университета: <http://donntu.org>.

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Ученый секретарь

диссертационного совета, Д 01.008.01

доктор технических наук, профессор

И.А. Бершадский

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Эксплуатационное состояние подготовительных выработок обуславливается в основном эффективностью работы околоштрекового охранного сооружения. Традиционно применяемые способы охраны выработок проводимых за лавой – бутовые полосы, костры, бутокостры, тумбы из железобетонных блоков (БЖБТ) и др. Несмотря на различие в технологии сооружения, и разную жёсткость охранных сооружений, все они вступают в работу не сразу после возведения, а после исчерпания зазоров и определённой усадки охранного сооружения, которое реализуется за счет сближения кровли и почвы. При этом несущая способность охранного сооружения возрастает со временем, и достигает рабочего режима на значительном расстоянии от лавы.

Отсутствие существенного сопротивления смещениям пород кровли в направлении извлечённого лавой пласта приводит к их прогибу, расслоению, вызывает рост зоны разрушения вглубь массива, что обуславливает асимметричное нагружение крепи выработки и значительную потерю ее высоты. Это приводит к необходимости проведения дополнительных мероприятий, направленных на обеспечение эксплуатационного состояния выработок.

Таким образом, разработка новых и модернизация существующих способов поддержания горных выработок после прохода очистного забоя, позволяющих минимизировать или ликвидировать указанные недостатки, является одной из актуальных задач горного дела.

**Степень разработанности темы исследования.** Как показывает практика, попытки улучшить состояние выработок за счёт повышения несущей способности охранного сооружения не дали ощутимых результатов. Это связано с повышением затрат на реализацию способа охраны, увеличением трудоёмкости возведения, сужением области применения, а также включением охранного сооружения в работу по поддержанию выработки за время более суток.

В этой связи одним из перспективных направлений является разработка и внедрение охранных сооружений содержащих в своей конструкции распорные элементы, достоинством которых является быстрое включение в работу по поддержанию выработки.

**Связь работы с научными программами, планами, темами.** Одним из основных научных направлений кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» ГОУВПО «ДОННТУ» является разработка и совершенствование способов охраны горных выработок, обеспечивающих их устойчивое состояние. Диссертация является частью этих исследований и выполнена в рамках госбюджетной научно-исследовательской темы: Н-11-13 «Совершенствование способов повышения устойчивости горных выработок в условиях глубоких шахт», 2013-2017 гг. (№0113U001787), а также Н10-18 «Усовершенствование способов поддержания выработок глубоких шахт на основе инновационных технологических решений» 2019-наст. время, в которых автор являлся исполнителем.

**Цель работы** заключается в повышении эффективности охраны подготовительных выработок на основе активного распора разрушенных пород, заключённых в опалубку.

### **Основные задачи исследований:**

1. Выполнить анализ известных способов охраны выработок, примыкающих к очистному забою.
2. Исследовать влияние конструкции охранного сооружения на механизм разрушения массива вокруг подготовительной выработки.
3. Разработать конструкцию охранного сооружения на основе активного распора разрушенных пород, заключённых в опалубку.
4. Обосновать рациональные параметры охранного сооружения.
5. Провести шахтные испытания предлагаемого охранного сооружения.

**Объектом исследования** являются подготовительные выработки, примыкающие к очистному забою.

**Предметом исследования** является способ охраны подготовительных выработок на основе активного распора разрушенных пород, заключённых в опалубку.

### **Научная новизна полученных результатов:**

1. Впервые установлены особенности образования магистральной трещины при обрушении пород кровли, заключающиеся в том, что ее место возникновения и путь развития проходит по точкам массива, в которых совпадают середины диапазонов горизонтальных и вертикальных смещений. При этом положение магистральной трещины относительно выработки зависит от своевременного включения охранного сооружения в работу по поддержанию выработки.

2. Впервые установлена зависимость эффективности охранного сооружения на основе активного распора от жёсткости опалубки и места расположения распорного элемента. Наибольший эффект достигается при использовании жёсткой опалубки и расположении распорного элемента сверху охранного сооружения. В результате несущая способность охранного сооружения увеличивается в 1,96 раза, импульс сопротивления разрушению - в 1,62 раза, давление, с которого начинается течение охранного сооружения под нагрузкой в 31,2 раза.

3. Впервые для предлагаемого способа охраны разработана аддитивная модель зависимости несущей способности с квадратичным видом зависимости от высоты, диаметра опалубки, объёма невзрывчатой расширяющейся смеси (НРС) и прямым – от фракционного состава закладочной породы.

**Научное значение работы** заключается в установлении закономерностей изменения напряжённо-деформированного состояния массива пород при применении охранного сооружения, которое быстро включается в работу по поддержанию выработки, что позволило обосновать его рациональные параметры.

### **Практическое значение работы:**

1. Разработаны и защищены патентами способы охраны подготовительной выработки, в которых использование в конструкции охранного сооружения НРС в эластичной оболочке или без неё, позволяет одновременно убрать зазоры между кровлей и охранным сооружением и создать в последнем несущее ядро, что ведёт к быстрому включению охранного сооружения в работу по поддержанию выработки.

2. Разработана методика определения рациональных параметров предлагаемого охранного сооружения, основанная на критерии, который показывает вклад охранного сооружения в поддержании выработки. Проведено технико-

экономическое сравнение предлагаемого и шахтного варианта охранного сооружения.

3. Предложена технология возведения предлагаемого варианта охранного сооружения на основе активного распора разрушенных пород, заключённых в опалубку.

**Методы исследований.** Для решения поставленных задач в работе использован комплексный метод исследования, включающий: анализ и обобщение ранее выполненных исследований и практического опыта; физическое моделирование с помощью эквивалентных материалов и с помощью структурных моделей; численное моделирование в программной среде Ansys; шахтные инструментальные наблюдения; обработка результатов исследований методами математической статистики в программной среде Statistica, Excel, Компас и Surfer.

**Научные положения, выносимые на защиту:**

1. Установлен механизм образования магистральной трещины при включении в работу традиционного охранного сооружения за время более 20-24 часов. Показано, что магистральная трещина, приводящая к обрушению консоли кровли, формируется со стороны массива. При этом в первую очередь нагрузка от обрушенных пород воспринимается выработкой, а не охранным сооружением.

2. Установлено, что при использовании тумб с распором устье магистральной трещины формируется не от растяжения в основной кровле на контакте её с непосредственной, а от сжатия в непосредственной кровле на контакте её с охранным сооружением со стороны выработанного пространства за счёт того, что тумбы с распором снимают нагрузку от обрушенных пород как с пласта со стороны массива, так и с выработки.

**Реализация работы.** Предлагаемое охранный сооружение, которое быстро вступает в работу, прошло опытно-промышленную проверку в конвейерном штреке 10 восточной лавы пласта  $l_6$  ООО «Шахта «Рассвет-1».

Полученные в ходе выполнения диссертационных исследований результаты использованы ГОУВПО «ДОННТУ» в учебном процессе для студентов по специальности «Горное дело» специализаций «Разработка месторождений полезных ископаемых».

**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций** подтверждается: корректностью постановки и решения задач; адекватностью разработанных математических и физических моделей; использованием стандартных методик, приборов и оборудования при выполнении лабораторных, стендовых и шахтных исследований; достаточным объёмом лабораторных исследований, шахтных инструментальных наблюдений и исследований методом численного моделирования; высокой теснотой связи в установленных зависимостях между исследуемыми величинами и их параметрами; хорошей сходимостью результатов лабораторных и аналитических исследований; положительными результатами опытно-промышленной проверки предлагаемого охранного сооружения, которое быстро вступает в работу.

**Апробация результатов работы.** Основные результаты работы обсуждались и получили одобрение на: VI Международной научно-практической конференции «Донбасс-2020: перспективы развития глазами молодых учёных», г. Донецк, 4

апреля 2012 года; Международной научно-технической конференции молодых учёных, аспирантов и студентов: «Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений», г. Донецк, 9-11 апреля 2014 года.

**Публикации.** Основные научные и практические результаты опубликованы в 14 научных работах: 7 статей опубликованы в специализированных научных изданиях, в том числе 2 без соавторов, 2 статей - в сборниках конференций, 3 патента на полезную модель и 2 - на изобретение.

Диссертационная работа состоит из введения, 5 разделов и заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы из 233 наименований на 28 страницах, содержит 156 страниц основного текста, 173 рисунков и 37 таблиц в 23 приложениях на 104 страницах. Общий объем работы 261 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, показана степень разработанности темы исследования и связь с научными программами, планами, темами, сформулированы цель работы и основные задачи исследований, выделен объект и предмет исследования, изложена научная новизна, научное и практическое значение работы, представлены сведения о методах исследований, реализации работы и апробации ее результатов, приведены основные научные положения и количество опубликованных работ по теме диссертации.

**В первом разделе** были рассмотрены основные гипотезы объясняющие деформирование горных выработок. Несмотря на все их многообразие, ни одна из них не учитывает влияние конструкции охранного сооружения (наличия/отсутствия зазора между охранным сооружением и кровлей) на механизм разрушения массива вокруг подготовительной выработки. Кроме того, были проанализированы конструктивные особенности и несущая способность известных охранных сооружений. Попытки улучшить состояние выработок за счет повышения несущей способности охранного сооружения не дали ощутимых результатов. Это связано с повышением затрат на реализацию способа охраны, увеличением трудоемкости возведения, сужением области применения, снижением устойчивости, отсутствием предварительного распора охранного сооружения. В этом ключе одним из перспективных направлений является разработка и внедрение охранных сооружений содержащих в своей конструкции распорные элементы. Достоинством таких сооружений является быстрое включение в работу, а при необходимости возможность создания активного предварительного распора.

**Во втором разделе** методом физического моделирования с помощью эквивалентных материалов изучено влияние конструкции охранного сооружения (наличия/отсутствия зазора между охранным сооружением и кровлей) на механизм разрушения массива вокруг подготовительной выработки.

Моделировалось охрannое сооружение, возводимое с подкровельным зазором и без него. Этот зазор, который обычно присутствует в результате возведения традиционного охранного сооружения, приводит к включению в работу за время более суток.

Охранное сооружение, возводимое с подкровельным зазором, соответствовало шахтному варианту охранного сооружения (10 восточная лава пласта  $l_6$  ООО «Шахта «Рассвет-1»), где в качестве основного охранного сооружения использовались БЖБТ, а в качестве вспомогательного – костры. Для того чтобы воспроизвести в модели предлагаемый вариант охранного сооружения, вместо БЖБТ устанавливали тумбы с породой, высота которых соответствовала мощности пласта.

Результаты моделирование обрабатывались построением ситуационных картин в программе Компас (рисунки 1, 2) и линий равных горизонтальных и вертикальных смещений в программе «Цифровая станция» (рисунки 3, 4). Ситуационные картины позволяли отследить место возникновения и путь развития магистральной трещины, а линии равных горизонтальных и вертикальных смещений – момент закрытия зазора и вступления охранного сооружения в работу по поддержанию выработки.

Анализ результатов сравнения шахтного и предлагаемого варианта показал, что включение охранного сооружения в работу сразу после возведения позволяет избавиться от многочисленных расслоений кровли и вывалов над охранным сооружением и в выработку; создать благоприятные условия для возникновения магистральной трещины над охранным сооружением и развития ее в направлении выработанного пространства. Обрушенные породы основной кровли ложатся своим весом на породы непосредственной кровли над выработанным пространством лавы, при этом снижается нагрузка на охранное сооружение и крепь выработки, что приводит к уменьшению нагрузки на охранное сооружение и последующему более устойчивому состоянию выработки. Кроме того, необходимым условием возникновения трещины является не только наличие свободной поверхности или ослабленного контакта между слоями, но и совпадение в одном месте средин диапазонов горизонтальных и вертикальных смещений.

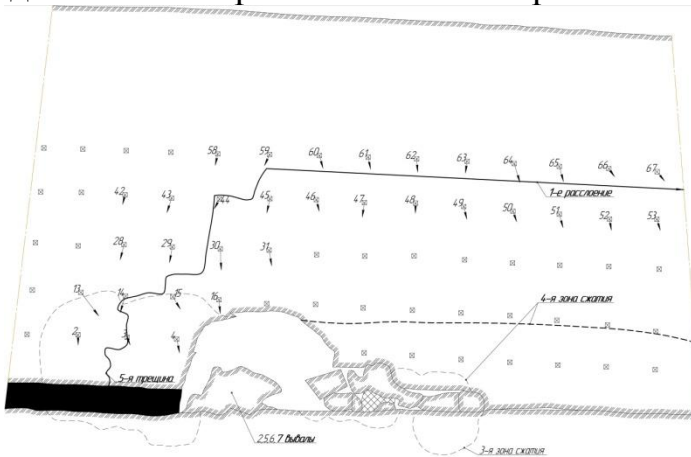


Рисунок 1 - Ситуационная картина на момент обрушения консоли основной кровли (шахтный вариант)

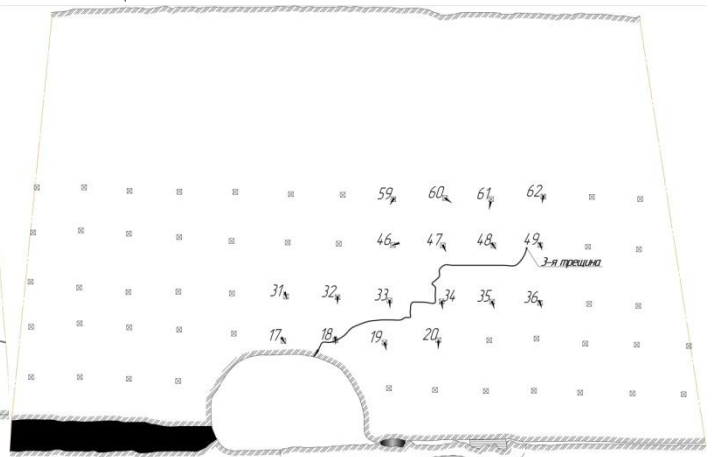


Рисунок 2 - Ситуационная картина на момент возникновения устья магистральной трещины (предлагаемый вариант)

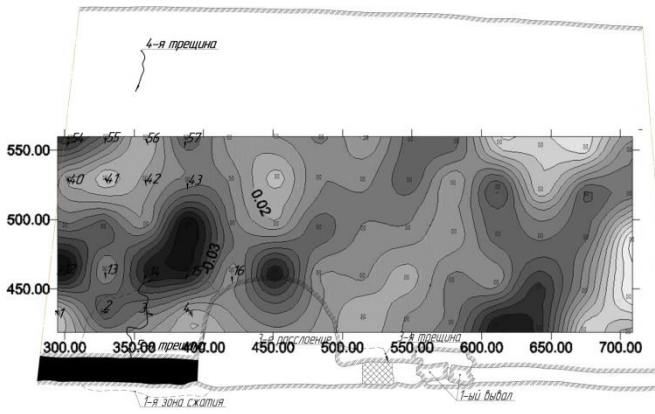


Рисунок 3 - Линии равных горизонтальных смещений на момент возникновения устья магистральной трещины (шахтный вариант)

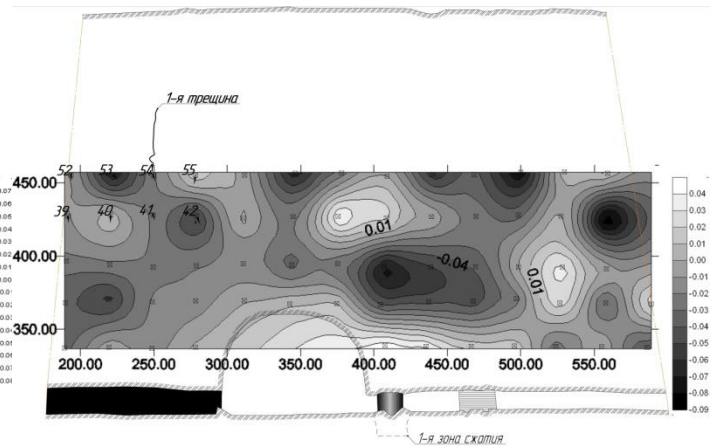


Рисунок 4 - Линии равных горизонтальных смещений на момент возникновения устья первой трещины (предлагаемый вариант)

В третьем разделе было предложено два варианта конструкции охранного сооружения, которое бы быстро включалось в работу (рисунки 5, 6). Методом физического моделирования с помощью структурных моделей была проверена эффективность этих конструкций.

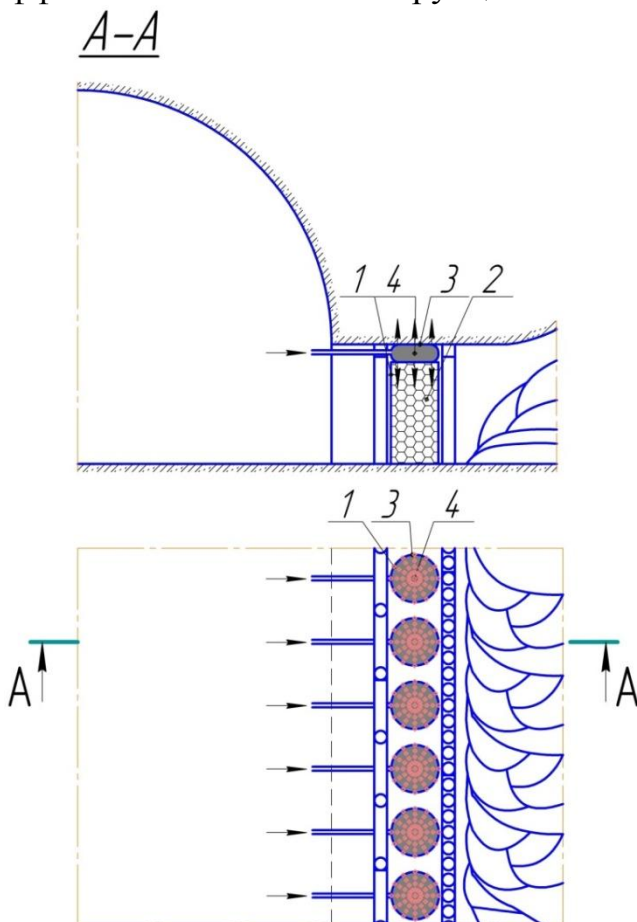


Рисунок 5 - Способ охраны подготовительной выработки с помощью двухслойного охранного сооружения: 1 – металлическая цилиндрическая обойма; 2 – порода; 3 – секционная эластичная оболочка; 4 – НРС

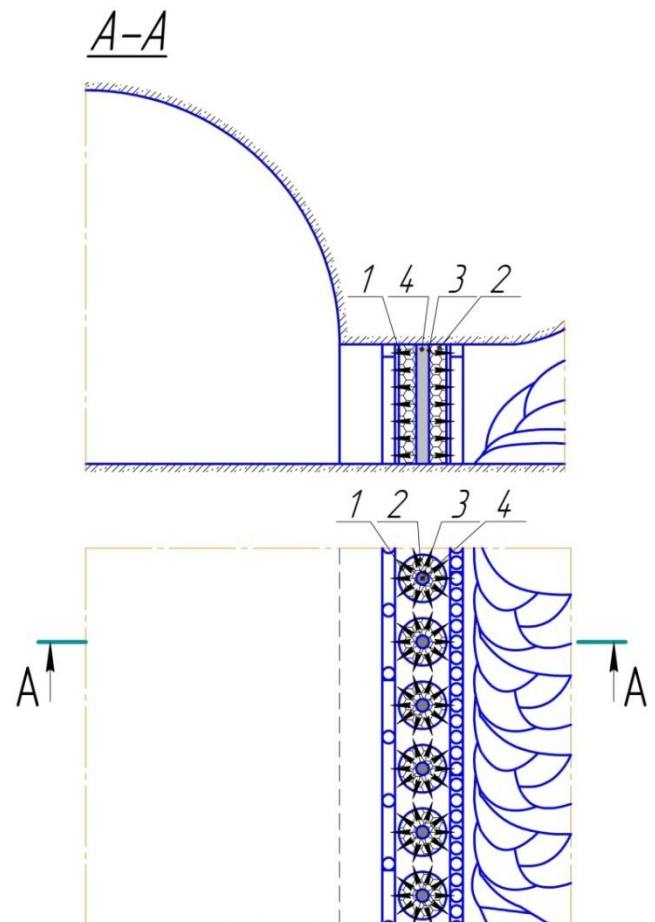


Рисунок 6 - Способ охраны подготовительной выработки породными тумбами с принудительным распором породы: 1 – металлическая цилиндрическая обойма; 2 – порода; 3 – цилиндрическая секционная эластичная оболочка; 4 – НРС

В качестве критерия эффективности выступали: несущая способность (площадь под графиком зависимости относительной деформации охранного сооружения  $\frac{dH_{оп}}{H_{оп}}$ , % от прилагаемой нагрузки  $P_{пресса}$ , МПа), импульс сопротивления разрушению (площадь под графиком зависимости предела текучести  $\frac{dH_{оп}}{H_{оп} \cdot \Delta t}$ ,  $\frac{1}{сутки}$  от прилагаемой нагрузки  $P_{пресса}$ ,  $\frac{т}{м^2}$ ) и давление, с которого начинается течение охранного сооружения под нагрузкой.

По результатам проверки наиболее эффективный вариант конструкции включает в себя размещение породы внутри жесткой опалубки и расположение распорного элемента сверху охранного сооружения. Для этого варианта с помощью регрессионного анализа на временных рядах в программной среде Statistica5.0 с использованием модуля Nonlinear Estimation был определен вид зависимости между модулем деформации охранного сооружения и его параметрами.

Варьируемыми параметрами в модели были: высота опалубки  $H_{оп} = 11 \div 22$  см, диаметр опалубки  $D_{оп} = 8,5 \div 15$  см, диаметр породы  $d_{пор} = 5 \div 10$  мм;  $10 \div 20$  мм, диаметр патрона (объем НРС)  $d_{пат} = 1,1 \div 1,6$  см.

Этот вид зависимости имеет долю объясненной дисперсии  $R_{adj}^2 = 0,993$  и уровень точности  $A = 6,14\%$ :

$$E_{деф} = 15,498 - 18,699 \cdot D_{оп} + 6,578 \cdot D_{оп}^2 \cdot 18,304 - 15,905 \cdot H_{оп} + 6,015 \cdot H_{оп}^2 \times \\ \times 4,839 - 53,936 \cdot d_{пат} + 243,505 \cdot d_{пат}^2 \cdot 5,866 - 12,995 \cdot d_{пор}, \text{ МПа (1)}$$

Параметры охранного сооружения по степени их влияния на модуль деформации (формула 1) расположились в следующем порядке: диаметр опалубки  $D_{оп}$ , м – 49,36% от  $R_{adj}^2 = 0,993$ , высота опалубки  $H_{оп}$ , м – 26,84% от  $R_{adj}^2 = 0,993$ , объем НРС, который определяется размером эластичной оболочки – диаметр патрона  $d_{пат}$ , м – 18,73% от  $R_{adj}^2 = 0,993$ , диаметр породы  $d_{пор}$ , м – 5,07% от  $R_{adj}^2 = 0,993$ .

**В четвертом разделе** приведены результаты шахтных инструментальных наблюдений за конвергенцией горных пород в выработанном пространстве перед местом и в месте установки охранного сооружения, сооружаемого без подпора кровли, с помощью контурных реперов и динамометров 45Д-135, устанавливаемых между кровлей и гидравлическими стойками. Наблюдения проводились в условиях шахты «Рассвет-1», где предложенное охранное сооружение было использовано в качестве основного, и в условиях шахты «Щегловская–Глубокая», где оно могло бы быть использовано в качестве вспомогательного. Полученные результаты позволили определить модули деформации средств крепления, которые были использованы в пятом разделе при определении эффективности предлагаемого охранного сооружения и при определении его рациональных параметров (таблица 1).

Модуль деформации средств крепления

Шахта	Средство крепления	Модуль деформации $E_{\text{деф}}$ , МПа
«Щегловская-Глубокая»	ЗКД90Т	7,024
	2М87УМП	3,543
	2ГСК13(14)	97,735
«Рассвет-1»	4ТУ20	59,641
	ОКУ-02	143,737
	«Спутник-02»	26,306

В пятом разделе для того чтобы установить возможность использования численного моделирования при поиске рациональных параметров предлагаемого варианта охранного сооружения, модели, рассмотренные во 2 разделе, были повторены. Методом численного моделирования в программной среде Ansys с помощью метода конечных элементов изучено влияние времени вступления охранного сооружения в работу (наличия/отсутствия зазора между охранным сооружением и кровлей) на характер деформирования и разрушения вмещающих выработку пород в условиях шахты «Рассвет-1» путём сравнения шахтного и предлагаемого вариантов охранного сооружения. Поскольку каждый результат численного моделирования нашёл отклик среди результатов эквивалентного моделирования, можем сделать вывод о согласованности результатов эквивалентного и численного моделирования и о возможности его использования при поиске рациональных параметров.

Для того чтобы получить более полную картину сдвижений с учетом всех опор, которые находятся в плоскости пласта, участок массива, рассмотренный в разделе 2, был расширен. В него были включены лава и участок выработки впереди неё. Паспорт участка был разбит на блоки: блок 1 – крепь в лаве, блок 2 – крепь на концевом участке лавы перед нишей, блоки 3.1, 3.2 – крепь в нише на участке перед лавой, блок 4.1, 4.2, 4.3 – крепь в нише на концевом участке перед выработкой, блок 5 – органная крепь со стороны выработанного пространства, блок 6 – вспомогательное охранный сооружение (костры), блок 7 – основное охранный сооружение (шахтный вариант – БЖБТ, возводимые с зазором, предлагаемый вариант – тумбы с распором, возводимые без зазора). Для каждого блока была определена несущая способность, модуль деформации и объемный вес.

В результате экспериментальных исследований установлено, что при использовании тумб с распором устье магистральной трещины формируется не от растяжения в основной кровле на контакте её с непосредственной, а от сжатия в непосредственной кровле на контакте её с дополнительным охранным сооружением со стороны выработанного пространства. Это происходит вследствие того, что тумбы с распором включаются в работу раньше традиционного охранного сооружения, снимают нагрузку с дополнительного охранного сооружения и с пласта со стороны массива и принимают ее на себя.

Кроме того было установлено, что БЖБТ менее эффективны, чем тумбы с распором, т.к. они не разрушаются из-за того, что практически не участвуют в поддержании выработки (рисунок 7). Однако использование тумб с распором незначительно уменьшает разрушение всех искусственных и естественных опор в плоскости пласта от сжатия (рисунок 7) и разрушение вмещающих выработку пород от растяжения (рисунок 8), что исключает применение объёма разрушенных элементов в качестве критерия при выборе рациональных параметров тумб с распором.

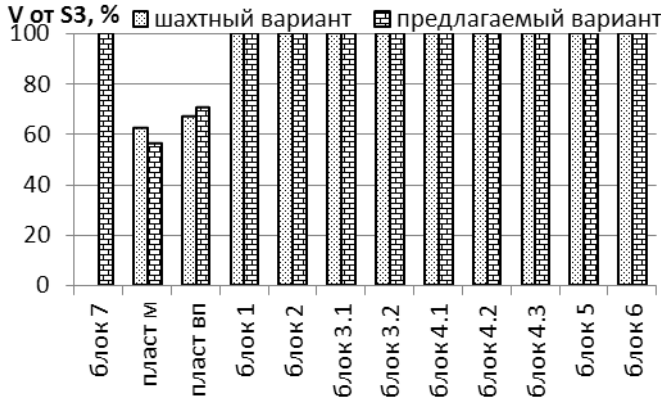


Рисунок 7 - Объём разрушенных от сжатия элементов  $V$  от  $S_3$ , %

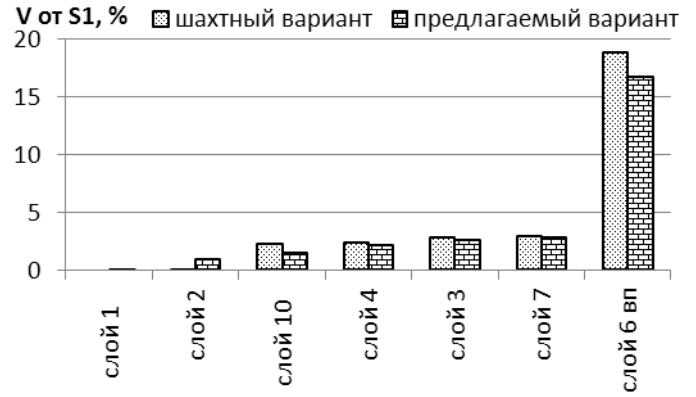


Рисунок 8 - Объём разрушенных от растяжения элементов  $V$  от  $S_1$ , %

При поиске нового критерия была проведена линейная регрессия. Для неё в качестве зависимой переменной были использованы вертикальные смещения в своде выработки: 25 точек - перед лавой, 25 точек - за лавой; в качестве независимой переменной – контактные давления на опоре: 50 точек с максимальным значением контактного давления. Линейная регрессия была осуществлена для всех искусственных и естественных опор в плоскости пласта для всех подшагов нагружения.

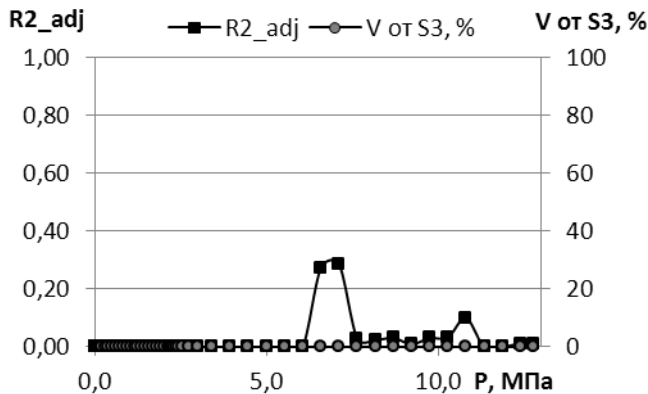


Рисунок 9 - График зависимости доли объяснённой дисперсии  $R^2_{adj}$  и объёма разрушенных от сжатия  $V$  от  $S_3$ , % элементов для блока 7 от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P$ , Па (шахтный вариант)

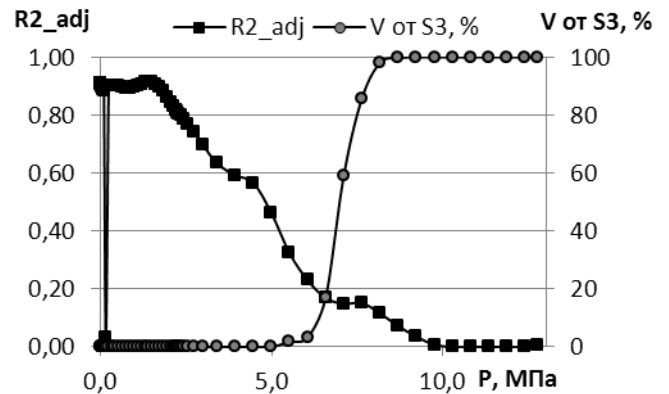


Рисунок 10 - График зависимости доли объяснённой дисперсии  $R^2_{adj}$  и объёма разрушенных от сжатия  $V$  от  $S_3$ , % элементов для блока 7 от давления, прикладываемого к верхней грани модели  $P$ , Па (предлагаемый вариант)

Её результатами были доля объяснённой дисперсии и знак коэффициента при независимой переменной. В 85,6% случаев знак коэффициента при независимой

переменной был отрицательным. Это означает, что увеличение контактных давлений на опоре ведёт к уменьшению смещений в кровле выработки. Были построены графики зависимости доли объяснённой дисперсии от давления на верхнюю грань модели, которые показывали вклад опоры в поддержании выработки. Как видно из графиков увеличение площади под кривой доли объяснённой дисперсии означает увеличение эффективности работы по поддержанию выработки, которая может служить критерием при выборе их рациональных параметров. Увеличение площади под кривой разрушения естественных и искусственных опор и слоёв пород будет означать, что начало разрушения наступило раньше.

Для предлагаемого варианта охранного сооружения были построены графики зависимости между его эффективностью работы по поддержанию выработки и модулем его деформации. При использовании тумб с распором в качестве основного охранного сооружения как при шаге первой ( $Ш_0 = 50\text{м}$  – рисунок 11), так и последующих посадок кровли ( $Ш_{II} = 15\text{м}$  – рисунок 12) увеличение модуля деформации ведёт к увеличению эффективности работы по поддержанию выработки, при этом она для тумб с распором вне зависимости от модуля их деформации больше, чем у традиционного охранного сооружения. При использовании тумб с распором в качестве вспомогательного охранного сооружения при шаге первой посадки ( $Ш_0 = 50\text{м}$  – рисунок 13) увеличение модуля деформации ведёт к уменьшению эффективности работы по поддержанию выработки, при этом она для тумб с распором вне зависимости от модуля их деформации меньше, чем у традиционного охранного сооружения. Это происходит вследствие того, что тумбы с распором включаются в работу раньше традиционного охранного сооружения, что приводит к их быстрому разрушению. Но, несмотря на это, использование тумб с максимальным модулем деформации ( $E_{\text{деф}} = 233,384\text{МПа}$ ) позволяет до момента их разрушения сформировать устье магистральной трещины не от растяжения в основной кровле на контакте её с непосредственной, а от сжатия в непосредственной кровле на контакте её с дополнительным охранным сооружением со стороны выработанного пространства. При шаге последующих посадок кровли ( $Ш_{II} = 15\text{м}$  – рисунок 14) для тумб при модуле их деформации  $E_{\text{деф}} = 71,1 \div 86,26\text{МПа}$  эффективность работы по поддержанию выработки выше, чем у шахтного варианта. Она возрастает, достигая своего максимума при  $E_{\text{деф}} = 86,26\text{МПа}$ . Дальнейшее увеличение модуля деформации тумб ведет к уменьшению эффективности работы по поддержанию выработки, и она достигает своего минимума при  $E_{\text{деф}} = 171,77\text{МПа}$ .

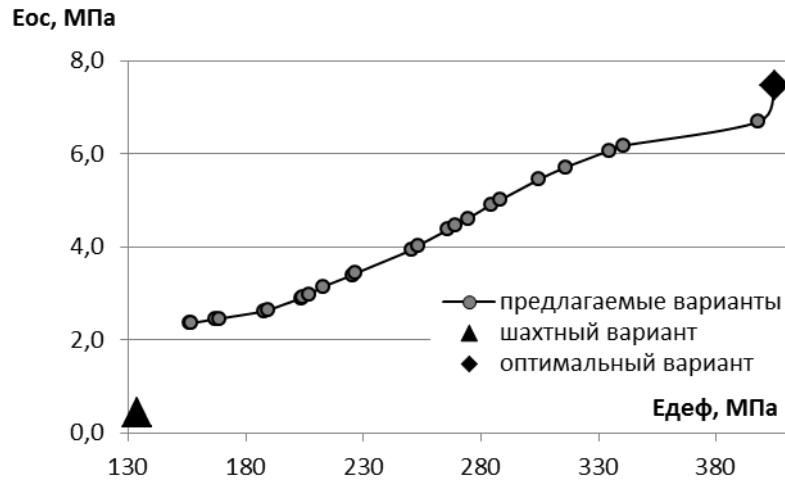


Рисунок 11 - График зависимости эффективности работы охранного сооружения (тумб с распором) по поддержанию выработки  $A_{ос}$ , МПа от модуля его деформации  $E_{деф}$ , МПа для условий шахты «Рассвет-1» ( $Ш_о = 50м$ )

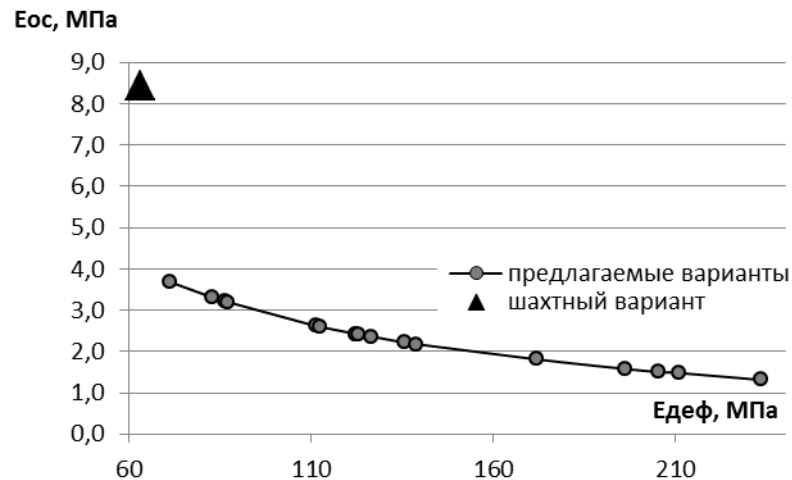


Рисунок 13 - График зависимости эффективности работы охранного сооружения (тумб с распором) по поддержанию выработки  $A_{ос}$ , МПа от модуля его деформации  $E_{деф}$ , МПа для условий шахты «Щегловская-Глубокая» ( $Ш_о = 50м$ )

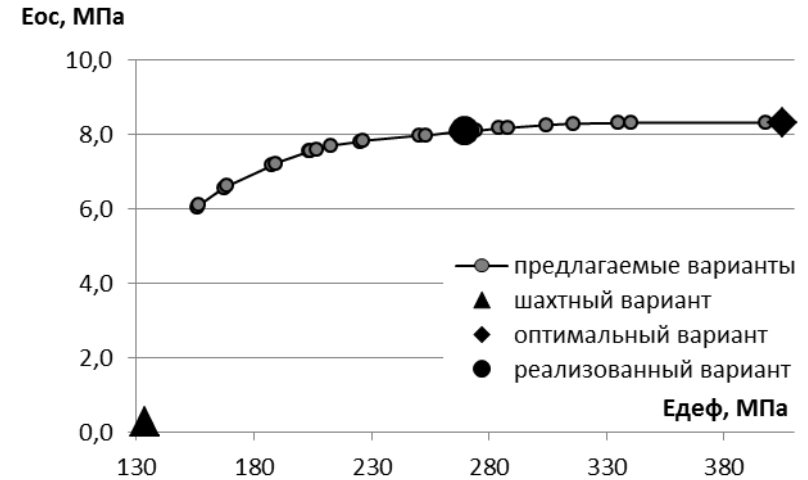


Рисунок 12 - График зависимости эффективности работы охранного сооружения (тумб с распором) по поддержанию выработки  $A_{ос}$ , МПа от модуля его деформации  $E_{деф}$ , МПа для условий шахты «Рассвет-1» ( $Ш_п = 15м$ )

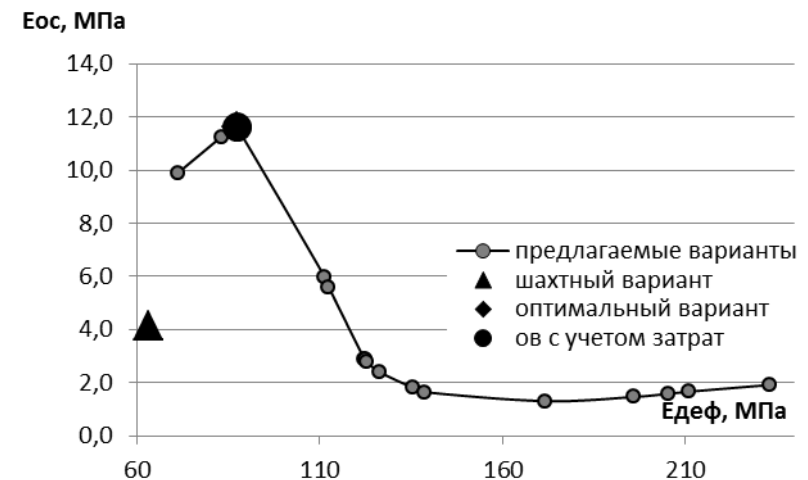


Рисунок 14 - График зависимости эффективности работы охранного сооружения (тумб с распором) по поддержанию выработки  $A_{ос}$ , МПа от модуля его деформации  $E_{деф}$ , МПа для условий шахты «Щегловская-Глубокая» ( $Ш_п = 15м$ )

Кроме этого установлены с использованием этой зависимости и технико-экономического анализа эффективности вариантов охранного сооружения его рациональные параметры для условий шахты «Рассвет-1» (диаметр опалубки  $D_{оп} = 0,5715\text{м}$ , высота опалубки  $H_{оп} = 0,55\text{м}$ , шаг установки опалубок  $L_{оп} = 0,8\text{м}$ , диаметр патрона  $d_{пат} = 0,14\text{м}$ , диаметр породы  $d_{пор} = 5 \div 10\text{мм}$ , количество рядов опалубок  $n_{ряд}^{оп} = 3\text{шт}$ ), где предложенное охранное сооружение было использовано в качестве основного и шахты «Щегловская–Глубокая» (диаметр опалубки  $D_{оп} = 0,5715\text{м}$ , высота опалубки  $H_{оп} = 1,41\text{м}$ , шаг установки опалубок  $L_{оп} = 1,2\text{м}$ , диаметр патрона  $d_{пат} = 0,12\text{м}$ , диаметр породы  $d_{пор} = 5 \div 10\text{мм}$ , количество рядов опалубок  $n_{ряд}^{оп} = 1\text{шт}$ ), где оно могло бы быть использовано в качестве вспомогательного [6, 7]. Предлагаемое охранное сооружение апробировано в условиях шахты «Рассвет-1» с учётом полученных рациональных параметров.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, в которой решена актуальная научно-практическая задача: установление особенностей и закономерностей деформирования массива, вмещающего выработку и охранное сооружение. Это позволило обосновать новый малозатратный способ охраны подготовительных выработок на основе активного распора разрушенных пород, заключённых в опалубку.

Основные научные и практические результаты работы и вытекающие из них выводы состоят в следующем:

1. Впервые установлены особенности образования магистральной трещины при обрушении пород кровли при этом положение магистральной трещины относительно выработки зависит от своевременного включения в работу охранного сооружения по поддержанию выработки. При включении в работу охранного сооружения за время более суток происходит рост трещины со стороны массива, что приводит к обрушению консоли основной кровли, вес пород при этом ложится на охранное сооружение и крепь охраняемой выработки, что вызывает ее деформирование.

2. Впервые установлена зависимость эффективности охранного сооружения на основе активного распора от жёсткости опалубки и места расположения распорного элемента. Наибольший эффект достигается при использовании жёсткой опалубки и расположении распорного элемента сверху охранного сооружения. В результате несущая способность охранного сооружения увеличивается в 1,96 раза, импульс сопротивления разрушению - в 1,62 раза, давление, с которого начинается течение охранного сооружения под нагрузкой в 31,2 раза.

3. Впервые для предлагаемого способа охраны разработана аддитивная модель зависимости несущей способности с квадратичным видом зависимости от высоты, диаметра опалубки, объёма невзрывчатой расширяющейся смеси (НРС) и прямым – от фракционного состава закладочной породы.

4. Параметры охранного сооружения по степени их влияния на модуль деформации расположились в следующем порядке: диаметр опалубки  $D_{оп}, \text{м}$  – 49,36% от  $R_{adj}^2 = 0,993$ , высота опалубки  $H_{оп}, \text{м}$  – 26,84% от  $R_{adj}^2 = 0,993$ , диаметр

патрона (объем НРС)  $d_{\text{пат}}$ , м – 18,73% от  $R_{adj}^2 = 0,993$ , диаметр породы  $d_{\text{пор}}$ , м – 5,07% от  $R_{adj}^2 = 0,993$ .

5. Теснота связи между вертикальными смещениями в своде выработки и контактными давлениями на естественной или искусственной опоре выражена как доля объяснённой дисперсии отражает вклад опоры в поддержании выработки. Увеличение площади под кривой доли объяснённой дисперсии означает увеличение эффективности работы по поддержанию выработки. Таким образом, площадь под кривой доли объяснённой дисперсии – критерий при выборе рациональных параметров тумб с распором.

6. Разработаны и защищены патентами способы охраны подготовительной выработки, разработана методика определения их рациональных параметров, предложена технология их возведения.

7. Рациональными параметрами тумб с распором в условиях шахты «Рассвет-1» являются те, которые дают максимальный модуль деформации ( $E_{\text{дефmax}} = 405,171 \text{e}^6 \text{Па}$ ): диаметр опалубки  $D_{\text{оп}} = 0,5715 \text{м}$ , высота опалубки  $H_{\text{оп}} = 0,55 \text{м}$ , шаг установки опалубок  $L_{\text{оп}} = 0,8 \text{м}$ , диаметр патрона  $d_{\text{пат}} = 0,14 \text{м}$ , диаметр породы  $d_{\text{пор}} = 5 \div 10 \text{мм}$ , количество рядов опалубок  $n_{\text{ряд}}^{\text{оп}} = 3 \text{шт}$ ; а в условиях шахты «Щегловская-Глубокая» - те параметры, которые дают максимальную эффективность работы охранного сооружения по поддержанию выработки и затраты на реализацию которых меньше, чем при шахтном варианте: диаметр опалубки  $D_{\text{оп}} = 0,5715 \text{м}$ , высота опалубки  $H_{\text{оп}} = 1,41 \text{м}$ , шаг установки опалубок  $L_{\text{оп}} = 1,2 \text{м}$ , диаметр патрона  $d_{\text{пат}} = 0,12 \text{м}$ , диаметр породы  $d_{\text{пор}} = 5 \div 10 \text{мм}$ , количество рядов опалубок  $n_{\text{ряд}}^{\text{оп}} = 1 \text{шт}$ .

8. Использование тумб с распором позволяет увеличить эффективность работы охранного сооружения по поддержанию выработки и уменьшить затраты на его возведение в условиях шахты «Рассвет-1» в 3,94 раза.

## **СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:**

### **Научные работы, опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях**

1. Малышева, Н.Н. Новое направление повышения эффективности охраны горных выработок / Н.Н. Малышева, И.Г. Сахно // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Гірничо-геологічна», вип. 1.(16) – Донецьк: ДОННТУ, 2012. – С. 16-23.

2. Сахно, И.Г. Повышение эффективности охраны горных выработок за счет активного распора охранного сооружения / И.Г. Сахно, Н.Н. Малышева // Вісті Донецького гірничого інституту. – Донецьк: ДОННТУ, 2012. – №1-2. – С. 299-304.

3. Сахно, И.Г. Лабораторные исследования комплексных невзрывчатых разрушающих смесей с добавками портландцементов / И.Г. Сахно, Н.Н. Малышева, А.А. Кириллова // Вісті Донецького гірничого інституту. – Донецьк: ДОННТУ, 2012. – №1-2. – с. 408-417.

4. Касьян, Н.Н. Лабораторные исследования несущей способности охранных сооружений с распорным элементом / Н.Н. Касьян, Н.Н. Малышева, И.Г. Сахно //

Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. - Днепропетровск, 2012. – Вып. 105. – С. 162-168.

5. Сахно, И.Г. Изучение динамики развития деформационных процессов и трещинообразования в породном массиве вокруг выработки, поддерживаемой за лавой / И.Г. Сахно, Н.Н. Малышева, В.Е. Нефёдов // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ: Державний ВНЗ „НГУ“, 2014. – № 6. – С. 46-51.

6. Малышева, Н.Н. Влияние времени вступления в работу охранного сооружения на эффективность поддержания выработки в условиях шахты «Рассвет-1» / Н.Н. Малышева // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. – Алчевск: ДонГТУ, 2020. – Вып. 61. – С. 50-57.

7. Малышева, Н.Н. Влияние времени вступления в работу охранного сооружения на эффективность поддержания выработки в условиях шахты «Щегловская-Глубокая» / Н.Н. Малышева // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. – Алчевск: ДонГТУ, 2020. – Вып. 62. – С. 37-42.

#### **Научные работы в материалах конференций**

8. Сахно, И.Г. Новое направление повышения эффективности охраны горных выработок [Электронный ресурс] 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) / И.Г. Сахно, Н.Н. Малышева // VI Международная научно-практическая конференция, «Донбасс-2020: перспективы развития глазами молодых ученых», г. Донецк, ДОННТУ, 4 апреля 2012 г. – Донецк, 2012. – С. 77-81.

9. Малышева, Н.Н. Изучение динамики трещинообразования в массиве вокруг выработки поддерживаемой за лавой / Н.Н. Малышева, И.Г. Сахно, Д.В. Скиба // Материалы международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, организованной кафедрой «Строительство шахт и подземных сооружений» ДОННТУ: «Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений», г. Донецк, ДОННТУ, 9-11 апреля 2014 г. – Донецк: «Норд-Пресс», 2014. Вып. 20 – С. 85-88.

#### **Патенты на полезные модели и изобретения**

10. Пат. 52335. Україна, МПК E21F15/00 Спосіб охорони підготовчої виробки / М.М. Касьян, І.Г. Сахно, Н.М. Малишева; Донец. нац. техн. ун-т (Україна). – № u201001482; заявл. 25.08.2010; опубл. 12.02.2010, Бюл. №16. – 3 С.

11. Пат. 65441. Україна, МПК E21D11/00, МПК E21D15/00 Спосіб охорони підготовчих виробок / І.Г. Сахно, Н.М. Малишева; Донец. нац. техн. ун-т (Україна). – № u201104881; заявл. 19.04.2011; опубл. 12.12.2011, Бюл. №23. – 6 С.

12. Пат. 99054. Україна, МПК E21D11/00, МПК E21D15/00 Спосіб охорони підготовчих виробок / І.Г. Сахно, Н.М. Малишева; Донец. нац. техн. ун-т (Україна). – № a201104658; заявл. 15.04.2011; опубл. 10.07.2012, Бюл. №13. – 9 С.

13. Пат. 65527. Україна, МПК E21F15/00 Спосіб охорони підготовчої виробки / І.Г. Сахно, Н.М. Малишева; Донец. нац. техн. ун-т (Україна). – № u201105792; заявл. 10.05.2011; опубл. 12.12.2011, Бюл. №23. – 3 С.

14. Пат. 100191. Україна, МПК E21D11/00, E21F15/00 Спосіб охорони підготовчої виробки / І.Г. Сахно, Н.М. Малишева; Донец. нац. техн. ун-т (Україна). – № a201105795; заявл. 10.05.2011; опубл. 26.1.2012, Бюл. №22. – 5 С.