

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
«Донбасский государственный технический университет»

*На правах рукописи*



**Доценко Ольга Геннадьевна**

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАЗМЕЩЕНИЯ И  
ПОДДЕРЖАНИЯ ВЫРАБОТОК В ОБРУШЕННЫХ И  
УПЛОТНЯЮЩИХСЯ ПОРОДАХ**

Специальность 25.00.22 «Геотехнология  
(подземная, открытая и строительная)»

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Алчевск – 2020

Работа выполнена в ГОУ ВПО ЛНР «Донбасский государственный технический университет»

**Научный руководитель:** **Кизияров Олег Леонидович**  
кандидат технических наук, доцент,  
государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
ЛНР «Донбасский государственный техниче-  
ский университет», зав. кафедрой разработки  
месторождений полезных ископаемых

**Официальные оппоненты:** **Лабинский Константин Николаевич**  
доктор технических наук, доцент,  
государственное образовательное учрежде-  
ние высшего профессионального образова-  
ния ДНР «Академия гражданской защиты»,  
зам. начальника академии по научной работе

**Шестопалов Иван Николаевич**  
кандидат технических наук, доцент  
государственное образовательное учрежде-  
ние высшего профессионального образова-  
ния ДНР «Донецкий национальный техниче-  
ский университет», доцент кафедры разра-  
ботки месторождений полезных ископаемых

**Ведущая организация:** государственное учреждение ДНР «Инсти-  
тут физики горных процессов»

Защита состоится «24» апреля 2020 г. в 11.00 на заседании диссертаци-  
онного совета Д 001.007.01 на базе ГОУ ВПО ЛНР «Донбасский государ-  
ственный технический университет» по адресу: г. Алчевск, пр. Ленина,  
16 (главный корпус), конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ГОУ ВПО  
ЛНР «ДонГТУ» в читальном зале по адресу: г. Алчевск,  
ул. Ленинградская 45-а, библиотека.

Автореферат разослан «\_\_\_» февраля 2020 года

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
кандидат технических наук, доцент



Е.С. Смекалин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Развитие горных работ на шахтах Донбасса сопряжено с неуклонным увеличением глубины разработки и усложнением горно-геологических условий, что сопровождается ростом проявлений горного давления и снижением устойчивости горных выработок. Треть всех проводимых на шахтах выработок перекрепляется, и больше половины из них требуют повторного ремонта. Перспективные способы сохранения нормального эксплуатационного состояния выработок связаны с их проведением в разгруженных зонах, в том числе в породах выработанного пространства. Опыт шахт Донбасса, практикующих проведение выработок по обрушенным породам, свидетельствует о хорошем их состоянии. Широкое распространение способа сдерживается недостаточной изученностью деформационных свойств обрушенных пород. Установление этих свойств в целях использования для прогнозирования напряженно-деформированного состояния массива вокруг выработки, проводимой в обрушенных и уплотняющихся породах, является актуальной задачей. Результаты прогноза позволят избежать ошибок при установлении параметров поддержания выработки на стадии ее проектирования, снизить расход материальных и трудовых ресурсов.

**Степень разработанности проблемы исследования.** Значительный вклад в разработку вопросов, связанных с обеспечением устойчивости выработок, проводимым по обрушенным породам, внесли Зборщик М. П., Назимко В. В., Пилюгин В. И., Черняев В. И., Малов В. И. и другие. Основная практическая рекомендация исследователей сводится к тому, что выработки по выработанному пространству следует проводить по окончанию активных сдвижений подработанной толщи. Остается недостаточно изученным вопрос обеспечения устойчивости выработок до завершения указанного процесса, для чего необходимо знать изменяющиеся во времени свойства обрушенных пород. Изучение деформируемости обрушенных и уплотняющихся пород имеет в основном поисковый характер и законченной теории для оценки изменений напряженно-деформированного состояния массива по мере проведения и поддержания выработки в породах с подобными структурно-механическими особенностями пока не предложено.

**Объект исследования** – процесс уплотнения пород выработанного пространства и его влияние на установление параметров размещения и поддержания выработок в обрушенном массиве.

**Предмет исследования** – параметры размещения и поддержания выработок в обрушенных породах, деформационные и прочностные свойства которых изменяются во времени и пространстве.

**Цель работы** – обосновать параметры размещения и поддержания выработок в обрушенных и уплотняющихся породах, деформационные и прочностные свойства которых изменяются во времени и пространстве.

Для достижения поставленной цели в работе сформулированы следующие основные **задачи исследования**:

– выявить структурные и текстурные особенности толщи обрушенных пород, а также определить их прочностные свойства в зависимости от кусковатости;

– получить закономерности изменения модуля деформации обрушенных пород с учетом действующей нагрузки, исходной пустотности и влажности с применением физического моделирования процесса уплотнения, в том числе установить закономерности его изменения в период активных сдвижений подработанной толщи;

– оценить достоверность установленных параметров обрушенных пород путем сравнения результатов численного моделирования сдвижений земной поверхности с данными натурных исследований;

– обосновать и опробовать в шахтных условиях параметры размещения и поддержания подготовительных выработок в обрушенных и уплотняющихся породах, обеспечивающие устойчивость горного сооружения.

#### **Научная новизна исследований:**

1. Экспериментально уточнен вид и установлены параметры зависимости, описывающей с ошибкой 19% изменение давления на почву извлеченного пласта в процессе уплотнения подработанной толщи, позволяющей обосновать параметры расположения проводимых выработок.

2. Впервые экспериментально установлено, что продолжительность активных сдвижений подработанного очистными работами массива с вероятностью 0,95 и средней погрешностью 9% описывается степенной зависимостью от параметра, зависящего от горнотехнических факторов работы лавы, и интегрального коэффициента, учитывающего глубину разработки и среднюю крепость формирующих свод обрушения пород.

3. Впервые экспериментально установлены экспоненциальные зависимости, с вероятностью 0,95 и погрешностью 7 % описывающие изменение модуля деформации обрушенных пород в процессе их уплотнения с учетом их пустотности, влажности и литологического состава, позволяющие рассчитать параметры поддержания проводимых по ним выработок.

**Теоретическая и практическая значимость работы** заключается в установлении закономерностей изменения в процессе уплотнения деформационных свойств обрушенных пород, позволяющих исследовать напряженно-деформированное состояние в окрестности выработки и принимать технологические решения по установлению параметров ее

размещения и поддержания, обеспечивающие устойчивость в условиях неполного уплотнения.

Отдельные положения диссертации используются в рамках преподавания предметов профессионального цикла при подготовке студентов специальности 21.05.04 «Горное дело» специализации «Подземная разработка пластовых месторождений», а также при выполнении научно-исследовательских и выпускных квалификационных работ на кафедре «Разработки месторождений полезных ископаемых» горного факультета ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ».

**Методология и методы исследования.** Для достижения поставленной цели в работе применен комплексный метод исследования, состоящий из анализа и обобщения технических источников; натуральных методов исследования (фотограмметрии; анализа результатов инструментальных наблюдений за оседаниями подработанной земной поверхности); лабораторных методов определения физико-механических свойств пород; физического моделирования процесса уплотнения обрушенных пород с учетом теории подобия; обобщения результатов экспериментальной работы с применением методов математической статистики и корреляционного анализа; метода конечных элементов для определения конвергенции горных пород в подготовительной выработке.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Нарастание давления подработанного массива на почву извлеченного пласта до значений ненарушенного массива описывается логистической зависимостью и предполагает S-образный характер изменения модуля деформации обрушенных пород, что позволяет повысить точность прогноза напряженно-деформированного состояния уплотняющегося массива, вмещающего подготовительную выработку.

2. Величина смещений со стороны кровли выработки, проводимой по уплотняющимся породам выработанного пространства в период активных сдвижений продолжительностью до 120 суток, определяется литологическим составом и прочностными свойствами непосредственной и основной кровли и гиперболически зависит от разрыва во времени между проходом лавы и проведением выработки, что позволяет рассчитать рациональные параметры размещения и поддержания выработки для обеспечения ее длительной устойчивости.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Достоверность научных и технологических решений, обоснованность выводов и рекомендаций подтверждаются достаточным объемом проанализированных и систематизированных данных инструментальных наблюдений за оседаниями земной поверхности, использованием стандартных методов и методик лабораторных испытаний, достаточным объемом проведенных

экспериментов при изучении процесса уплотнения пород, адекватностью разработанных математических моделей, высокой теснотой связи между исследуемыми факторами ( $R^2 \geq 0,74$ ), ошибкой аппроксимации полученных зависимостей в пределах  $A = 6-29\%$ , удовлетворительным состоянием подготовительных выработок, размещенных и поддерживаемых в выработанном пространстве в соответствии с обоснованными параметрами.

Основные положения работы и отдельные ее этапы обсуждались и были одобрены на международных научно-практических конференциях «Трансфер технологій від ідеї до прибутку» (г. Днепропетровск, 2010 г.); «Актуальные вопросы промышленного, гражданского и подземного строительства» (г. Алчевск, 2011 г.); «Форум горняков» (г. Днепропетровск, 2012 г.); «School of Underground Mining» (г. Днепропетровск, 2013 г.) и международных форум–конкурсах молодых ученых «Проблемы недропользования» (г. Санкт-Петербург, 2011 и 2012 гг.).

**Результаты исследования реализованы** в виде рекомендаций по размещению и поддержанию горных выработок в выработанном пространстве на действующих предприятиях (ш. им. Н. П. Баракова «Краснодонуголь», ш. «Центросоюз» «Свердловантрацит», ш. им. Космонавтов «Ровенькиантрацит»). Принятые технологические решения позволили обеспечить безремонтное поддержание выработок и получить экономический эффект в размере 2842 грн/м по состоянию на 2010 год или 12–12,5 тыс. руб/м в текущих ценах 2020 года.

**Публикации.** Основные положения исследований отображены в 13 печатных работах, среди них 11 статей, опубликованных в регистрируемых научных журналах и изданиях, утвержденных ВАК ЛНР и РФ, в том числе одно входит в международную наукометрическую базу SCOPUS и 2 патента на полезную модель. Результаты исследований опубликованы в материалах 5 международных научных конференций, в том числе одна на иностранном языке.

**Структура диссертации.** Работа изложена на 237 страницах (из них 142 страницы – основной текст) и включает введение, 4 раздела (17 подразделов), выводов к разделам, заключения. Содержит 104 рисунка (из них 58 в приложениях), 43 таблицы, список литературных источников из 121 наименования и 9 приложений.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность направления исследования, определяется цель работы и постановка проблемы диссертации. Определены объект, предмет и методы исследования, научная новизна, теорети-

ческая и практическая значимость полученных результатов и формы их апробации.

**Раздел 1 «Состояние вопроса охраны выработок в обрушенных породах»** содержит 4 подраздела. В подразделе 1.1 **«Сущность проблемы повышения устойчивости горных выработок на больших глубинах»** в результате обзора современных научных источников показано, что традиционные способы поддержания горных выработок в эксплуатационном состоянии на больших глубинах разработки не эффективны и требуется изыскание новых и совершенствование существующих методов обеспечения их устойчивости.

В подразделе 1.2 **«Опыт применения способа охраны выработок в породах выработанного пространства»** показано, что размещенные в выработанном пространстве горные выработки сохраняют свою устойчивость, если они были проведены по окончании процесса сдвижения подработанного массива, то есть когда обрушенные породы достаточно уплотнились. Часто на практике потребность в выработке возникает гораздо раньше. В действующих методиках и стандартах при расчете параметров крепления не учитывается фактор времени, существенно влияющий на состояние проектируемой выработки ввиду изменчивости деформационных свойств уплотняющихся обрушенных пород.

В подразделе 1.3 **«Обзор подходов к моделированию обрушенных пород при решении задач геомеханики»** отмечается отсутствие методик определения изменяющихся во времени и пространстве деформационных и прочностных свойств пород выработанного пространства. Наиболее часто в расчетах и при моделировании численными методами обрушенным породам задают значения модуля деформации  $E$ , угла внутреннего трения  $\varphi$ , силы сцепления  $C$  и объемной массы  $\gamma$  меньше, чем в нетронутом массиве. На значение перечисленных величин оказывает влияние литологический и фракционный состав пород, их влажность, а также величина и время воздействия сжимающих усилий. Ввиду отсутствия комплексного учета указанных факторов, в научной литературе приводится достаточно широкий диапазон значений свойств обрушенных пород.

В подразделе 1.4 **«Цель, задачи и методы исследований»** поставлено целью обосновать параметры размещения и поддержания выработок в обрушенных и уплотняющихся породах при использовании изменчивых свойств вмещающей среды, поставлены задачи для ее достижения и методы их решения.

**Раздел 2 «Исследование параметров обрушенных пород»** состоит из 5 подразделов. Подраздел 2.1 **«Шахтные исследования текстурных и структурных особенностей толщи обрушенных пород»** посвящен изучению строения свода обрушения. Целью этих исследований являлось ус-

тановление кусковатости пород на различном удалении от почвы извлеченного пласта. Объекты исследования – проходческие забои выработок, проводимые по выработанному пространству. Информация о крупности пород непосредственно у почвы отработанного пласта и на 1,5-2 м выше него получена по фотографиям забоев западных магистральных штреков и 17-ого северного уклона, проводимым на шахте им. Н. П. Баракова. Съемки проходческого забоя полевого уклона с пласта  $l_4$  на  $l_1$ , проводимого над вост. лавой пласта  $l_1$  шахты им. XIX съезда КПСС (рисунок 1), выполненные на расстоянии 20 м, 9 м и 5 м по нормали от почвы пласта, позволили изучить текстурные особенности свода обрушения.

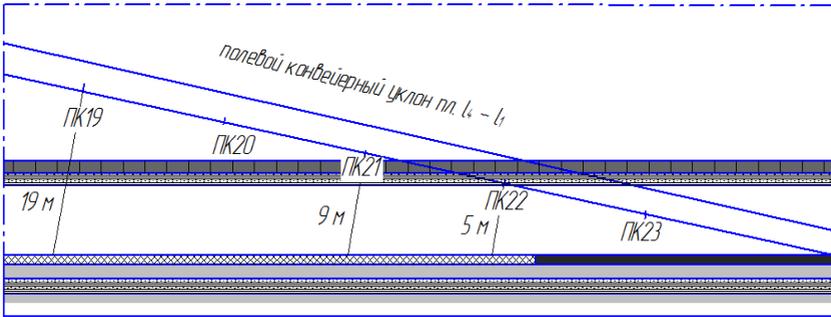


Рисунок 1 – Горно-геологический прогноз полевого конвейерного уклона с пласта  $l_4$  на  $l_1$ , проводимого на шахте им. XIX съезда КПСС

По площадям проекций породных кусков на фотоснимках проходческих забоев вычислены эквивалентные диаметры, которые в дальнейшем составили исходную эмпирическую информацию для изучения статистических оценок структурных параметров обрушенных пород. Установлено, эквивалентные диаметры породных кусков ( $d$ ) с удалением от почвы отработанного пласта ( $h$ ) линейно увеличиваются (рисунок 2).

$$d = 0,026 \cdot h + 0,34, \text{ м.} \quad (1)$$

На основании полученных результатов исследования уточнены имеющиеся представления о строении зоны обрушения. По высоте свода обрушенные породы неоднородны по гранулометрическому составу и включают в себя три относительно однородных слоя. Нижний слой имеет высоту меньше мощности извлеченного угольного пласта ( $< m$ ), представлен мелкодробленными хаотично расположенными породными отдельностями. Выше него располагается слой крупнодробленых пород мощностью 3...6 м. Распределение размеров кусков в указанных слоях описывается логнормальным законом с ошибкой аппроксимации 3,7-8,3%. Над круп-

нодробленными породами находится зона блочного строения.

В подразделе 2.2 «Исследование характеристик горных пород, моделирующих обрушенный массив» приведены результаты лаборатор-

ных испытаний пород, отобранных для экспериментальной работы – аргиллита, алевролита, песчаника. Стандартными методами установлены их прочностные свойства, плотность и влажность.

В подразделе 2.3 «Исследование влияния гранулометрического состава на прочностные свойства обрушенных пород» исходя из крупности породных кусков, мелко и крупнодробленые породы представляется возможным классифицировать как «камни» – разновидность двухфазного грунта (породы + пустоты), не набухающего при увлажнении и легко пропускающего через себя воду. По своему строению обрушенные породы подобны сыпучей среде.

Согласно нормативным документам, коэффициент структурного ослабления  $k_{стр}$  зависит от расстояния между поверхностями ослабления пород, что было использовано для определения изменения его величины по высоте свода обрушения (рисунок 3)

У сыпучей среды наблю-

дается равенство углов внутреннего трения  $\varphi$  и естественного откоса  $\alpha$ . С целью определения последнего, отобранные для испытаний породы измельчались в соответствии с линейным критерием подобия и испытывались на приборе Литвинова. Установлено, для мелкодробленых пород  $\alpha < \varphi$  на  $2-4^{\circ}$ ; у крупнодробленых пород на  $1-1,5^{\circ}$ .

В подразделе 2.4 «Физическое моделирование процесса уплотнения обрушенных пород» представлены результаты компрессионных испытаний модельного материала, выполняемых на одометре в соответствии со стандартной методикой механики грунтов при соблюдении критериев подобия. Нагрузка на образец передавалась ступенями с шагом в

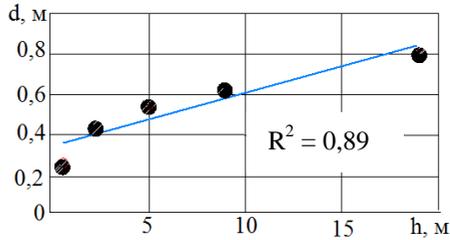


Рисунок 2 – Диаметр породного куска обрушенных пород на различной высоте от почвы пласта

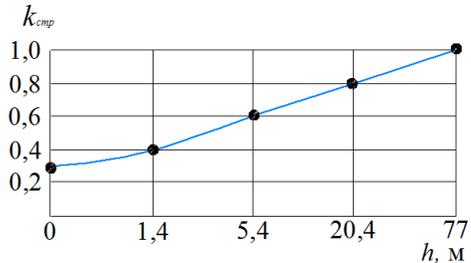


Рисунок 3 – Изменение  $k_{стр}$  обрушенных пород по высоте свода обрушения

0,5 кг/см<sup>2</sup>. На каждом шаге фиксировались показания индикатора часового типа до достижения условной стабилизации деформаций. Исследование процесса уплотнения проведено в виде факторного эксперимента, в котором три влияющих фактора варьируют на двух уровнях (таблица 1).

Таблица 1 – Уровни варьирования факторов в натуре и в модели при компрессионных испытаниях

Влияющие факторы	Условные обозначения факторов	Уровни варьирования			
		в натуре		в модели	
		min	max	min	max
Нагрузка на образец $P$ , МПа	$x_1$	2,5	25	0,1	1,0
Пустотность образца $V$ , %	$x_2$	0,205	0,447	0,205	0,447
Влажность $W$ , %	$x_3$	0,0012	0,3	0,0012	0,3

По полученным опытными данным построены компрессионные кривые, отражающие изменение осадки образца  $h$  при увеличении сжимающих усилий  $P$  (рисунок 4).

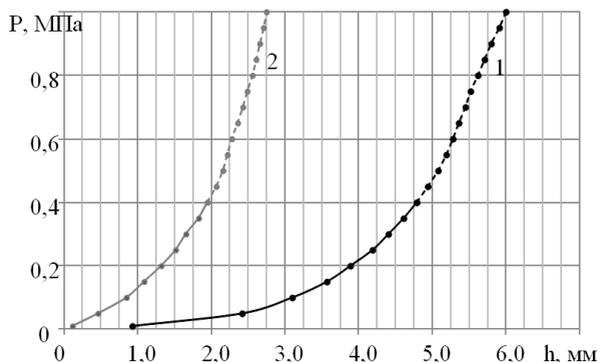


Рисунок 4 – Компрессионная кривая аргиллита естественной влажности ( $W_{min}$ ) при пустотности образца: 1 – минимальной ( $V_{min}$ ), 2 – максимальной ( $V_{max}$ )

Для прогноза выходного параметра матрицы планирования – модуля деформации  $E$ , МПа (рисунок 5), получены эмпирические зависимости

– аргиллита:

$$E = 108 \cdot \exp(0,043P - 6,82V + 0,83W + 0,24PV - 2,54VW + 0,57), \text{ МПа}, \quad (2)$$

– алевролита:

$$E = 130 \cdot \exp(0,075P - 4,32V + 2,38W + 0,13PV - 7,29VW - 0,22), \text{ МПа}, \quad (3)$$

–песчаника:

$$E = 172 \cdot \exp(0,003P + 0,36PV - 11,72V + 2,17), \text{ МПа.} \quad (4)$$

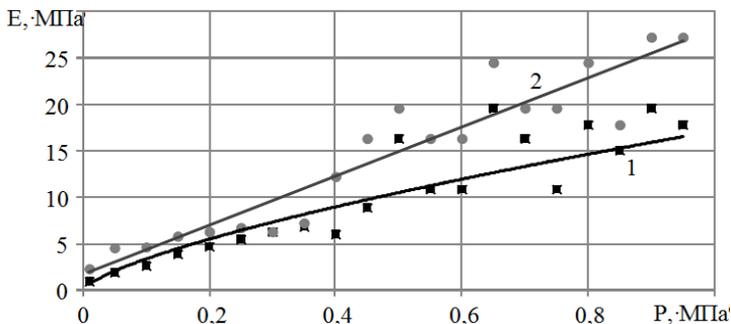


Рисунок 5 – Модуль деформации на примере алевролита естественной влажности ( $W_{min}$ ) при пустотности образца 1) максимальной ( $V_{max}$ ), 2) минимальной ( $V_{min}$ )

В подразделе 2.5 «Исследование изменения коэффициента пустотности обрушенных пород» по результатам компрессионных испытаний получены зависимости изменения коэффициента пустотности для мелкодробленых  $V_{i,m}$  и крупнодробленых  $V_{i,k}$  пород при величине сжимающих усилий  $P$  (рисунок 6), требуемых для определения объемной массы  $\gamma$  пород выработанного пространства

$$V_{i,m} = 0,34 \cdot \exp(-0,09P), \quad (5)$$

$$V_{i,k} = 0,19 \cdot \exp(-0,05P). \quad (6)$$

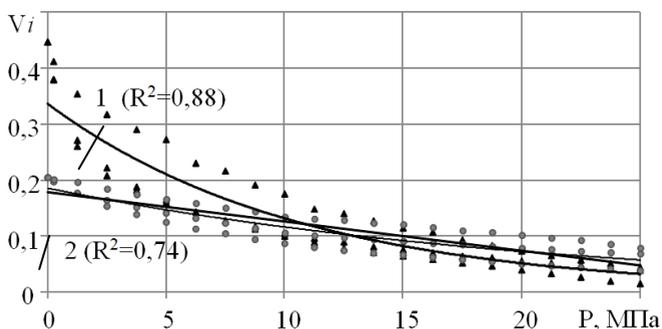


Рисунок 6 – Изменение коэффициента пустотности обрушенных пород  $V_i$  1) мелко-; 2) крупнодробленых

**Раздел 3 «Определение изменения модуля деформации обрушенных пород во времени»** включает в себя 3 подраздела. В подразделе 3.1 «Установление длительности активного периода сдвижений горного массива» по методике проф. Ю. Н. Гавриленко проведен анализ данных нивелирования 4-х подработанных участков железных дорог. Для каждого замерного пункта (репера) построены графики развития оседаний земной поверхности во времени (рисунок 7-а), описываемые функцией

$$\eta(t) = \eta_k \cdot \left[ 1 - \exp\left(-\beta_1 \cdot (t + t_0)^2\right) \right], \text{ мм}, \quad (7)$$

где  $\eta_k$  – конечные оседания в некоторой наблюдаемой точке, мм;  
 $\beta_1$  – эмпирический коэффициент, определяемый экспериментально;  
 $t$  – время после прохода створа лавы под репером, сут;  
 $t_0$  – время от начала воздействия на репер до момента прохода створа лавы под ним, сут.

Для четкого разделения стадий процесса сдвижения проанализированы его скорость развития  $v$ ; ускорение  $a$  и темп изменения ускорения (рывок)  $\delta a$  – соответственно как первая, вторая и третья производная функции (7-б, 7-в, 7-г).

Длительность активного периода оседаний земной поверхности определялась по функции рывка ускорения: его начало соответствует максимальному отрицательному значению данной функции, а окончание – нулевому. Для прогноза длительности активного периода оседаний получена зависимость, поверхность отклика которой представлена на рисунке 8.

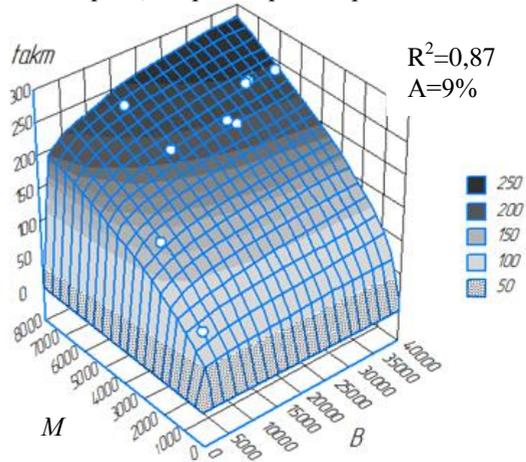


Рисунок 8 – Поверхность отклика длительности активного периода оседаний

$$t_{акт} = \sqrt{M} \cdot B^{0,12} \quad (8)$$

где  $M = Hf$  – интегральный коэффициент, учитывающий глубину разработки  $H$ , м и среднюю крепость пород  $f$ , формирующих свод обрушения;

$B = m \cdot L \cdot v$  – параметр, учитывающий горнотехнические параметры работы лавы ( $m$  – вынимаемая мощность пласта, м;  $L$  – длина лавы, м;  $v$  – скорость подвигания лавы, м/мес).

Для зависимости (8) приняты граничные условия:  $240 < H < 1100$  м;  $4,95 < f < 6,5$ ;  $1 < m < 2,3$ , м;  $24 < v < 83$ , м/мес.;  $78 < L < 310$ , м.

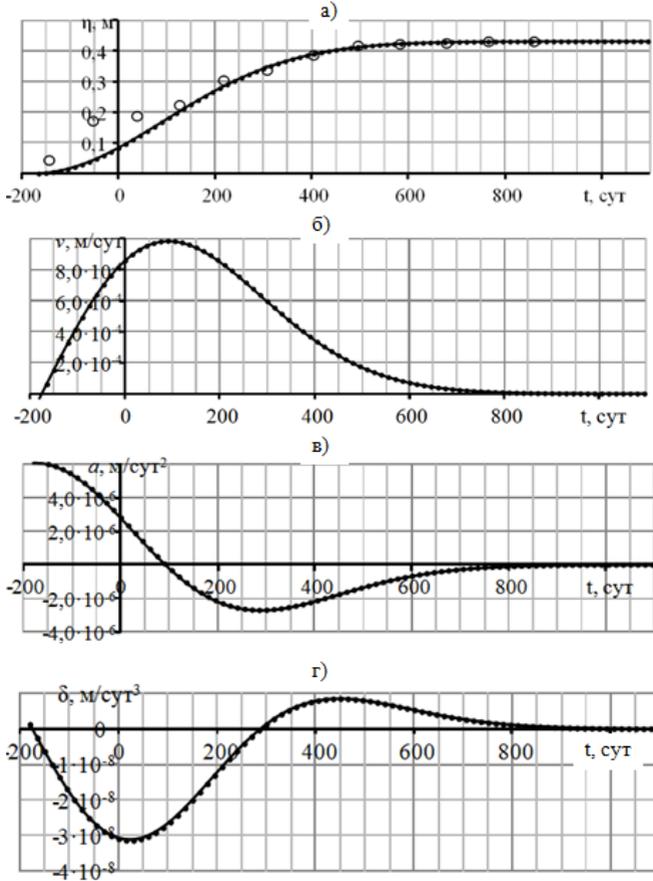


Рисунок 7 – Графическое представление развития оседаний земной поверхности в одной из наблюдаемых точек: а) кривая оседаний; б) скорость развития оседаний; в) ускорение оседаний; 4) рыбок ускорения

В подразделе 3.2 «Зависимость изменения давления обрушенных пород в выработанном пространстве лавы во времени» аппроксими-

рованы экспериментальные данные Л. Н. Гапановича по изменению давления на почву извлеченного пласта во времени одной зависимостью вместо кусочной (рисунок 9).

Предложена логистическая зависимость, ограниченная по вертикали величиной максимального давления  $\gamma H$

$$P(t) = \frac{\gamma H \cdot g \cdot 10^{-3}}{1 + a \cdot \exp \left[ -b \left( t + \frac{l_n}{v} - t_{акм} \right) \right]}, \text{ МПа}, \quad (9)$$

где  $P_t$  – давление в выработанном пространстве в момент времени  $t$ , МПа;  
 $\gamma$  – объемная масса пород в массиве, т/м<sup>3</sup>;  
 $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  
 $t$  – время после прохода лавы, сут;  
 $l_n$  – шаг первичной посадки кровли, м;  
 $a, b$  – параметры, определяемые как  $a = 0,37/t_{акм}$ ;  $b = 8,08/t_{акм}$ .

В подразделе 3.3 «Изменение модуля деформации во времени» предложен следующий порядок расчета деформационных свойств: 1) рассчитывается длительность активного периода оседаний земной поверхности (8); 2) определяется величина давления на почву отработанного пласта в фиксированный - момент времени (9); 3) вычисляется модуль деформации по зависимостям (2), (3) или (4). На примере мелкодробленого алевролита показано изменение модуля деформации во времени (рисунок 10). Изменение модуля деформации  $E$  обрушенных пород во времени имеет S-образный характер, аналогично давлению на почву пласта в выработанном пространстве.

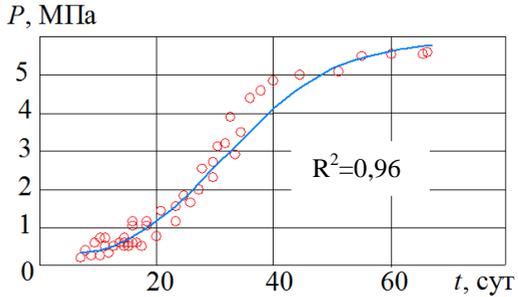


Рисунок 9 – Фактические данные замеров изменения давления в выработанном пространстве лавы и аппроксимирующая их кривая

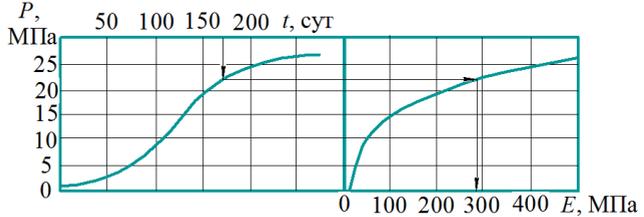


Рисунок 10 – Изменение модуля деформации обрушенных пород во времени при глубине разработки 1100 м

В разделе 4 «Обоснование параметров размещения и поддержания выработок в уплотняющихся породах» 5 подразделов. В подразделе 4.1 «Проверка достоверности установленных свойств обрушенных пород» составлена численная модель процесса сдвижения земной поверхности, протекающего во времени по мере подвигания лавы №8 пласта  $h_8$  шахты им. М. В. Фрунзе. Результаты моделирования отклоняются от данных фактических замеров на 26%, что значительно меньше погрешности нормативной методики прогноза.

В подразделе 4.2 «Определение смещений на контуре выработки, пройденной в обрушенных породах» описан численный эксперимент прогноза смещений  $U$  на контуре выработки, проводимой на глубине 1100 м в выработанном пространстве спустя  $t$  сут после прохода лавы.

Моделирование осуществлено в пяти временных точках – от начала посадки основной кровли и до окончания процесса сдвижения подработанного массива. Для каждого момента времени просчитаны 9 моделей, отличающихся между собой породами, слагающими непосредственную и основную кровлю извлеченного пласта, из которых при обрушении формируются мелко- и крупнодробленый слой свода обрушения, а также зона блочной структуры.

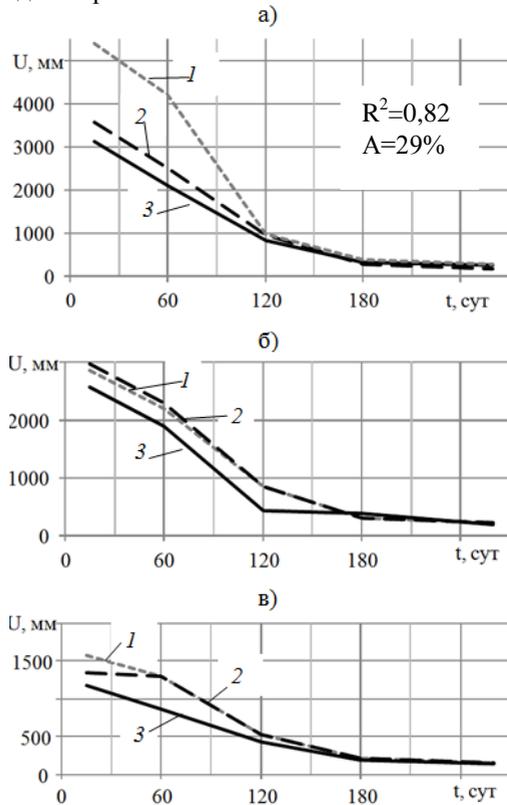


Рисунок 11 – Ожидаемые смещения в кровле выработки, проводимой в выработанном пространстве через  $t$  сут после прохода лавы  
 а, б, в – графики при категории непосредственной кровли по устойчивости  $B_{1-2}$ ,  $B_3$  и  $B_4$   
 1, 2, 3 – кривые, при категории основной кровли по устойчивости  $A_{1-2}$ ,  $A_3$  и  $A_4$

Анализ графиков изменения смещений в кровле выработки (рисунок 11) показал:

- при сооружении выработки в первой половине активного периода оседаний подработанного массива смещения  $U > 1000$  мм, их величина определяется свойствами пород непосредственной и основной кровли;

- при проведении выработки во второй половине активного периода оседаний смещения  $U < 1000$  мм при любых породах кровли.

Для прогнозирования ожидаемых смещений предложена зависимость:

$$U = \frac{126800 \cdot k_A \cdot k_B}{t + 5}, \text{ мм}, \quad (10)$$

где  $k_A$  – коэффициент, учитывающий категорию кровли по обрушаемости, принимается равным 1; 0; 0,62; 0,6 для  $A_{1-2}$ ,  $A_3$ ,  $A_4$ , соответственно;

$k_B$  – коэффициент, учитывающий категорию кровли по устойчивости, принимается равным 1; 0; 0,64; 0,3 для  $B_{1-2}$ ,  $B_3$ ,  $B_4$ , соответственно.

В подразделе 4.3 «**Прогноз нагрузки на крепь и расчет параметров крепления выработки, проводимой в уплотняющихся породах**» в соответствии с нормативной методикой на основании установленных величин смещений кровли  $U$  для сооружаемого объекта определена плотность установки ( $l_p$ ) выбранной крепи и осуществлена ее проверка по податливости. Первоочередное влияние на  $l_p$  оказывает время отставания проходческих работ от очистных. Влияние литологического состава обрушенных пород вторично и существенно при проведении выработки в первой половине процесса активных сдвижений. Если проходческие работы начинаются во второй половине этого процесса, то  $l_p = 1$  рама/м независимо от вмещающих выработку боковых пород.

В подразделе 4.4 «**Затраты на поддержание выработок в обрушенных и уплотняющихся породах**» установлено, что стоимость поддержания 1 п.м. выработки при ее проведении без отставания от лавы будет максимальна (47,7 тыс. руб/м). С увеличением разрыва во времени между проходческими и очистными работами стоимость поддержания снижается и при разрыве во времени 120 сут и более составит 14-16 тыс. руб/м.

В подразделе 4.5 «**Параметры размещения и поддержания выработки в обрушенных породах**» представлена система разработки со штреком, проводимом в выработанном пространстве лавы (рисунок 12).

Параметры размещения выработки в уплотняющихся породах определяются продолжительностью периода активных сдвижений подработанного массива  $t_{акм}$ . Рекомендуемое время проведения  $t_{np} = 0,5 \cdot t_{акм}$ ; отставание от лавы  $l_{отст} = t_{np} / v$  (где  $v$  – скорость подвигания лавы, м/сут). Па-

раметры поддержания:  $l_p = 1$  рама/м; тип крепи КМП-А5 / КМП-А3; стоимость поддержания 14-16 тыс. руб/п.м.



1, 2 – подготовительные выработки; 3 – промежуточный штрек в выработанном пространстве 4; 5 – зона неполных уплотнений пород; 6 – лава; 7 – трубопровод, обеспечивающий связь 3 и 6, 8 – трубопровод, по которому из проходческого забоя выработки 3 высасывается пыль и отработанный воздух; 9 – вентилятор местной проветривания, нагнетающий в лаву 6 воздух, охлажденный устройством 10

Рисунок 12 – Способ разработки угольных пластов длинными лавами

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является завершенной научно-исследовательской работой, в которой решена научно-техническая задача по установлению особенностей и закономерностей деформационных и прочностных свойств обрушенных и уплотняющихся во времени пород, позволившая установить рациональные параметры размещения и поддержания проводимых по ним выработок, обеспечивающих их длительную устойчивость и снижение в 2-3 раза затрат на их поддержание.

Основные результаты работы заключаются в следующем:

1. Натурными методами исследованы текстурные и структурные особенности строения свода обрушенных пород. Подтверждено, что свод неоднороден по высоте и включает в себя 3 сравнительно однородных по гранулометрическому составу слоя. Установлено, с удалением от почвы извлеченного пласта вглубь массива размер породных кусков линейно увеличивается.

2. Лабораторными методами определено влияние степени дробления обрушенных пород на их прочностные свойства. В сравнении с ненарушенным массивом, углы внутреннего трения мелкодробленых пород снижаются на  $2-4^{\circ}$ , а крупнодробленого – на  $1-1,5^{\circ}$ . В большей степени сни-

жение характерно для глинистых пород. Коэффициент структурного ослабления мелкодробленого слоя равен 0,3. С удалением от почвы отработанного пласта вглубь массива его величина растет, что объясняется увеличением размеров породных отдельностей, слагающих свод обрушения.

3. В результате проведенного физического моделирования процесса уплотнения обрушенных пород получены эмпирические зависимости, позволяющие прогнозировать величину модуля деформации при учете пустотности (фракционного состава), влажности и величины сжимающей нагрузки. Установлено влияние величины сжимающих усилий на коэффициент пустотности пород в выработанном пространстве.

4. Предложена степенная зависимость длительности периода активных сдвижений массива от интегрального коэффициента, учитывающего глубину разработки и среднюю крепость формирующих свод обрушения пород, и параметра, учитывающего горнотехнические факторы работы лавы.

5. Предложена и обоснована логистическая модель для прогнозирования величины давления в выработанном пространстве в произвольный момент времени после прохода лавы.

6. Разработана методика определения модуля деформации обрушенных пород, комплексно учитывающая литологический, фракционный состав обрушенных пород и давление на почву пласта в выработанном пространстве, изменяющееся во времени. Установлено, что изменение модуля деформации пород выработанного пространства во времени имеет S-образный характер.

7. Обоснованы параметры размещения и поддержания выработок в обрушенных и уплотняющихся породах. Установлено, что проходческие работы целесообразно начинать спустя 120 сут после прохода лавы, когда прогнозные смещения не превышают 1000 мм независимо от литологического состава вмещающих выработку обрушенных пород.

8. Предложены рекомендации по поддержанию выработок в выработанном пространстве на шахтах «Центросоюз» СП «Свердловантрацит», им. Космонавтов СП «Ровенькиантрацит» и им. Н. П. Баракова СП «Краснодонуголь».

9. Отдельные положения диссертационного исследования используются в рамках преподавания предметов профессионального цикла при подготовке студентов специальности 21.05.04 «Горное дело» специализации «Подземная разработка пластовых месторождений» (дисциплина «Управление состоянием массива горных пород»), а также используются при выполнении научно-исследовательских и выпускных квалификационных работ на кафедре «Разработки месторождений полезных ископаемых» горного факультета ГОУ ВПО ЛНР «ДонГУ».

**Основные научные публикации по теме диссертационного  
исследования**

***Статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК Луганской Народной Республики***

1. Доценко, О. Г. Установление продолжительности оседания земной поверхности над выработанным пространством лавы / Г. А. Аверин, П. Н. Кирьязов, О. Г. Доценко // Сб. научн. тр. Донбасского государственного технического университета. – Алчевск: ДонГТУ, 2007. – Вып.25. – С. 49-55.
2. Доценко, О. Г. Установление продолжительности оседания земной поверхности над выработанным пространством лав №352 и 353 ш. «Ворошиловская» ГП «Ровенькиантрацит» / Г. А. Аверин, П. Н. Кирьязов, О. Г. Доценко, А. В. Власюк // Сб. научн. тр. Донбасского государственного технического университета. – Алчевск: ДонГТУ, 2008. – Вып.27. – С. 145-152.
3. Доценко, О. Г. Механические свойства обрушенных и уплотняющихся вмещающих пласты антрацита пород / Г. А. Аверин, П. Н. Кирьязов, О. Г. Доценко // Сб. научн. тр. Донбасского государственного технического университета. – Алчевск: ДонГТУ, 2008. – Вып. 26. – С. 110-114.
4. Доценко, О. Г. Анализ затрат на проведение подготовительных выработок / О. Г. Доценко // Уголь Украины. – 2009. – № 11. – С. 18-20.
5. Доценко, О. Г. Обоснование максимальной длины очистного забоя / Г. А. Аверин, П. Н. Кирьязов, О. Г. Доценко // Уголь Украины. – 2009. – № 8. – С. 15-17.
6. Доценко, О. Г. Механические характеристики пород кровли / Г. А. Аверин, П. Н. Кирьязов, О. Г. Доценко // Уголь Украины. – 2010. – № 4. – С. 38-40.
7. Доценко, О. Г. Влияние слоистости на оседание земной поверхности / Г. А. Аверин, П. Н. Кирьязов, О. Г. Доценко // Уголь Украины. – 2010. – №10. – С 34-35.
8. Доценко, О. Г. Физическое моделирование процесса уплотнения обрушенных горных пород / О. Г. Доценко, М. С. Иванова // Сб. научн. тр. Донбасского государственного технического университета. – Алчевск: ДонГТУ, 2011. – Вып. 34. – С. 66-72.
9. Доценко, О. Г. Определение зависимости изменения модуля деформации обрушенных пород кровли во времени при различных скоростях подвигания очистного забоя / Г. А. Аверин, П. Н. Кирьязов, О. Г. Доценко // Сб. научн. тр. Донбасского государственного технического университета. – Алчевск: ДонГТУ, 2011. – Вып.35. – С. 67-70.
10. Доценко, О. Г. Определение времени стабилизации горного давле-

ния на почву отработанного пласта / Г. В. Бабиюк, О. Г. Доценко // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2013. – № 6. – С. 26-30.

11. Доценко, О. Г. Шахтные исследования структурно-механических особенностей массива обрушенных пород / Г. В. Бабиюк, О. Г. Доценко // Сб. научн. тр. Донбасского государственного технического университета.– Алчевск: ДонГТУ, 2019. – Вып.57. – С. 12-18.

### *Доклады на научных конференциях и другие научные публикации*

12. Доценко, О. Г. Анализ затрат на проведение и поддержание прилегающих к лаве выработок / О. Г. Доценко // «Трансфер технологій: від ідеї до прибутку»: І міжнародна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених. – Днепропетровск : НГУ, 2010. – С. 25–27.

13. Доценко, О. Г. Определение деформационных свойств обрушенных пород для исследования напряженно-деформированного состояния массива методом конечных элементов/ О. Г. Доценко // «Проблемы недропользования»: международный форум-конкурс молодых ученых. – СПб.: Санкт-Петербургский горный университет, 2011. – С.81-83.

14. Доценко, О. Г. Закономерности изменения во времени деформационных свойств обрушенных пород / О. Г. Доценко // «Проблемы недропользования»: международный форму-конкурс молодых ученых. – СПб.: Санкт-Петербургский горный университет, 2012. – С.127–129.

15. Доценко, О. Г. Моделирование процесса уплотнения обрушенных пород во времени / Г. В. Бабиюк, О. Г. Доценко, М. С. Иванова // «Форум гірників»: матеріали міжнар. конф. 3-6 жовтня. – Днепропетровск: НГУ, 2012. – Т.С. 206-214.

16. Dotcenko, O. Pressure variation of caved rocks in mined-out area of face / O. Dotcenko // «School of Underground Mining»: data of 7s international conference. – Dnepropetrovsk, 2013. – Pg. 217-221.

### *Патенты*

17. Пат. №43668 Україна, МПК E21C41/00 (2009) Спосіб охорони гірничої виробки при розробці пластів корисних копалин/ Г.О. Аверін, О. Г. Доценко, С. В. Антюхов, П. М. Кір'язев; заявник і патентовласник Донбаський ДТУ. — №u200903189; заявл. 03.04.2009; опубл. 25.08.2009, Бюл.№16/2009.

18. Пат. №60791 Україна, МПК E21C41/16 (2006.01) Спосіб розробки пологих пластів довгими лавами / Г. В. Бабиюк, О. Г. Доценко, Г. О. Аверін, С. С. Бражинський; заявник і патентовласник Донбаський ДТУ. – №u201015400; заявл. 20.12.2010; опубл. 25.06.2011, Бюл.№12/2011.

## АННОТАЦИЯ

**Доценко О. Г. Обоснование параметров размещения и поддержания выработок, проводимых в обрушенных и уплотняющихся породах.** – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.22 «Геотехнология (подземная, открытая и строительная)» – ГОУ ВПО ЛНР «Донбасский государственный технический университет». – Алчевск, 2020.

В диссертационной работе изложены результаты исследований по обоснованию параметров размещения и поддержания выработок в обрушенных и уплотняющихся породах.

Уточнены текстурные и структурные особенности свода обрушенных пород. В зависимости от кусковатости обрушенных пород установлены их прочностные свойства.

Предложена методика расчета модуля деформации обрушенных пород, комплексно учитывающая изменяющееся во времени давление на почву извлеченного пласта, исходную пустотность, влажность и литологический состав обрушенного массива.

Предложена степенная зависимость длительности периода активных сдвижений массива от интегрального коэффициента, учитывающего глубину разработки и среднюю крепость формирующих свод обрушения пород, и параметра, учитывающего горнотехнические факторы работы лавы.

Предложена логистическая модель, описывающая изменение давления обрушенных пород на почву извлеченного пласта.

Обоснованы параметры размещения и поддержания выработок в обрушенных и уплотняющихся породах.

Результаты исследования изложены в 16 научных статьях.

**Ключевые слова:** горная выработка, выработанное пространство, обрушенный массив, уплотняющиеся обрушенные породы, прочностные свойства, активный период сдвижений подработанного массива, стабилизация горного давления в выработанном пространстве, компрессионные испытания, модуль деформации, пустотность, напряженно-деформированное состояние массива, численное моделирование, смещение в кровле выработки, размещение и поддержание выработки.

## SUMMARY

**Dotcenko O. G. The rationale for the parameters of the placement and maintainable for holes that build in caved and compacted rocks.** – Manuscript.

Thesis for the degree of candidate of technical sciences, specialty 25.00.22 – Geotechnology (underground mining, open mining and building) – SEI HPE LPR "Donbass State Technical University". – Alchevsk, 2020.

The dissertation paper presents the studied results of the rationale for the parameters of the placement and maintainable for holes in caved and compacted rocks.

Texture and structure characteristics of broken rocks dome are established. Strength characteristics of broken rocks, what are depend from their grain size distribution, are determined.

A method for calculating the deformation modulus of broken rocks is proposed. It complexly account time-varying pressure in mining-out area, the initial voidness, humidity and litological composition of caved massive.

The empirical dependence of duration active period of rocks subsidence from mining depth, average strength of rocks and the volume of coal extracted per month is obtained. This study was based on the analysis data for earth's surface subsidence observations.

A logistic model describing the caved rock's pressure on ground of layer has been extracted change is proposed.

Parameters of the placement and maintainable for holes in rocks have been broken and are compacting are rationale.

The results of the study are presented in 16 scientific articles.

**Keywords:** mining hole, mining-out area, have been caved rocks and are compacting, strength characteristics, active period of rock subsidence, pressure stabilization period in mining-out area, compression tests, deformation modulus, emptiness, stress-strain state of the array, numerical simulation, displacement in the hole's roof, hole's maintainable.