

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



*На правах рукописи*

**Сиидов Владимир Николаевич**

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ВЫРАБОТОК, СООРУЖАЕМЫХ В  
ВЫРАБОТАННОМ ПРОСТРАНСТВЕ ГЛУБОКИХ ШАХТ**

Специальность 25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая и строительная)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Донецк – 2018

Работа выполнена в ГОУ ВПО ЛНР "Донбасский государственный технический университет", г. Алчевск.

Научный

**Борzych Анатолий Филиппович**

руководитель: доктор технических наук, профессор, профессор кафедры разработки месторождений полезных ископаемых ГОУ ВПО ЛНР "Донбасский государственный технический университет" (г. Алчевск)

**Леонов Андрей Алексеевич**

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых ГОУ ВПО ЛНР "Донбасский государственный технический университет" (г. Алчевск)

Официальные **Антипов Игорь Владиславович**

оппоненты: доктор технических наук, профессор, заведующий отделом управления геомеханическими и технологическими процессами Республиканского академического научно-исследовательского и проектно-конструкторского института горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела (РАНИМИ) (г. Донецк)

**Шестопапов Иван Николаевич**

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых ГОУВПО "Донецкий национальный технический университет" (г. Донецк)

Ведущая организация: Государственное учреждение "Институт физики горных процессов" (г. Донецк)

Защита состоится 15 марта 2018 года в 12:00 часов на заседании диссертационного совета Д 01.008.01 при ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет» по адресу: 283001, г. Донецк, ул. Артема, 58, I учебный корпус, к. 203. Тел. факс: 380 (62) 304-30-55, e-mail: [uchensoveto@donntu.org](mailto:uchensoveto@donntu.org)

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

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

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 01.008.01  
доктор технических наук, доцент



И.А. Бершадский

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В настоящее время наметилась тенденция роста нагрузки на комплексно-механизированные забои при сокращении количества угольных шахт Восточного Донбасса за счет увеличения длины выемочного столба и скорости подвигания лавы. При этом приоритетным остается решение вопроса, связанного с локализацией влияния усиливающихся проявлений горного давления на устойчивость выработок глубокого заложения. С учетом этого возникает необходимость развития исследований в направлении обеспечения длительного поддержания подготавливаемых выработок, подверженных непосредственному влиянию очистных работ. Как показывает практика разработки угольных пластов, одним из самых надежных способов сохранения устойчивости этих выработок является сооружение и поддержание их в зонах разгрузки, в том числе и в выработанном пространстве.

Диссертация выполнена в соответствии с тематическим планом научно-исследовательских работ ДонГТУ в рамках выполнения госбюджетной темы № 159-ГБ "Установление прочностных свойств уплотненных пород подработанного угленосного массива и их влияние на устойчивость проводимых в нем выработок" (№ госрегистрации 0107U001478), кафедральной научно-исследовательской работы "Установление компрессионно-прочностных характеристик разрушенных и уплотненных пород в выработанном пространстве при отработке пологонаклонных угольных пластов глубоких шахт".

**Степень разработанности темы исследований.** Значительный вклад в теоретические и экспериментальные исследования по обеспечению устойчивости выработок, сооружаемых в обрушенных и уплотненных породах выработанного пространства, изучение процессов сдвижения, деформации и разрушения обнажаемой кровли, а также разработку основ механики дискретных породных сред внесли: Зборщик М. П., Назимко В. В., Грядущий Б. А., Баклашов И. В., Глушко В. Т., Черняев В. И., Ставрогин А. Н., Протосеня А. Г., Борзых А. Ф., Кандауров И. И., Свержевский В. Л., Субботин В. П., Ильяшов М. А., Кузнецов Г. Н., Комиссаров С. Н., Морин С. В., Фармер Я. и др. Однако натуральных исследований особенностей проявлений горного давления в выработках, сооружаемых в выработанном пространстве и взаимодействия их опорных элементов с уплотняющимися кусковато-блочными породами, проведено недостаточно. К тому же, несмотря на многообразие существующих способов безремонтного поддержания выработок, в нормативных документах по охране выработок в обрушенных и уплотненных породах рассмотрена только одна технологическая схема. Отсутствие надежной теоретической и экспериментальной основы по рассматриваемому вопросу вызывает необходимость компенсировать ее достоверными результатами натуральных исследований. В связи с этим развитие исследований на базе инструментальных шахтных наблюдений по обеспечению устойчивости выработок, сооружаемых в обрушенных и уплотненных породах выработанного пространства, является актуальным научно-техническим вопросом, решение которого позволит повысить эффективность и безопасность продолжительного содержания этих выработок в удовлетворительном эксплуатационном состоянии.

Таким образом, установление особенностей влияния проявлений горного давления и управления им для обеспечения устойчивости выработок, сооружаемых в

обрушенных и уплотненных породах выработанного пространства глубоких шахт, является актуальной задачей, имеющей важное практическое значение.

**Целью работы** является обоснование способа обеспечения длительной устойчивости выработок, сооружаемых в обрушенных и уплотненных породах и его параметров при отработке пластов антрацита на больших глубинах с учетом особенностей породной среды.

**Идея работы** заключается в использовании эффекта самоторможения уплотняемых кусковато-блочных несслеживаемых породных отдельностей обрушенного массива слоистой кровли в выработанном пространстве для обеспечения устойчивости сооружаемых в нем выработок.

Для достижения цели поставлены и решены следующие **задачи**:

- установить механизм и параметры обрушения пород слоистого массива кровли;
- определить основные параметрические характеристики естественно разрушенных и уплотненных пород;
- исследовать напряженно-деформированное состояние уплотненной в выработанном пространстве дискретной породной среды вокруг выработок численными методами;
- провести шахтные наблюдения за состоянием выработок, сооруженных в уплотненных кусковато-блочных породах выработанного пространства;
- установить особенности и закономерности смещений пород в выработках, проведенных по обрушенным и уплотненным породам выработанного пространства;
- разработать способ охраны выработок, сооружаемых в выработанном пространстве, провести шахтные испытания и установить область его рационального применения.

**Объект исследований** – процесс смещения уплотненных в выработанном пространстве кусковато-блочных отдельностей несслеживаемых пород при их обнажении выработками.

**Предмет исследований** – проявления горного давления в сооружаемых в выработанном пространстве подготавливающих выработках в условиях глубоких антрацитовых шахт.

**Научная новизна полученных результатов заключается в том, что впервые:**

- лабораторными исследованиями в процессе уплотнения несслеживаемых пород различной кусковатости установлены величины коэффициента бокового распора аргиллита, алевролита и песчаника соответственно 0,47, 0,43 и 0,29, которые используются при численном моделировании для отражения более близкого к реальному напряженно-деформированному состоянию массива уплотненных пород в выработанном пространстве;
- получена эмпирическая зависимость между коэффициентами разрыхления и крепости разрушенных пород выработанного пространства в виде убывающей экспоненты;
- установлены зависимости между величинами скорости обнажения массива кровли лавой, мощностью пласта, глубиной разработки и продолжительностью сдвижения подрабатываемого массива в условиях глубоких антрацитовых шахт, ис-

пользуемая для прогнозирования периода воздействия горного давления на устойчивость выработки;

– установлено, что оставление компенсационных полостей между крепью и блочно-зависающим слоем кровли способствует снижению потерь сечения выработки при незначительном увеличении боковых смещений ее контура на уровне мелко-дробленного слоя пород у почвы отработанного пласта толщиной (0,8...1,2) мощности вынимаемого пласта.

**Теоретическая и практическая значимость работы** заключается в обосновании параметров расположения сооружаемых подготавливающих выработок в обрушенных и уплотненных породах выработанного пространства за счет использования эффекта самоторможения кусковато-блочного массива, позволяющего обеспечить их длительную устойчивость в течение всего срока службы.

**Методы исследований.** Основу выполненной работы составляет комплексный метод: анализ и обобщение современных технических источников, шахтные инструментальные наблюдения, фотопланиметрию, численное моделирование методом конечных элементов, лабораторные исследования свойств уплотненных пород, обобщение результатов экспериментов с применением корреляционного анализа, методов подбора эмпирических формул и оценки их статистических характеристик, испытания и внедрение разработанного способа.

#### **Научные положения, выносимые на защиту:**

1. В толще обрушенных и уплотненных пород с удалением в кровлю от почвы пласта увеличиваются размеры породных отдельностей, слагающих несслеживаемую кусковато-блочную среду. За счет ее остаточной пустотности и ограничения перемещений между отдельностями компенсируются разнонаправленные силовые воздействия в сторону обнажения и формируется эффект самоторможения. Установлено, что высота разрушения и обрушения слоистого массива кровли находится в экспоненциальной зависимости от коэффициента разрыхления и крепостей слагающих пород.

2. Установлена продолжительность процесса сдвижения подработанного массива для глубоких (более 800 м) антрацитовых шахт, которая прямо пропорционально зависит от глубины разработки и обратно пропорционально от мощности вынимаемого пласта и скорости подвигания очистного забоя.

#### **Реализация работы.**

1. Разработан способ охраны горных выработок в обрушенных породах выработанного пространства (Пат. 44771 Украина).

2. Разработаны рекомендации по обеспечению продолжительной устойчивости сооружаемых в выработанном пространстве подготавливающих выработок глубоких антрацитовых шахт Донбасса.

3. С использованием рекомендаций разработана технологическая схема отработки ярусов панели в восходящем порядке с проведением диагонально расположенных, учитывающих ориентацию системы природной трещиноватости, уклонов в выработанном пространстве. Это позволило увеличить длину выемочного столба в 1,8...2 раза по сравнению с типовыми схемами.

4. Результаты работы прошли шахтные испытания на шахтах им. Ф.Э. Дзержинского ГП «Ровенькиантрацит» и им. Я.М. Свердлова ГП «Свердловантрацит». Фактический эффект от внедрения разработок при проведении и эксплуатации вентиляционного уклона № 3 пройденного по выработанному пространству лавы № 3 пласта  $h_7$  шахты им. Ф.Э. Дзержинского составил 6192000 руб. (30960 руб./м) (в ценах на 2008 г).

**Обоснованность и достоверность** научных положений, полученных результатов, выводов и рекомендаций подтверждается использованием стандартизированных методов исследований, достаточным объемом натуральных наблюдений, адекватностью разработанной численной модели массива пород, удовлетворительной схожимостью результатов моделирования и натуральных исследований, апробацией и внедрением результатов в шахтных условиях, а также их экономической эффективностью.

**Апробация результатов диссертации.** Основные положения диссертационной работы доложены, обсуждены и одобрены на: научно-технических конференциях ДонГТУ (г. Алчевск, 2005 – 2013 гг.); международном форуме молодых ученых «Проблемы недропользования» (Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет), г. Санкт-Петербург, 2007 г.); международной научно-практической конференции «Проблемы горного дела и экологии горного производства» (г. Антрацит, 2007 и 2009 гг.); IV научно-практической конференции «Донбас-2020: наука і техніка виробництву» (ДонНТУ, г. Донецк, 2008 г.), региональной научно-практической конференции «Проблеми гірничої технології» (КИИ ДонНТУ, г. Красноармейск, 2012 г.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 17 научных работ в профессиональных изданиях, из них 12, в рецензируемых научных изданиях, вошедших в перечень изданий, утверждённый приказом МОН ДНР, 1 статья в журнале, включенном в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук» Российской Федерации. Получен 1 патент на полезную модель. Опубликовано без соавторов 4 научные работы.

### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**В первом разделе** рассмотрены типовые схемы обрушения кровли вокруг очистной выработки, по которым установлено, что в каждой зоне по слоям с удалением от пласта происходит переход породной среды от начальной изотропной к дискретной ее модификации с различными степенями трещинной раздробленности. При этом каждому слою разрушения пород  $i$  свойственно соответствующее увеличение их объема, которое отражается величиной коэффициента  $k_{pi}$  разрыхления.

Анализ источников по определению высоты обрушения обнажаемой лавой кровли и коэффициентов разрыхления слагающих ее пород показал, что предложенные зависимости не всегда дают возможность определения реальных величин, особенно для слоистых кровель.

В настоящее время вопрос обеспечения устойчивости выработок, сооружаемых в уплотненных породах выработанного пространства, изучен недостаточно. В основном исследования проявлений горного давления в этих выработках проводи-

лись в ограниченном объеме с глубиной до 600 м и низкой степенью катагенеза, используя аналитические решения и математическое моделирование. В связи с этим развитие исследований по рассматриваемому вопросу на базе шахтных инструментальных наблюдений позволит компенсировать отсутствие надежной экспериментальной основы и обосновать параметры обеспечения устойчивости выработок, сооружаемых в уплотненных породах.

**Во втором разделе** с помощью шахтных инструментальных наблюдений выполнялось определение высоты обрушения кровли, степени ее разрушения и определение продолжительности процесса сдвижения массива.

По результатам шахтных наблюдений в сооружаемых в выработанном пространстве выработках, продолжительно сохраняющих свое устойчивое состояние, установлено, что с удалением от почвы вынимаемого пласта увеличиваются размеры породных отдельностей обрушенной кровли. При этом устойчивой формой обнаженных уплотненных в выработанном пространстве пород является прямоугольная или близкая к ней. Данные факты послужили основанием для разработки нового методического подхода по определению величины разрушения пород, в состав которой входят зоны беспорядочного, упорядоченного и слоистого обрушения пород.

При слоевом строении кровли для установления ожидаемой высоты обрушения слагающих ее пород необходимо, прежде всего, учитывать временно образуемые межслоевые зазоры  $\Delta m$  между смежными слоями  $i$  и  $i+1$  мощностью  $h_i$  с учетом величин коэффициентов разрыхления пород  $k_{pi}$ , т.е.  $\Delta m_{i,i+1} = m - h_i \Delta k_{pi}$ , м. Расстояние от кровли до пласта, где величина межслоевого зазора в массиве равна нулю, можно считать равной высоте полного разрушения пород. Для установления эмпирической связи между коэффициентами разрыхления различных пород  $k_{pi}$  и их крепости  $f_{ni}$  использованы натурные измерения при выемке тонких пологонаклонных пластов (рисунок 1). Установлено, что приращение коэффициента разрыхления имеет экспоненциальную зависимость от коэффициента крепости (корреляционное отношение  $r = 0,93$ ):

$$\Delta k_{pi} = 0,64 \cdot \exp(-0,26f_{ni}). \quad (1)$$

Существенное влияние на устойчивость выработок расположенных в выработанном пространстве оказывает продолжительность процесса сдвижения подрабатываемого угленосного массива. В настоящее время для установления продолжительности сдвижения подрабатываемого массива ( $T_{cd}$ ) рекомендуется использовать действующие отраслевые «Правила подработки зданий, сооружений и природных объектов при добыче угля подземным способом», которые учитывают два параметра: глубину разработки ( $H$ ) и скорость подвигания одиночного очистного забоя ( $V$ ). При этом определение  $T_{cd}$  и ограничено предельной глубиной разработки до 1000 м.

Для прогнозирования продолжительности процесса сдвижения массива при отработке глубокими шахтами Восточного региона Донбасса использованы результаты многолетних инструментальных наблюдений за оседаниями земной поверхности

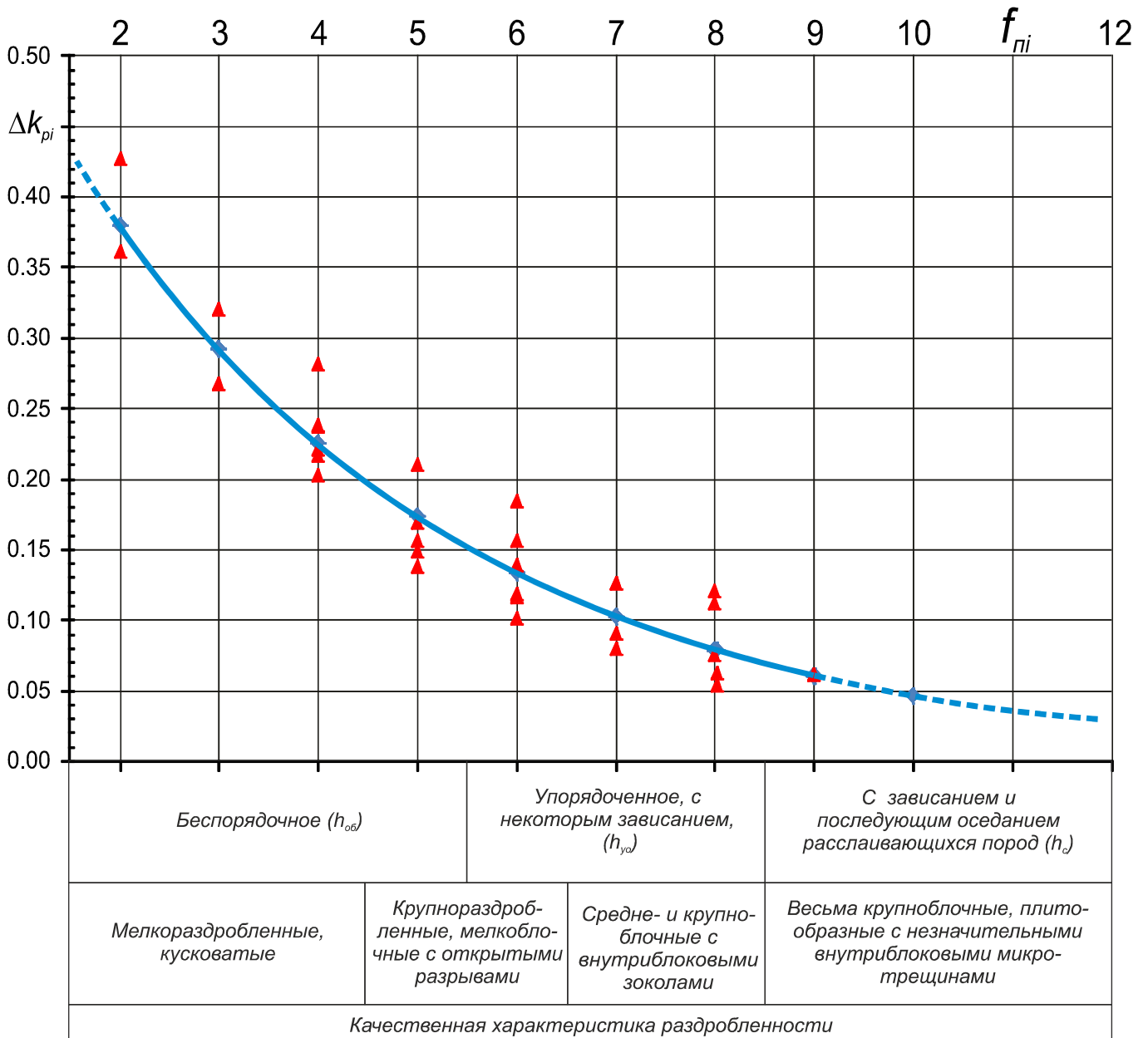


Рисунок 1. Графическая интерпретация эмпирической связи коэффициентов  $\Delta k_{pi}$  и  $f_{pi}$  с указанием признаков качественных характеристик раздробленности разрушенных естественным путем пород

и смещениями породных контуров в подготовительных выработках, подверженных влиянию очистных работ. Наблюдения проведены при отработке 5 пластов 20 лавами в семи шахтах ГП «Свердловантрацит» и «Ровенькиантрацит».

В результате получена эмпирическая зависимость для расчета прогнозируемой величины продолжительности процесса сдвижения массива высокой степени катагенеза ( $r = 0,73$ ):

$$T_{сдп} = 0,015 \cdot H / (m^{0,11} \cdot V^{0,06}), \text{ мес.} \quad (2)$$

Вычисление продолжительности процесса сдвижения по отраслевой методике



дает завышенные результаты на 69...183% по сравнению с фактическим временем сдвижения. Расхождение же фактических и рассчитанных по формуле (2) значений составляет  $\pm 27\%$ . Это позволяет использовать полученную зависимость для прогнозирования продолжительности процесса сдвижения подрабатываемого угленосного массива в аналогичных условиях с достаточной для практических целей точностью.

В третьем разделе выполнены лабораторные испытания компрессионных свойств разрушенных углевмещающих пород с целью установления влияния размера кусков раздробленной горной породы на процесс ее уплотнения с учетом их слоистой структуры в зоне обрушения.

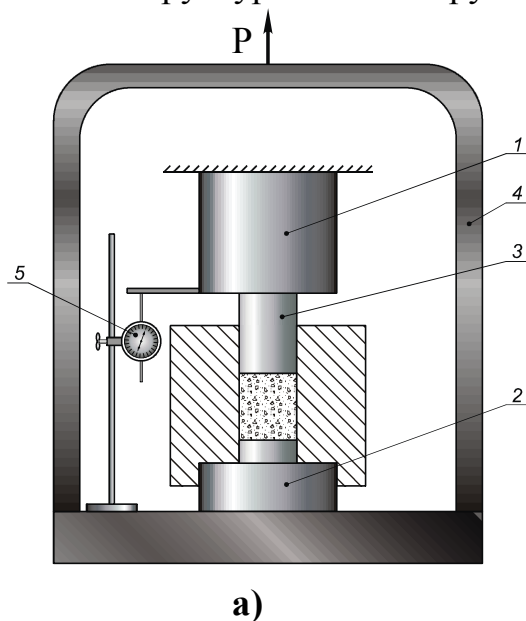


Схема экспериментального стенда для изучения процесса уплотнения раздробленных пород с различным значением насыпной плотности  $\gamma_n$  и заданной крупностью представлена на рисунке 2. Экспериментальная модель располагалась между верхней неподвижной 1 и нижней подвижной 2 траверсами универсальной испытательной машины УИМ-50м, при этом

Рисунок 2. Схема экспериментальной установки (а) и ее общий вид (б)

верхний поршень 3 экспериментальной модели упирается на траверсу 1. Через штоки 4 на нижнюю траверсу 2 передается усилие  $P$ , создаваемое гидроцилиндрами универсальной машины. Усадка навески пород  $\Delta h$  фиксируется при помощи индикатора 5.

Эксперимент проведен для наиболее характерных в антрацитовых шахтах Украинского Донбасса пород: аргиллит, алевролит, песчаник. Испытывались навески пород объемом  $100 \text{ см}^3$  крупностью фракций 1...2,5; 2,5...5; >5 мм. Размер между указанными интервалами фракций породы отличались в 2 раза, что пропорционально реальным размерам отдельностей обрушенных пород с удалением их от пласта. В качестве примера на рисунке 3 приведены результаты эксперимента для песчаника. Эксперименты показали, что на процесс уплотнения разрушенных пород, вмещающих пласты антрацита, практически не влияет размер их фракций. Для всех серий эксперимента разброс плотности породы в определенный момент времени не превышал 8%.

Для определения коэффициента бокового распора  $\mu$  и модуля деформации  $E$  экспериментальная модель состояла из тонкостенной металлической трубы, в которую засыпалась исследуемая навеска породы. Для регистрации бокового давления на трубу наклеивался тензометрический датчик. Модель нагружалась машиной

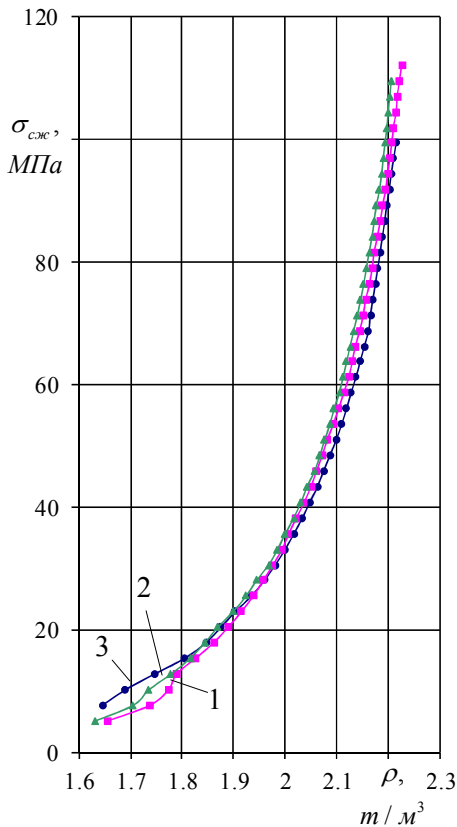


Рисунок 3. Графики зависимости по результатам эксперимента для песчаника крупностью: 1 – 1...2,5; 2 – 2,5...5; 3 – >5 мм

род в 1,6...1,8 раза больше, чем в массиве. Величина модуля деформации кусковато-блочных уплотненных пород для аргиллита, алевролита и песчаника в среднем составила соответственно 6500; 9500 и 22200 МПа, что в 3,4; 2,4 и 1,5 раза меньше, чем модуль деформации этих пород в массиве. Полученные усредненные величины коэффициента бокового распора и модуля деформации рекомендуется использовать при математическом моделировании напряженно-деформированного состояния обрушенных и уплотненных пород в выработанном пространстве с учетом конкретных условий.

**В четвертом разделе** проводилось моделирование напряженно-деформированного состояния (НДС) уплотненных пород вокруг расположенной в них выработки с целью проверки возможности использования полученных в предыдущем разделе компрессионных свойств разрушенных пород для прогнозирования проявлений горного давления. Исследования проводились с использованием программного комплекса «Лира» для условий ш. им. Ф.Э. Дзержинского. Результаты моделирования сравнивались с шахтными инструментальными наблюдениями.

Первоначально проводилось исследование НДС пород вокруг вентиляционного уклона №3 пл.  $h_7$ . Для назначения характеристик деформационно-механических свойств неразрушенного массива использовались отчеты геологоразведки, а для разрушенных пород – данные лабораторных исследований.

Результаты расчета выводились в виде табличных значений координатных напряжений каждого конечного элемента и перемещений узлов, а для анализа ре-

УИМ-50м по аналогичной схеме, приведенной на рисунке 2. Коэффициент бокового распора определялся по формуле:

$$\mu = \sigma_{\sigma} / \sigma_{сжс}, \quad (3)$$

где  $\sigma_{\sigma}$  – давление в трубе, МПа;

$\sigma_{сжс}$  – напряжение сжатия в навеске, МПа.

Модуль деформации определялся следующим образом:

$$E = \frac{\sigma_{сжс}}{\varepsilon_1} \left[ 1 - \frac{2 \cdot \mu^2}{1 - \mu} \right], \quad (4)$$

где  $\varepsilon_1$  – деформации навески породы.

На основании проведенных лабораторных испытаний установлено, что коэффициент бокового распора зависит от типа породы, а размер породных отдельностей не оказывает существенного влияния на его значение.

При проведении исследований определены коэффициенты бокового распора уплотненного аргиллита, алевролита и песчаника, которые составили соответственно 0,47, 0,43 и 0,29 (при средней величине коэффициента уплотнения 0,99...0,97). Коэффициенты бокового распора уплотненных по-

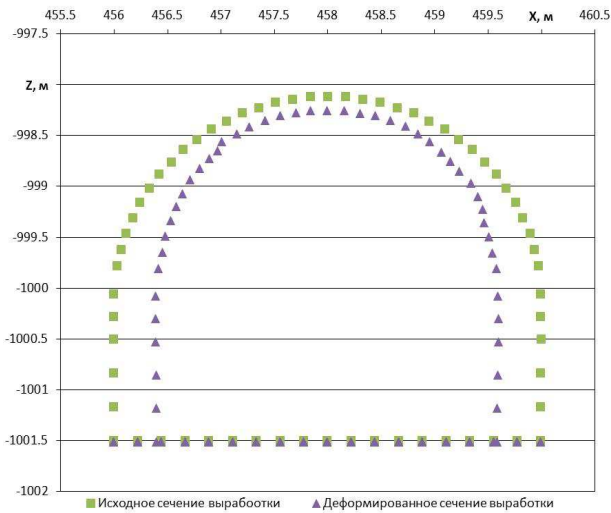


Рисунок 4. Изменения обнаженного выработкой породного контура после ее сооружения ( $X$  и  $Z$  – координаты узлов выработки в модели)

ными породами на уровне мелкодробленого слоя горизонтальные смещения составили 0,25...0,35 м, что привело частичному разрыву элементов замковых соединений.

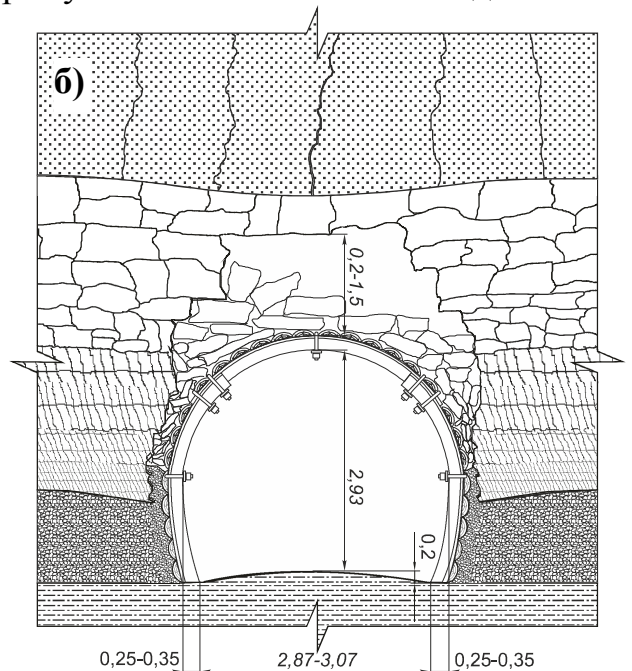


Рисунок 6. Состояние уклона № 3 шахты им. Ф. Э. Дзержинского ГП «Ровенькиантрацит», сооруженного в выработанном пространстве лавы № 1 через 1,75 года: **а** – фотофрагмент общего вида; **б** – схематическая зарисовка уклона в поперечном сечении (размеры в метрах)

При формировании выработки в выработанном пространстве возможно попадание ее в зоны повышенного горного давления (ПГД) от оставленных целиков и краевых частей. С целью определения влияния зон ПГД на них и определения НДС массива проведено моделирование МКЭ на примере уклона № 3. Вентиляционный уклон пройден по целику шириной 43 м, который был оставлен для охраны отка-

зультаты представлялись графически с помощью встроенной в программный комплекс «Ли́ра» в виде изополей различных параметров. В качестве примера на рисунке 4 представлен профиль смещения обнаженного моделируемой выработкой породного контура, из которого видно, что преобладающие боковые смещения контура при удалении от почвы выработки постепенно снижаются.

Результаты моделирования согласуются с натурными измерениями смещений в вентиляционном уклоне №3 (рисунок 5). Максимальные боковые смещения составили по натурным измерениям 350 мм, по моделированию – 387 мм, В этой выработке на участках где был контакт крепи с обрушенными породами на уровне мелкодробленого слоя горизонтальные смещения составили 0,25...0,35 м, что привело частичному разрыву элементов замковых соединений.

точного штрека лавы № 1. Также он попадает в зону ПГД от оставленного на ранее отработанном пласте  $h_8$  целика шириной 80 м. Расчетная схема, охватывающая область моделирования, представлена на рисунке 6.

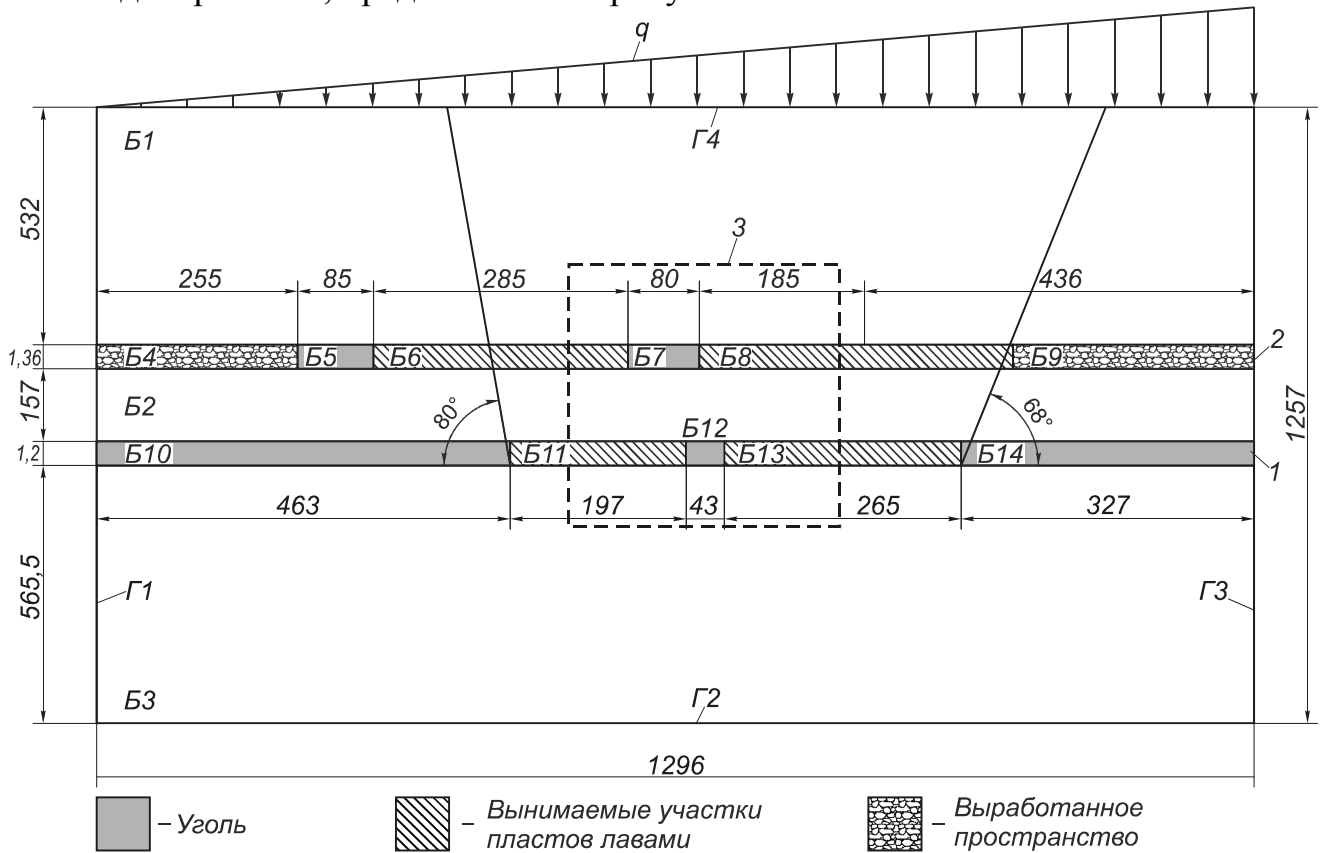


Рисунок 6. Расчетная схема моделирования: 1 и 2 – угольные пласты соответственно  $h_7$  и  $h_8$ ; 3 – границы исследуемой зоны; Б1-Б14 и Г1-Г4 – соответственно блоки и границы модели

Обработка результатов производилась путем построения изополей вертикальных напряжений, представленных на рисунке 7. Анализируя результаты моделирования влияния совмещенных зон повышенного горного давления, установлено, что концентратором сжимающих напряжений является угольный целик пласта  $h_7$  со стороны выработанного пространства лавы № 1. Повышенные вертикальные сжимающие напряжения распространяются от краевой части угольного целика в его глубь на расстояние 10 м, максимальное значение которых составляет 56 МПа, превышая геостатическое давление в 3,5 раза. В зоне выработанного пространства лавы № 1 на участке длиной 39 м также наблюдается формирование зоны повышенного горного давления от оставленного целика шириной 80 м по пласту  $h_8$ .

Полученные результаты подтверждаются продолжительными шахтными инструментальными наблюдениями. На участке уклона, расположенном в выработанном пространстве лавы № 1 длиной 43 м от целика по восстанию, наблюдались выдавливание почвы на величину 0,2-0,3 м, боковые смещения уплотненных пород, которые приводят к разрыву планок в замковых соединениях арочной крепи и выпаданию кровли на высоту 0,2-1,5 м. На оставшейся большей части уклона по длине в выработанном пространстве контурные смещения пород не зафиксированы.



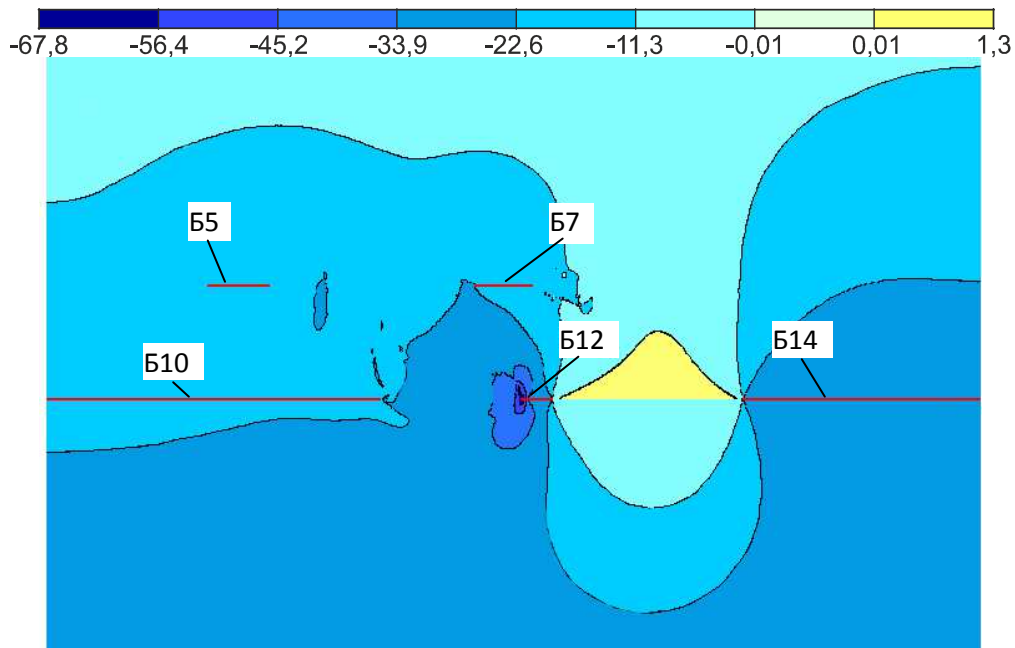


Рисунок 7. Изополя вертикальных напряжений после отработки лавы № 3 пласта  $h_7$ : Б7 – угольный целик пласта  $h_8$ ; Б12 – угольный целик пласта  $h_7$ ;

Расхождение результатов моделирования и инструментальных наблюдений на 10 % указывает на удовлетворительную их сходимость, что позволяет сделать вывод об адекватности компрессионных свойств пород и разработанной модели.

**В пятом разделе** выполнены шахтные исследования устойчивости выработок расположенных в выработанном пространстве ранее отработанных лав.

В качестве объектов исследований, включая вентиляционный уклон № 3 шахты им. Ф. Э. Дзержинского ГП «Ровенькиантрацит», приняты следующие пройденные по выработанному пространству лав выработки: вентиляционный уклон № 67-зап шахты «Красный партизан» ГП «Свердловантрацит» – №№ 65-зап и 67-зап; западный транспортный ходок и бремсберг № 5 шахты им. Я. М. Свердлова ГП «Свердловантрацит» – № 77-зап; уклон № 6 шахты им. Космонавтов ГП «Ровенькиантрацит» – № 620-зап.

Натурные исследования изменений конфигураций контуров выработок во времени проводились с помощью рулетки "Азимут" конструкции ВНИМИ, фотопланиметрии для фиксации размеров выработки, стойки СУИ-П со стрелочным индикатором, горного компаса и фотодальномера "Блик".

Анализ состояния подготавливаемых выработок, сооружаемых в уплотненных породах выработанного пространства глубоких антрацитовых шахт, позволил выявить следующие особенности: слоистый массив при обрушении сохраняет свою исходную структуру с увеличением размеров породных отдельностей, создавая эффект самозаклинивания; устойчивый контур обнажаемых уплотненных пород с образованием пустотных зон в закрепном пространстве имеет форму близкую к прямоугольной; характерными проявлениями горного давления являются деформации крепи, и потеря сечения выработки при выходе из краевой части угольного массива или целика; наличие зазоров от крепи до породного контура на величину 0,3...0,5 м при проведении выработки по истечению периода сдвижений, исключают деформа-

ции крепи; при проведении выработок ранее окончания периода сдвижений и недостаточном зазоре между крепью и породным контуром, или непосредственном их контакте приводит к деформациям элементов крепи и разрыву замковых соединений.

**В шестом разделе** разработаны рекомендации по повышению устойчивости проводимых по выработанному пространству подготавливающих выработок и апробирован в шахтных условиях способ охраны выработок в разрушенных породах.

Сущность разработанного способа охраны (рисунок 8) заключается в следующем. Выработку 1 сооружают в ранее обрушенных, после выемки пласта мощностью  $m$ , нижних слоях неслеживаемых пород кровли склонной к обрушению на высоту  $h_{об}$  в уплотнённых под влиянием процесса сдвижения подработанного массива оседающего устойчивого слоя мощностью  $h_u$ , с образованием в нем техногенных трещин и породных отдельностей различных по форме, размерам и характеру упаковки в пределах высоты упорядоченного обрушения  $h_{ор}$ , мелкодробленых ( $h_m$ ), кусковатых ( $h_k$ ), средне- и крупноблочных соответственно по высотам  $h_c$  и  $h_u$ .

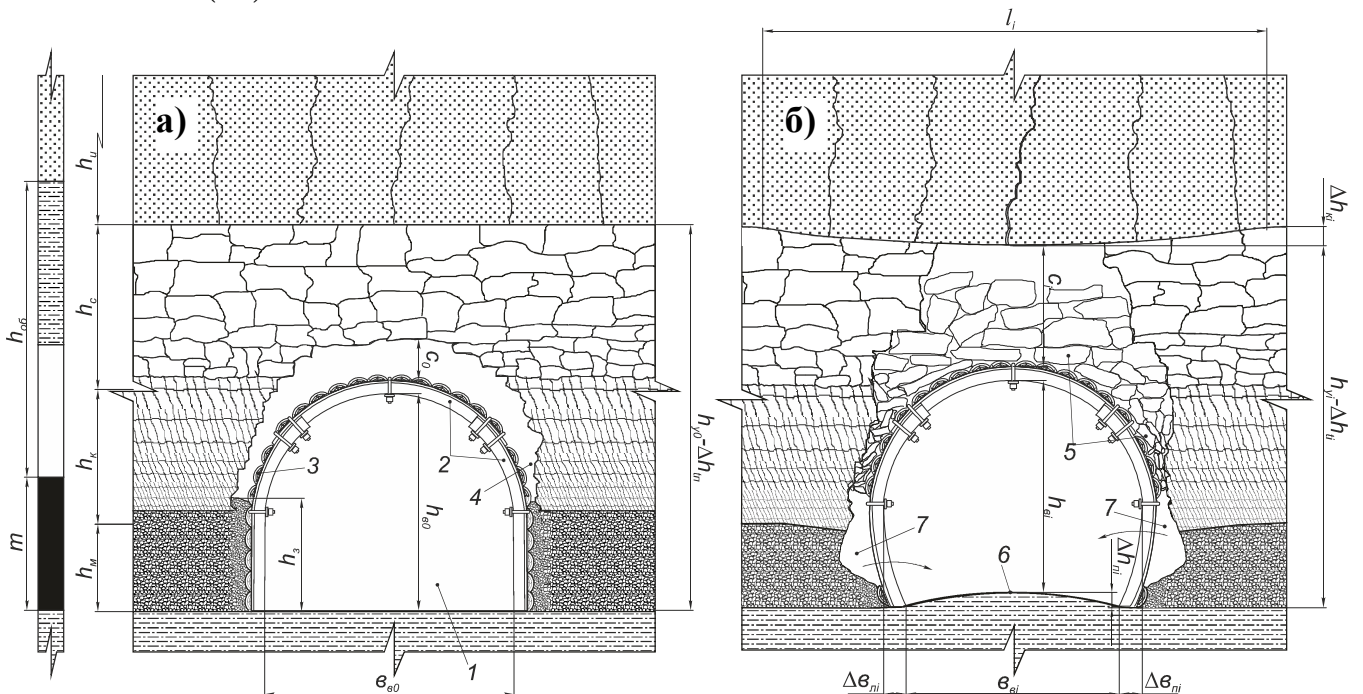


Рисунок 8. Схемы формирования ожидаемых смещений контуров выработки, пройденной в уплотненных породах выработанного пространства: **а** и **б** – соответственно исходная при проведении и конечная после затухания процесса сдвижения

При проведении выработки 1 высотой и шириной в свету соответственно  $h_{e0}$  и  $v_{e0}$  в дискретной породной среде устанавливалась металлическая арочная рамная крепь 2 с межрамным деревянным перекрытием 3. Закрепное пространство с ее сторон на высоту  $h_3$  закладывалось отбитой породой, а над верхняком между креплением и обнаженным контуром среднеблочных пород оставляют исходное пустотное пространство 4 с максимальным зазором, равным  $c_0$ .

С учетом времени проведения выработки в последующих периодах ее поддержания под влиянием затухающего процесса сдвижения налегающей толщи и пе-

реуплотнения обрушенных пород с потерей высоты этой выработки в зависимости от пролета их зависания  $l_i$  соответственно частично обрушаются на величины  $\Delta h_{in}$ ,  $\Delta h_{ii}$ , заполняя пустоты 4 над крепью вторично обрушаемой породой 5 с сохранением в пределах соответствующих зазоров  $c_0$  и  $c_i$  вплоть до трещинно-разрушенного зависающего слоя который формирует нарастающую нагрузку на крепь. При этом могут

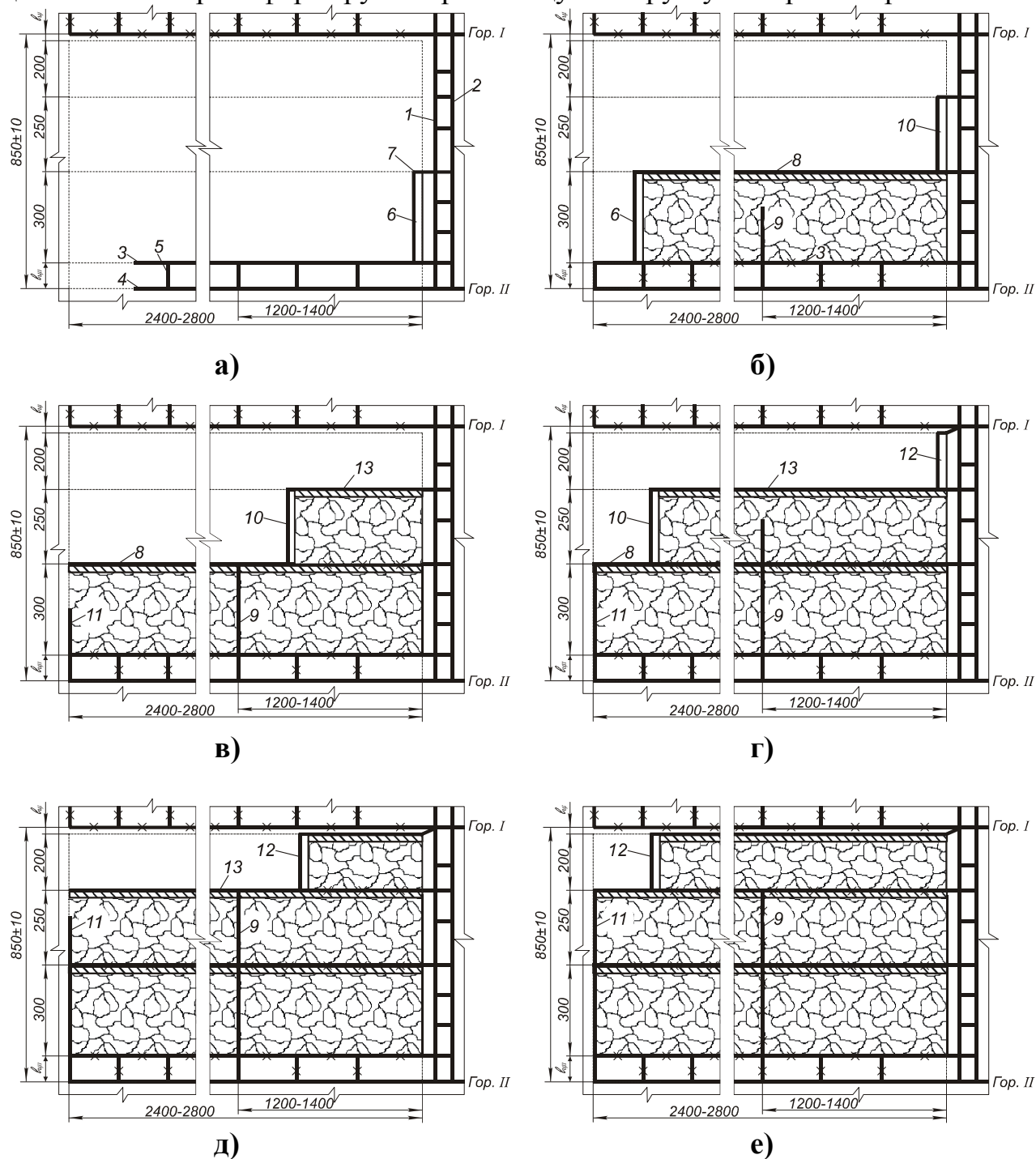


Рисунок 9. Этапы развития подготовительных и очистных работ при восходящем порядке отработки ярусов в панели на большой глубине: **а** – первоначальный при проведении основного штрека; **б** – при отработке первого столба и проведении первого промежуточного бремсберга по выработанному пространству; **в, г, д и е** – при отработке последующих столбов с проведением промежуточных бремсбергов по выработанному пространству и фланговых по длине последующих лав

проявиться боковые смещения  $\Delta e_{li}$ ,  $\Delta e_{ni}$  и выдавливание почвы  $b$  на величину  $\Delta h_{ni}$ , что сопровождается потерей высоты и ширины выработки на величины равные соответственно  $h_{ei}$ ,  $e_{ei}$ . Характер разрушения пород в законтурном пространстве выработки подтверждается исследованиями в натуральных условиях (см. рисунок 6, а).

На базе положительного опыта поддержания подготавливающих пластовых выработок с целью увеличения длины панели и лавы при обеспечении удовлетворительного состояния этих выработок рекомендуется нетиповая технологическая схема подготовки и отработки ярусов в восходящем порядке. В качестве примера на рисунке 9 представлен один из возможных ее вариантов при комбинированной системе разработки и следующих условиях: пласт угля марки А мощностью 1,1...1,5 м, угол падения до 15°, глубина разработки 800...1200 м, шахта негазовая, лавы оборудованы механизированными комплексами, подготовительные выработки арочного сечения проводятся буровзрывным способом при уборке отбитой породы породопогрузочной машиной, основной участковый транспорт – конвейерный, проветривание лав восходящее. Такая схема за счет поэтапного проведения центральных и фланговых наклонных конвейерных бремсбергов в выработанном пространстве и в полуприсечку, то есть в зонах естественной разгрузки массива от повышенного геостатического давления, а также погашения сопряженных с лавой конвейерных штреков, позволяет увеличить длину панели по сравнению с типовыми аналогами отработки ярусов в нисходящем порядке примерно вдвое.

В результате внедрения проекта поддержания вентиляционного уклона № 3 пласта  $h_7$  шахты им. Ф. Э. Дзержинского ГП «Ровенькиантрацит», проведенного по выработанному пространству лавы № 3, получен фактический экономический эффект в размере 6192000 руб. (30960 руб./м) (в ценах на 2008 г).

## ВЫВОДЫ

Диссертация является завершенной научно-исследовательской работой, в которой решена актуальная научно-техническая задача, заключающаяся в установлении особенностей и закономерностей деформирования массива, вмещающего подготавливающие выработки, проводимые (сооружаемые) в обрушенных и уплотненных породах, при отработке пластов антрацита на больших глубинах, с учетом свойств среды и продолжительности процесса сдвижений, позволяющих обосновать параметры способа охраны горных выработок, обеспечивающего их длительную устойчивость и позволяющего снизить затраты на проведение.

Основные научно-практические результаты, полученные в ходе выполнения диссертационной работы:

1. На базе проведенного анализа состояния вопроса охраны и поддержания выработок глубоких антрацитовых шахт сформированы цель, задачи и методика исследований.

2. Установлены степени разуплотнения слоистой кровли в выработанном пространстве, учитывающие коэффициент разрыхления обрушенных пород, толщину слоев, степень их дробления, размеры фракций и мощность пласта. Получена эмпирическая зависимость между коэффициентами разрыхления и крепости в виде убывающей экспоненты.



3. Установлена эмпирическая зависимость для расчета продолжительности процесса сдвижения массива при отработке тонких пологих пластов антрацита глубокими шахтами с учетом скорости подвигания очистного забоя.

4. Разработана методика прогнозирования величин остаточного коэффициента уплотнения с учетом высоты обрушения, коэффициента разрыхления пород и продолжительности процесса сдвижения.

5. Проведены лабораторные испытания образцов разрушенных пород различного петрографического состава и кусковатости, в результате которых установлено, что размеры породных отдельностей существенного влияния на их уплотнение не оказывают. Установлены коэффициенты бокового распора и модули деформации уплотненных аргиллита, алевролита и песчаника.

6. С использованием результатов натуральных измерений контурных смещений и проведенного математического моделирования напряженно-деформированного состояния установлено, что в выработках, сооруженных в уплотненных породах выработанного пространства после окончания процесса сдвижения подработанного массива преобладающими являются боковые смещения, при их проведении до окончания процесса смещений следует ожидать незначительное выдавливание почвы и потерю поперечного сечения в целом.

7. Сооруженные в выработанном пространстве выработки подвергаются влиянию зон ПГД, формируемых вокруг оставленных на вышерасположенных пластах целиков. На сопряжениях рассматриваемых выработок с краевыми частями угольного массива и целиков в зонах повышенного горного давления это приводит к значительным деформациям крепи и потере их поперечного сечения.

8. Разработаны и апробированы в шахтных условиях рекомендации по поддержанию выработок в уплотненных породах выработанного пространства, основанные на максимальном использовании эффекта самоторможения породных блоков и предусматривающей при необходимости частичный выпуск мелкодробленой породы из закрепного пространства. Это подтверждается натурными наблюдениями в условиях глубоких антрацитовых шахт.

9. Результаты исследований рассмотрены и приняты в проектом институте «Луганскгипрошахт» и внедрены при поддержании подготавливающих наклонных выработок в условиях шахт им. Ф. Э. Дзержинского ГП «Ровенькиантрацит» и им. Я. М. Свердлова ГП «Свердловантрацит».

10. В результате внедрения проекта поддержания вентиляционного уклона № 3 пласта  $h_7$  шахты им. Ф. Э. Дзержинского ГП «Ровенькиантрацит», проведенного по выработанному пространству лавы № 3, получен фактический экономический эффект в размере 6192000 руб., что составляет 30960 руб./м.

11. Получено развитие концепции влияния эффекта самоторможения блочных кусковатых несслеживаемых пород на обеспечение продолжительной устойчивости выработок в выработанном пространстве.

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

1. **Сиидов, В.Н.** Установление взаимосвязей основных прочностных и упругих параметров пород в условиях антрацитовых шахт / **В.Н. Сиидов, О.В. Князьков** // Сборник научных трудов Донбасского государственного техниче-

ского университета. – 2005. – Вып. 20. – С. 126-131.

2. Борзых, А.Ф. Увеличение длины панели при подготовке пластов к отработке на большой глубине / А.Ф. Борзых, **В.Н. Сиидов** // Уголь Украины. – 2007. – № 3. – С. 8-11.

3. Борзых, А.Ф. Продолжительность сдвижения массива в концепции обеспечения устойчивости выработок угольных шахт / А.Ф. Борзых, **В.Н. Сиидов** // Проблемы горного дела и экологии горного производства: Монография – Донецк: «Вебер», 2007. – С. 131-136.

4. Кулибаба, С.Б. Продолжительность процесса сдвижения массива / С.Б. Кулибаба, А.Ф. Борзых, **В.Н. Сиидов** // Уголь Украины. – 2008. – № 4. – С. 11-13.

5. Борзых, А.Ф. Опыт отработки панели в восходящем порядке / А.Ф. Борзых, **В.Н. Сиидов**, С.П. Офицеров // Уголь Украины. – 2008. – № 5. – С. 7-10.

6. **Сиидов, В.Н.** Особенности формирования контурных смещений в проводимой по выработанному пространству выработке / **В.Н. Сиидов** // Донбас-2020: наука і техніка виробництва: Матер. IV научн.-практ. конф. (27-28 травня 2008 р., м. Донецьк) – Донецьк, 2008. – С. 27-30.

7. **Сиидов, В.Н.** Влияние ПГД на устойчивость проводимой в выработанном пространстве выработки / **В.Н. Сиидов**, В.Н. Григоряк // Уголь Украины. – 2009. – № 7. – С. 10-12.

8. **Сиидов, В.Н.** Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния разрушенной и уплотненной породной среды в выработанном пространстве / **В.Н. Сиидов** // Проблемы горного дела и экологии горного производства: Матер. IV Межд. научн.-практ. конф. (14-15 мая 2009 г., г. Антрацит) – Донецьк: Норд-Пресс, 2009. – С. 31-40.

9. Борзых, А.Ф. Использование пошагового метода математического моделирования напряженно-деформированного состояния разрушенного в выработанном пространстве породугольного массива / А.Ф. Борзых, В.С. Пупков, **В.Н. Сиидов** // Проблеми гірського тиску. Збірник наукових праць. – 2010 – Вып. 18. – С. 57-72.

10. Борзых, А.Ф. Угловые параметры природной трещиноватости кровли относительно угольного пласта / А.Ф. Борзых, С.И. Долгопятенко, **В.Н. Сиидов** // Уголь Украины. – 2010. – № 7. – С. 3-5.

11. **Сиидов, В.Н.** Влияние кусковатости разрушенных горных пород на процесс уплотнения / **В.Н. Сиидов**, В.С. Пупков // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. – 2010. – Вып. 30. – С. 109-112.

12. **Сиидов, В.Н.** Модуль деформации и коэффициент бокового распора разрушенных горных пород / **В.Н. Сиидов**, В.С. Пупков // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. – 2011. – Вып. 34. – С. 81-88.

13. Борзых, А.Ф. Развитие концепции обеспечения устойчивости сооружаемых в выработанном пространстве выработок глубоких угольных шахт / А.Ф. Борзых, **В.Н. Сиидов** // Проблеми гірського тиску. Збірник наукових праць. – 2011 – Вып. 19. – С. 124-154.

14. **Сиидов, В.Н.** Особенности контурных изменений уплотненных пород

вокруг сооруженной в выработанном пространстве выработки / **В.Н. Сиидов** // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. – 2012. – Вып. 36. – С. 139-151.

15. **Сиидов, В.Н.** Лабораторные испытания компрессионных свойств разрушенных пород при их уплотнении / **В.Н. Сиидов** // Проблеми гірничої технології: Матер. регіон. наук.-практ. конф. (30 листопада 2012 р., м. Красноармійськ) – Донецьк: Цифрова типографія, 2012. – С. 163-170.

16. **Сиидов, В.Н.** Опыт поддержания сооружаемых в выработанном пространстве подготавливающих выработок в условиях глубоких антрацитовых шахт / **В.Н. Сиидов**, Т.С. Месропян, Е. В. Трофимов // Ж. Уголь Украины. – 2013. – №1. – С. 7-15.

17. Борзых, А.Ф. Прогнозирование высоты обрушения слоистого массива кровли в выработанном пространстве при выемке полого-наклонных угольных пластов / А.Ф. Борзых, **В.Н. Сиидов** // «Известия вузов. Горный журнал», № 1, – 2014, – С. 13-20.

18. Пат. 44771 Україна, МПК8 E21 D11/14. Спосіб охорони гірничої виробки в зруйнованих породах виробленого простору / А.П. Борзих, **В.М. Сіидов**; заявник та патентовласник Донбаський державний технічний університет. – U 2009 05191; Заявл. 25.05.09; Опубл. бюл. № 19, 12.10.09.

**Личный вклад автора в работы**, опубликованные с соавторами: [1, 3, 4] – сбор данных, статистическая обработка и установление взаимосвязей между исследуемыми параметрами; [2, 3, 5, 7, 13, 16] – участие в формулировании цели, задач, выводов; сборе материалов и их статистической обработке; непосредственном участии в лабораторных экспериментах и в шахтных измерениях; [2] – участие в разработке технологической схемы отработки пласта в восходящем порядке с проведением выработок в выработанном пространстве; [9, 13] – моделирование МКЭ напряженно-деформированного состояния пород в выработанном пространстве; [10] – принимал участие в установлении графо-аналитическим способом угловых параметров взаиморасположения пласта и естественной трещиноватости; [11, 12] – разработка установки, проведение лабораторных исследований и обработка результатов; [13, 17] – разработка и обоснование методики определения высоты обрушения слоистого массива; [16] – анализ и обобщение результатов исследований, формирование выводов; [18] – разработка способа охраны выработок в обрушенных породах.

Подписано в печать 11.01.2018 г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Бумага офс. Печать RISO. Усл. печ. л. 1,0.

Тираж 100 экз.

Издательство не несет ответственности за содержание  
материала, предоставленного автором к печати.

Издатель и изготовитель:

ГОУВПО ЛНР «Донбасский государственный технический университет»

пр. Ленина, 16, г. Алчевск, ЛНР, 94204

(ИЗДАТЕЛЬСКО-ПОЛИГРАФИЧЕСКИЙ ЦЕНТР, ауд. 2113, т/факс 2-58-59)

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя  
и распространителя средства массовой информации

МИ-СГР ИД 000055 от 05.02.2016.