

*На правах рукописи*

**СМИРНОВ Андрей Викторович**

**Геомеханическое обоснование безопасной технологии  
подземной добычи угля в неустойчивых  
вмещающих породах**

25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных пород,  
рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика

**Автореферат**

к диссертации на соискание ученой степени доктора  
технических наук

**Шахты - 2018**

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова»

**Научный консультант:**

**ЗАХАРОВ Валерий Николаевич**  
доктор технических наук, профессор,  
член - корреспондент РАН

**Официальные оппоненты:**

**КАЗАНИН Олег Иванович**  
доктор технических наук, профессор РАН,  
Санкт-Петербургский горный университет,  
заведующий кафедрой взрывного дела

**ВОЗНЕСЕНСКИЙ Александр Сергеевич**  
доктор технических наук, профессор  
кафедры физических процессов горного  
производства и геоконтроля  
Горного института (МГИ)  
Национального исследовательского  
технологического университета «МИСиС»

**ЛИННИК Юрий Николаевич**  
доктор технических наук, профессор  
кафедры экономики и управления в  
топливно-энергетическом комплексе  
Государственный университет управления

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (ПФИЦ УрО РАН).

Защита состоится "03" октября 2018 г. в 11 часов на заседании диссертационного совета Д 002.074.02 при Учреждении Российской академии наук ФГБУН Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН по адресу: 111020, Москва, Крюковский тупик, 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИПКОН РАН и на сайте [WWW.ИПКОНРАН.РФ](http://WWW.ИПКОНРАН.РФ)

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять в адрес совета.

Автореферат разослан «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
доктор технических наук

И.Ф. Жариков

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** В мировом производстве электроэнергии процентная составляющая энергоносителей по состоянию на 2016 год распределена следующим образом: уголь – 28,1 %, природный газ – 24,1 %, гидро – 6,8 %, ядерные – 4,5 %, нефть – 33,3 %, возобновляемые – 3,2 %. Подавляющее количество электроэнергии в России – 87 % – также вырабатывается на тепловых электростанциях. При этом доля угля в структуре потребления энергоносителей для ТЭС составляет 13 %. Кроме того, значительная часть его идет на переработку в кокс, выработку тепла на ТЭЦ и для нужд населения. Таким образом, каменный уголь ещё долгие годы будет чрезвычайно востребованным сырьём.

Донецкий угольный бассейн разрабатывается уже более 200 лет. Горные работы в Центральной и Восточной частях месторождения ведутся на больших глубинах в условиях высокого горного давления, больших температур и тектонической нарушенности.

Сравнительно молодым в смысле эксплуатации является его Западный участок. Здесь угольные пласты имеют небольшую мощность, редко превышающую 1 м, и неустойчивые вмещающие породы, которые существенно обводнены.

При подземной добыче полезных ископаемых к глубоким условно относятся шахты, на которых в полной мере проявляются смещения контура выработок, превышающие 0,3 м, пучение пород почвы, динамические проявления горного давления. Как показывают исследования, такой ситуации соответствует величина геомеханического показателя условий разработки, которая составляет меньше 0,67 и определяется по формуле:  $U = \frac{R_{сж}}{\gamma \cdot H}$ , где  $R_{сж}$  – предел прочности пород массива на одноосное сжатие, МПа;  $H$  – глубина разработки, м;  $\gamma$  – удельный вес горных пород, Н/м<sup>3</sup>.

Так, например, этот показатель одинаков для шахт Западного Донбасса с его неустойчивыми вмещающими породами на сравнительно небольшой глубине залегания угольных пластов, и для шахт Воркутинского бассейна, для угольных шахт Китая, для рудников Кривого Рога с его прочными породами, но глубиной разработки 2500 м, для медных шахт Польши, золотоносных рудников Индии и ЮАР.

Несмотря на мировые тенденции, направленные на всё большее использование альтернативных источников получения электроэнергии, каменный уголь ещё долгие годы будет чрезвычайно востребованным сырьём. При этом основные проблемы, связанные с его добычей, касаются внедрения технологий, обеспечивающих снижение себестоимости и повышение безопасности работающих. Эффективное решение их может быть осуществлено только с привлечением современных методов геомеханики, а отработка технологических параметров должна происходить в наиболее сложных горно-геологических условиях с тем, чтобы впо-

следствии распространить этот опыт на другие горные предприятия, активно внедряющие современную высокопроизводительную технику. К таким месторождениям относится Западный Донбасс и активно осваивающая его международная угольная компания ООО «ДТЭК ЭНЕРГО».

Международная вертикально интегрированная компания ООО «ДТЭК ЭНЕРГО» является крупной энерго-угольной структурой. По состоянию на 01.01.2017 г. в её собственности или управлении находится 32 шахты, которые расположены на территории Украины и Российского Донбасса (АО «Шахтоуправление «Обуховская» и АО «Донской антрацит»). В Западном Донбассе компания владеет пятью шахтоуправлениями объединяющих десять шахт, а также предприятия транспортной и производственной инфраструктуры.

В настоящее время угледобывающие предприятия компании в целом обеспечивают добычу около 30 миллионов тонн каменного угля: газовый и антрацит. Его добыча имеет высокую себестоимость из-за того, что около 20 % затрат приходится на проведение и поддержание в эксплуатационном состоянии капитальных и подготовительных выработок. Эти затраты связаны с ликвидацией последствий вспучивания пород почвы, высокой стоимостью металлической арочной крепи и её последующим ремонтом, причем на этих операциях задействовано около 40 % подземных рабочих.

Причины, лежащие в основе сложившейся ситуации, связаны, прежде всего, с увеличением глубины обрабатываемых угольных пластов, залегающих в неустойчивых породах, и усилением проявлений горного давления.

Таким образом, установление закономерностей проявления напряженно-деформированного состояния сложно-структурного породного массива, ослабленного развивающейся во времени и пространстве системой подземных горных выработок, их учет в геомеханических моделях, соответствующих новым горно-геологическим условиям, и последующая разработка на этой основе конструктивных решений и рекомендаций, обеспечивающих экономичную и безопасную работу горного предприятия, является актуальной научно-технической проблемой, имеющей важное народно-хозяйственное значение для горнодобывающей промышленности в целом.

Диссертационная работа выполнялась в соответствии с научным направлением Шахтинского института (филиала) ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова «Ресурсосберегающие, экологически чистые и безопасные технологии поиска, разведки и добычи полезных ископаемых» и госбюджетной темой П 3-889 «Технология и комплексная механизация процессов горного производства», выполняемой на кафедре «Технология и комплексы горных, строительных и металлургических производств» ЮРГПУ (НПИ), а также в продолжение выполнявшихся тем в рамках плана научно-исследовательских работ, реализованных компанией ООО «ДТЭК ЭНЕРГО», включающего следующие темы: ГП-410

«Геотехническое обоснование подземной технологии интенсивной добычи угля с учетом особенностей геологической среды» (№ ДР 0108U000541), «Разработка типовых материалов для проектирования монтажных и демонтажных камер струговых лав и монтажа-демонтажа оборудования в них» (№ 041014), «Оказание научно-технической помощи в проведении геомеханического мониторинга состояния подготовительных выработок струговой лавы с целью обоснования параметров камеры для демонтажа комплекса в горно-геологических условиях шахты «Степная» ПАО «Павлоградуголь» (№ 041013), «Оказание научно-технической помощи в комплексном анализе и обосновании приоритетных направлений исследований по повышению устойчивости капитальных и подготовительных выработок шахт ПАО «Павлоградуголь» (№ 050382), «Разработка технологии возведения крепи с заполнением закрепного пространства твердеющими составами и их рецептур для условий шахт Западного Донбасса» (№ 050389), «Установление закономерностей деформирования парных выработок в процессе отработки лавы с целью разработки способов повышения их устойчивости» (№ 041016).

**Целью работы** является геомеханическое обоснование безопасной технологии подземной добычи угля на основе закономерностей деформирования сложно-структурного породного массива в окрестности капитальных и подготовительных выработок.

**Идея работы** состоит в управляемом воздействии на деформационные процессы, протекающие в окрестности капитальных и подготовительных выработок, пройденных в неустойчивых вмещающих породах, путем изменения механических свойств приконтурного породного массива инсталляцией искусственных структурных элементов и укрепляющих растворов, что позволяет повысить устойчивость сложно-структурного породного массива.

Для достижения поставленной цели в диссертации сформулированы следующие **основные задачи исследований**:

1. Выполнить анализ состояния протекания выработок угольных шахт Западного Донбасса, отработывающих пласты в сложных горно-геологических условиях, которые определены в качестве основных объектов исследований;
2. Выполнить комплекс экспериментальных геомеханических измерений в капитальных и подготовительных выработках действующих шахт;
3. Поставить и решить упругопластическую численную задачу об устойчивости геомеханической системы «лава-парные выработки» применительно к сложным горно-геологическим условиям угольных шахт;
4. Обосновать применительно к неустойчивым породам глубоких шахт геомеханическую модель развития деформационных процессов в окрестности одиночной капитальной выработки;

5. Поставить и решить упругопластическую численную задачу об устойчивости протяжённых капитальных выработок, расположенных в неустойчивых породах вне зоны влияния очистных работ;

6. Обосновать конструктивные и технологические параметры комбинированной крепи капитальных выработок типа АСН+А (арка-сетка-набрызг+анкер);

7. Разработать и внедрить нормативные документы по проектированию комбинированной крепи капитальных горных выработок, что позволит обеспечить широкое внедрение анкерной и рамно-анкерной крепи на шахтах;

8. Усовершенствовать комбинированную крепь демонтажных камер при струговой отработке маломощных угольных пластов.

### **Научная новизна работы.**

Основная часть результатов настоящей работы на момент публикации получена впервые и имеет приоритетный характер. В процессе исследований было установлено следующее:

- впервые получены закономерности деформирования во времени приконтурного массива слабых пород, вмещающего протяжённые выработки угольных шахт, как в зоне, так и вне зоны влияния очистных работ, что позволило на этой основе разработать новые геомеханические модели для последующего их численного анализа;

- усовершенствована численная геомеханическая модель развития деформаций в окрестности протяжённых выработок, отличающаяся от аналогов учетом особенностей изменения во времени физико-механических свойств неустойчивых пород, что позволило объяснить возникновение системы кольцевых трещин и вывалов в кровле, приводящих к формированию аномальных значений нагрузки на крепь с последующим её разрушением;

- установлено, что для условий неустойчивых вмещающих пород шахт коэффициент разрыхления пород в приконтурной области протяжённой выработки линейно зависит от числа операций по устранению области пучения пород почвы;

- численная геомеханическая модель взаимодействия комбинированной крепи типа АСН+А с приконтурным породным массивом, отличающаяся применением последовательного возведения во времени и пространстве её элементов, что позволило обосновать конструктивные и технологические параметры;

- численная геомеханическая модель «лава-парные выработки» с детальным рассмотрением особенностей формирования напряжённо-деформированного состояния анкерных болтов первого и второго уровней, позволившая обосновать параметры крепи подготовительных выработок и необходимую жёсткость крепи сопряжения.

### **Теоретическая и практическая значимость работы**

**Научное значение работы** состоит:

- в установлении закономерностей изменения величин вертикальной и горизонтальной

конвергенции горных пород бортового штрека в геомеханической системе «лава-парные выработки» в условиях неустойчивых вмещающих пород в зависимости от расстояния до лавы на момент замера независимо от вида применяемой крепи;

- в оценке соотношения между величинами вертикальной и горизонтальной конвергенции пород, а также характере этих деформационных процессов, первый из которых формируется в основном за счет пучения почвы, а второй сопровождается значительным расстрескиванием массива и вывалами породы;

- в разработке геомеханических моделей деформирования массива неустойчивых горных пород, описывающих вспучивание пород почвы, а также процесс их деструкции, которая сопровождается развитием трещин в боках и кровле выработки с образованием свода естественного равновесия.

**Практическая ценность работы** состоит:

- усовершенствована конструкция крепи демонтажных камер при струговой отработке угольных пластов путём инсталляции в породы кровли «зонтичных» элементов;

- разработаны нормативные документы, позволившие обеспечить широкое внедрение анкерной и рамно-анкерной крепи на угольных шахтах;

- разработана экономико-математическая модель, позволяющая оптимизировать затраты на сооружение и эксплуатацию протяжённой капитальной выработки с комбинированной крепью типа АСН+А;

- разработаны и обоснованы конструктивные и технологические параметры конструкции комбинированной крепи типа АНС+А, обеспечивающей возможность управления устойчивостью капитальных выработок, сооружаемых в особо тяжёлых горно-геологических условиях;

- обоснованы параметры крепи сопряжений лавы и конвейерных штреков при отработке угольных пластов струговыми комплексами с применением парных выработок.

**Методы исследования** включают системный анализ источников информации в области теории и практики обеспечения устойчивости подземных выработок, пройденных в сложных горно-геологических условиях, методику планирования и организации натурных наблюдений, комплексное применение численных упругопластических решений, основанных на методе конечных элементов и реализованных в лицензионной программной среде Phase 2 канадской компании Rockscience с применением критерия разрушения Хоека-Брауна, методов и положений теории вероятностей и математической статистики.

**Научные положения, выносимые на защиту:**

1. Независимо от вида применяемой крепи величины вертикальной и горизонтальной конвергенции бортового штрека в геомеханической системе «лава-парные выработки» в

условиях неустойчивых вмещающих пород описываются убывающими экспоненциальными функциями в зависимости от расстояния до лавы на момент замера, а их показатели определяют, что величина вертикальной конвергенции в 1,2-2 раза меньше горизонтальной, причем вертикальная конвергенция формируется в основном за счет пучения почвы, а горизонтальная сопровождается значительным растрескиванием массива и вывалами породы.

2. Учет прочностных свойств неустойчивых вмещающих пород угольного пласта в геомеханической модели системы «лава-парные выработки» применительно к маломощным угольным пластам позволяет при определенной жёсткости крепи охранной конструкции выявить в кровле присечной выработки зоны разгрузки, прочностные свойства породы в которых способны обеспечить закрепление канатных анкеров и создать двухуровневую армопородную несущую конструкцию в кровле, чем достигается требуемая устойчивость геомеханической системы «лава-парные выработки».

3. Для условий неустойчивых вмещающих пород угольных шахт предложена расчетная схема определения коэффициента разрыхления пород в приконтурной области протяженной выработки и установлено, что его величина линейно зависит от числа операций по устранению области пучения пород почвы, что позволяет вести прогноз объемов ремонтных работ.

4. Явление последовательного изменения напряжённо-деформированного состояния приконтурного массива, выявленное экспериментально и описанное геомеханической моделью, проявляется в том, что в неустойчивых вмещающих породах угольного пласта по мере перемещения забоя выработки происходит образование трех характерных зон: в первой образуется замкнутая область неупругих деформаций, во второй происходит потеря устойчивости приконтурного массива, реализуемая в виде вспучивания пород почвы, в третьей - продолжается деструкция вмещающих пород, сопровождающаяся развитием трещин в боках и кровле выработки с образованием свода естественного равновесия.

5. Сохранность капитальных выработок, пройденных в неустойчивых вмещающих угольный пласт породах, достигается за счет применения комбинированной крепи типа АСН+А, работающей с использованием несущей способности упрочнённого набрызг-бетонным покрытием приконтурного породного массива при расчётном количестве анкеров, устанавливаемых в кровле выработки, что позволяет двукратно уменьшить величину поднятия пород почвы, сократить эксплуатационные затраты не менее чем на 17 % и обеспечить безопасность ведения работ.

**Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций** подтверждается корректной постановкой задач исследований, применением апробированных методов их решения, удовлетворительным совпадением результатов натурных измерений и аналитических расчётов (расхождение не превышает 15 %), обширным внедрением полученных результатов в практику сооружения выработок.



### **Реализация результатов исследований.**

1. Рекомендации по выбору параметров технологии проведения парных выработок при струговой технологии отработки угольных пластов для условий шахт ПАО «ДТЭК Павлоградуголь».
2. Рекомендации по применению и технологическим параметрам комбинированных крепей с заполнением закрепного пространства твердеющими составами в условиях шахты «им. Героев Космоса» ПАО «ДТЭК ПАВЛОГРАДУГОЛЬ».
3. Методика численного моделирования параметров и технологии сооружения комбинированной крепи типа АСН+А (арка – сетка – набрызг-бетон + анкер).
4. Стандарт отраслевой: Инструкция по проектированию комбинированной рамно-анкерной крепи горных выработок. Общие технические требования.
5. Стандарт отраслевой: Система обеспечения надежного и безопасного функционирования горных выработок с анкерной крепью. Общие технические требования.
6. Результаты исследований используются при организации проведения учебного процесса в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова».

### **Апробация результатов работы.**

Основные положения работы были доложены на «Неделе горняка-2014» (Россия, Москва, январь 2014 г.), на техсоветах ПСП «Шахта Степная» (г. Першотравенск, ПАО «ДТЭК Павлоградуголь», Украина, 2011-2013); на техсоветах ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» (г. Павлоград, Украина, 2011-2014), на семинарах кафедры строительства, геотехники и геомеханики Государственного ВНЗ «Национальный горный университет» (г. Днепропетровск, Украина, 2011-2014); на 23-м Всемирном горном конгрессе (Монреаль, Квебек, Канада, 11-15 августа, 2013 г.); на международной конференции «Форум горняков – 2013» Геомеханика и геотехника (г. Днепропетровск, Украина, 2-5 октября); на международной конференции «Форум горняков – 2014» Геомеханика и геотехника (г. Днепропетровск, Украина, 1-4 октября); на международной конференции «Форум горняков – 2016» Геомеханика и геотехника (г. Днепропетровск, Украина, 5-8 октября); на III-й Международной научно-практической конференции «Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке» (г. Санкт-Петербург, Россия, 20-21 октября, 2016 г.); на научных семинарах Института проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук (декабрь 2017 г.) и Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова (март 2018 г.).

**Публикации.** Основные научные результаты по теме диссертации изложены в 47 печатных работах, в том числе 17 в специализированных изданиях, утвержденных ВАК РФ, 7 – в изданиях, входящих в международные наукометрические базы, 9 – в материалах конференций, 2 монографии, 2 стандарта (СОУ) и 1 патент. 11 научных работ опубликовано единолично.

**Объем и структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников из 442 наименований, изложенных на 45 страницах и шести приложений, изложенных на 12 страницах. Содержит 243 страницы машинописного текста, 179 иллюстраций и 23 таблицы. Общий объем диссертации составляет 349 страниц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

С увеличением глубины разработки месторождений полезных ископаемых увеличиваются затраты на их извлечение. При отработке угольных пластов в структуре затрат около двадцати процентов их приходится на так называемые эксплуатационные потери, связанные с обеспечением устойчивости капитальных и подготовительных выработок. При этом под термином «устойчивость» подразумевается их способность выполнять функциональное назначение. Изучением проблемы устойчивости подземных выработок занимаются научные коллективы всех горнодобывающих стран, среди которых основными являются Россия, Украина, Польша, ФРГ, Китай, Канада, США, ЮАР.

Существенный вклад в решение проблемы устойчивости подземных выработок внесли такие учёные, как И.В. Баклашов, Ф.А. Белаенко, З.Т. Бенявский, Б.И. Бокий, А.А. Борисов, Н.С. Булычёв, В.В. Виноградов, А.С. Вознесенский, В.Т. Глушко, Ю.З. Заславский, В.Н. Захаров, А.Н. Зорин, М.А. Иофис, О.И. Казанин, Б.А. Картозия, Э.В. Каспарьян, Г.А. Крупенников, А. Кук, А. Лабасс, В.В. Левит, Ю.М. Либерман, Ю.Н. Линник, Г.Г. Литвинский, Т. Майхерчик, А.П. Максимов, А.Н. Панкратенко, А.Г. Протосеня, К.В. Руппенейт, А.С. Саммаль, А.А. Скочинский, А.Н. Ставрогин, К.Н. Трубецкой, И.А. Турчанинов, Б.М. Усаченко, Р. Феннер, Е. Хоек, П.М. Цимбаревич, И.Л. Черняк, А.Н. Шашенко, Е.И. Шемякин, М.Н. Шуплик и другие.

Международная компания ООО «ДТЭК ЭНЕРГО» разрабатывают угольные пласты различной степени метаморфизма: газовые и антрациты. Их отработка происходит в условиях увеличивающихся глубин и ухудшения горно-геологических условий. При этом одной из основных проблем является низкая устойчивость протяжённых выработок из-за того, что отработка пластов, ведется в неустойчивых породах и это приводит к увеличению себестоимости добываемого угля и снижает его конкурентоспособность. Решение этой проблемы заключается в интенсификации отработки угольных пластов и увеличении темпов проведения

капитальных и подготовительных выработок при одновременном снижении эксплуатационных затрат, обеспечении безопасности работающих с учетом сложного геологического строения массива горных пород и их деформирования в процессе добычи угля. В качестве основного объекта для отработки новых методов проходки и крепления протяжённых выработок было решено выбрать наиболее сложное в геологическом отношении подразделение, каким является Публичное акционерное общество «ДТЭК Павлоградуголь».

ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» - крупнейшее угледобывающее предприятие Украины. В его состав входят пять шахтоуправлений объединяющих десять шахт, а также предприятия транспортной и производственной инфраструктуры. В последние годы добыча превысила 18 млн. тонн горной массы при суммарной проектной производственной мощности 12 млн. тонн.

Предприятия отрабатывают месторождение угля, известное как Западный Донбасс. Оно расположено на левом склоне Днепровско-Донецкой впадины, имеет по состоянию на 01.01.2018 г. промышленные запасы около 600 млн. т. Максимальная глубина пластов – 900 м, мощность до 0,96 м и залегание – горизонтальное. Вмещающие породы являются менее прочными, чем уголь. По этой причине условия разработки угольных пластов в Западном Донбассе относятся к тяжёлым, и они обладают своей спецификой в части развития деформационных процессов, а, следовательно, в проведении и поддержании в эксплуатационном состоянии капитальных и подготовительных горных выработок.

В этой связи на шахтах ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» были выполнены натурные исследования особенностей деформирования приконтурного углепородного массива в окрестности протяженных выработок шахт Западного Донбасса, а также проанализированы деформационные процессы модели протяженной выработки и формирования нагрузки на крепь. Исследования охватывали шахты региона с наиболее активными проявлениями горного давления.

Применительно к поставленным задачам было выполнено комплексное обследование протяженных выработок шахт Западного Донбасса.

На рис. 1 показан процент действующих вскрывающих и подготавливающих выработок, закрепленных металлом, не отвечающих требованиям ПБ по шахтам ПАО «Павлоградуголь».

Анализ подобных диаграмм применительно к каждой шахте показал, что основной объем ремонтных работ связан с ликвидацией последствий пучения пород почвы (12,6 % общей длины выработок и 77 % эксплуатационных затрат) и ремонтом металлических арок (5,8 % общей длины выработок и 19 % эксплуатационных затрат).

Наибольшая доля ремонтных работ приходится на шахты «Западно-Донбасская» и «им. Героев Космоса» (см. рис. 1.).

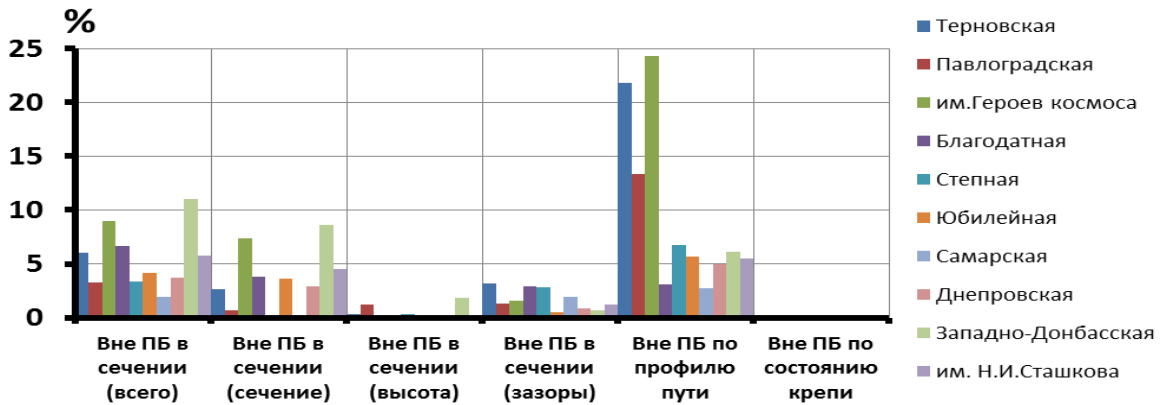


Рисунок 1 – Доля действующих вскрывающих и подготавливающих выработок, закрепленных металлом, не отвечающих требованиям ПБ по шахтам ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»

Общие эксплуатационные затраты по шахтам ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» составляют от 360 до 1038 млн. рублей в год. Их структура приведена на рис. 2.



Рисунок 2 – Структура эксплуатационных затрат по ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»

В горно-геологических условиях шахт Западного Донбасса для обеспечения устойчивости протяженных выработок различного назначения используются, в основном, металлическая арочная крепь типа КШПУ и АП, объёмы, которых на разных шахтах колеблются от 52 до 96 %. В качестве прокатного профиля чаще всего используется дорогостоящие профили СВП-33 и СВП-27. На 1 погонный метр выработок расходуется до 1,0 т металла.

При этом, примерно, 30 % общей протяженности выработок по разным причинам находится в неудовлетворительном состоянии.

Анализ тенденций применения различных видов крепи, выполненный специалистами Германии, показал, что с глубиной преобладающим видом крепи станут комбинированные системы. Они позволяют уменьшить деформации контура, что согласно исследованиям, выполненным в Национальном горном университете (г. Днепрпетровск, Украина), приводит к повышению устойчивости выработок рис. 3.

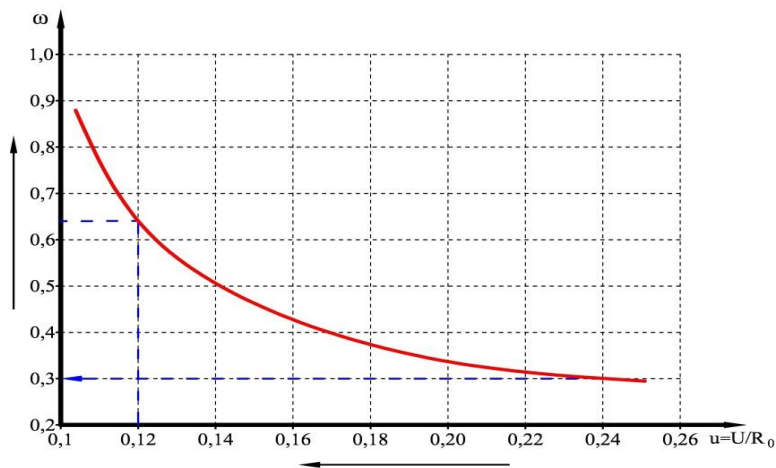


Рисунок 3 – Зависимость показателя устойчивости от относительных смещений контура выработки

Рассматривая показатель устойчивости выработки (рис. 3)

как  $\omega = \frac{\bar{L}}{L}$ , где  $L$  - общая длина

выработки;  $\bar{L}$  - суммарная длина участков выработки, не требующих

ремонта приходим к выводу о том, что этот показатель существенно

зависит от прочности вмещающих пород, а именно: чем она выше, тем меньше

ремонт требуется выполнять.

Повысить прочность вмещающего выработку породного массива можно двумя путями:

- размещением искусственных структурных элементов: анкерных болтов, канатов, стержней;
- нагнетанием цементно-песчаных или полимерных растворов типа Беведол-Беведан.

Комбинация таких элементов в сочетании с рамной поддерживающей крепью пониженной несущей способности позволяет создавать системы крепи, обеспечивающие достаточную устойчивость протяженных выработок. При этом конструкция крепи выработок, находящихся в зоне влияния лавы и вне ее, существенно отличаются.

**1. Независимо от вида применяемой крепи величины вертикальной и горизонтальной конвергенции бортового штрека в геомеханической системе «лава-парные выработки» в условиях неустойчивых вмещающих пород описываются убывающими экспоненциальными функциями в зависимости от расстояния до лавы на момент замера, а их показатели определяют, что величина вертикальной конвергенции в 1,2-2 раза меньше горизонтальной, причем вертикальная конвергенция формируется в основном за счет пучения почвы, а горизонтальная сопровождается значительным растрескиванием массива и вывалами породы.**

Применительно к подготовительным выработкам, оконтуривающим струговую лаву, был выполнен комплекс исследований, включающий аналитические расчеты и натурные измерения. Проблема подготовки выемочных столбов при скорости подвигания очистного забоя 10-20 м в сутки состоит в том, что проходческие забои имеют существенное отставание. Идея решения этой проблемы заключается в том, чтобы в комплекс существующих оконтуривающих выработок добавить еще одну – штрек, проводимый вприсечку двумя встречными забоями рис. 4.

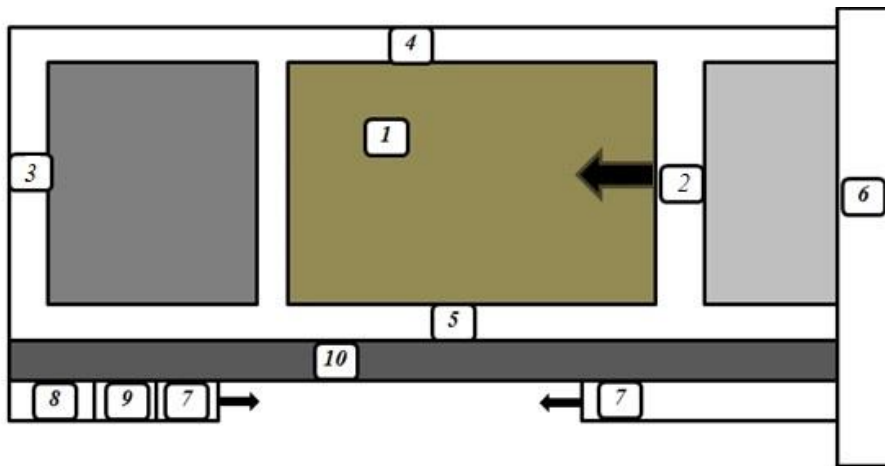
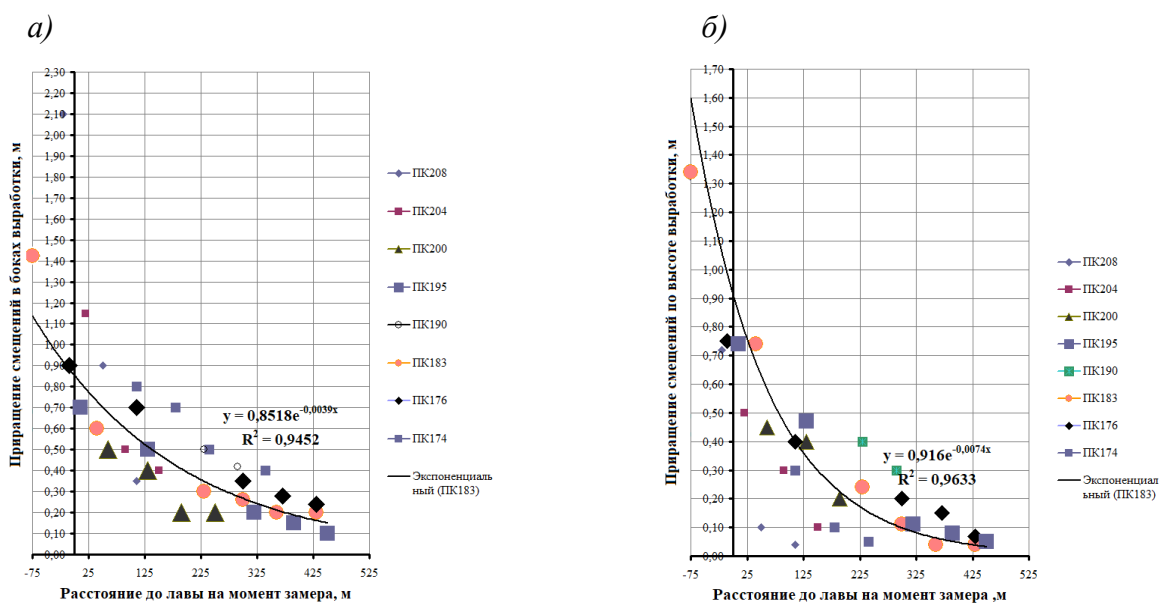


Рисунок 4 – Схема к отработке столба проведением парных выработок: 1 – выемочный столб; 2 – монтажная камера; 3 – демонтажная камера; 4 – бортовой штрек; 5 – сборный штрек; 6 – магистральная выработка; 7 – парная выработка (бортовой штрек); 8 – участок с чисто анкерной крепью; 9 – участок с рамно-анкерной крепью; 10 – предохранительный целик (4 м)

Метод проведения штреков навстречу забоя движущейся лавы в достаточной степени отработан на шахте «Степная», где проводился эксперимент по проведению парной выработки при отработке 165-167 - й струговых лав. Между выработками был оставлен предохранительный целик шириной 4 м. Проектом предусматривалось наличие участков с установкой только сталеполимерных анкеров с дополнительной установкой канатных анкеров и участков с рамно-анкерной крепью.

На рис. 5, 6 приведены графики изменения во времени вертикальной и горизонтальной конвергенции по мере приближения забоя лавы, полученные по результатам измерений на участках с разными видами крепи, а также скорость нарастания смещений.



$$\Delta U_{\text{верт}} = 0,8518 e^{-0,004L} \quad (1)$$

$$\Delta U_{\text{гориз}} = 0,916 e^{-0,007L} \quad (2)$$

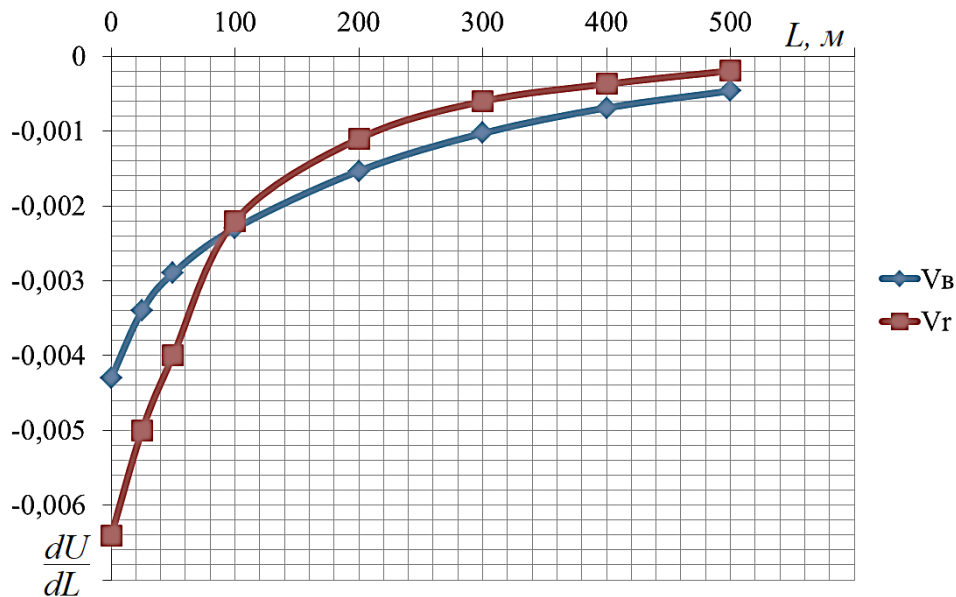


Рисунок 6 – Зависимость приращений (скорости) вертикальной и горизонтальной конвергенции горных пород в выработке в зависимости от расстояния до лавы на момент замера

$$V_{\text{верт}} = \frac{dU_v}{dL} = -0,00341 e^{-0,004L} \quad (3)$$

$$V_{\text{гориз}} = \frac{dU_r}{dL} = -0,00641 e^{-0,007L} \quad (4)$$

Из графиков, представленных на рис. 6 видно, что горизонтальная и вертикальная конвергенция растет по мере приближения лавы, причем в точках, находящихся на расстоянии до 20-25 метров от линии забоя, горизонтальные смещения превышают вертикальные, а затем выравниваются и составляет, примерно, 0,75 м. После прохода лавы уменьшение сечения по высоте достигло 1,2 м, а по ширине – 1,4 м.

Таким образом, смещения на участке, изначально поддерживаемом равно-анкерной крепью, практически совпадают с теми, что имели место на пикете ПК 183, где выработка закреплена только анкерами, и где рамная крепь была установлена непосредственно перед подходом лавы.

Из графика на рис. 6 следует, что на расстоянии, примерно, 70-100 м абсолютное значение скоростей смещения сечения выработки в горизонтальном и вертикальном направлении начинает возрастать, свидетельствуя об интенсификации процессов, протекающих в динамической системе «лава-парные выработки».

Визуальные наблюдения показали, что характер деформаций массива, примерно, одинаков на всех описанных выше участках: с полным перекрытием анкерной крепью и на участках с рамно-анкерным креплением. При подходе лавы в кровле выработки наблюдаются техногенные трещины, но массив сохраняет целостность (см. рис. 7, 8).



Рисунок 7 – ПК180 складывание анкерных подхватов «гармошкой»

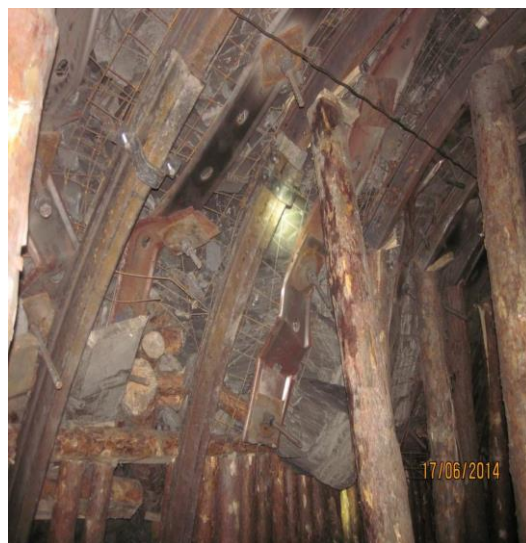


Рисунок 8 – Деформации металлических прогонов на ПК180 выдавливание разрушенных пород в боках выработки

Металлические рамы на этом этапе не деформированы. Видимые деформации имеют место в боках выработки. Наблюдается складывание анкерных подхватов «гармошкой» (рис. 8), выдавливание разрушенных пород в боках выработки и разрыв прогонов (рис. 9).

Кроме того, в результате выполнения экспериментальных работ было установлено, что характер деформаций контура выработки, примерно, одинаков как для участков, закрепленных только анкерами с последующей дополнительной установкой рам с целью безопасности выполнения работ, так и для участков, где рамно-анкерное крепление выполнялось изначально, при этом на указанных участках после прохода лавы уменьшение по ширине составляет 1,2-1,4 м, а по высоте 0,7 -1,4 м.

При этом крепление присечного штрека только анкерами с полным перекрытием для типичных условий ПСП ШУ «Першотравенское» целесообразно на участках выработки, глубина расположения которых не превышает 400-430 м, а для глубины 430-490 м это возможно при условии, что при сопряжении штрека с лавой крепление бровки осуществляется на ширину, не менее 2,0 м. И при этом для участков присечного штрека с полным перекрытием анкерной крепью, расположенных на глубине 430-490 м, возможно уменьшение ширины закрепленной бровки до величины 1,5 м при условии установки дополнительной деревянной стойки-опоры от кровли пласта до почвы выработки в месте их сопряжения.



**2. Учет прочностных свойств неустойчивых вмещающих пород угольного пласта в геомеханической модели системы «лава-парные выработки» применительно к мало-мощным угольным пластам позволяет при определенной жёсткости крепи охранной конструкции выявить в кровле присечной выработки зоны разгрузки, прочностные свойства породы в которых способны обеспечить закрепление канатных анкеров и создать двухуровневую армопородную несущую конструкцию в кровле, чем достигается требуемая устойчивость геомеханической системы «лава-парные выработки».**

Изложенные выше натурные измерения позволили разработать расчетные схемы и перейти к численному моделированию геомеханической системы «лава-парные выработки», которое было выполнено в программной среде Phase 2 канадской компании Rockscience. Последовательно в одном программном модуле моделировались четыре стадии, соответствующие порядку выполнения горных работ:

I стадия – проведение 167-го бортового штрека вне зоны влияния очистных работ;

II стадия – деформирование 167-го бортового штрека при движении забоя 165-лавы;

III стадия – прохождение в окрестности пройденных выработок волны опорного давления 165-й лавы;

IV стадия – воздействие на пройденные выработки очистного пространства от прохода 165-й лавы и волны опорного давления от 167-й лавы.

Исходные данные для расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Физико-механические свойства пород

Порода	Модуль Юнга, МПа	Коэфф. Пуассона	Прочность породного образца на сжатие, МПа	Коэффициент структурного ослабления	Прочность породного образца на сжатие с учетом коэф. структурного ослабления, МПа
Аргиллит	3193	0,3	32	0,5	16
Алевролит	2981	0,3	43	0,5	21,5
Уголь	4000	0,3	37,5	0,4	15
Обрушенные породы	226	0,3	7	-	7

Размеры зоны неупругих деформаций определялись в соответствии с критерием Хоека-Брауна:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left( m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a,$$

где  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  - максимальные и минимальные напряжения в массиве,  $m_b$  – константа Хоека-Брауна для породного массива,  $s$  и  $a$  постоянные величины, учитывающие генезис и состоя-

ние (качество) породного массива,  $\sigma_{ci}$  – предел прочности на одноосное сжатие массива пород в нетронутом состоянии.

Для каждой стадии решались упругопластические задачи. При этом, на каждой последующей стадии учитывались расчётные деформации, полученные на предыдущей.

На рис. 9, 10 показано формирование зон разрушения для глубины 490 м на разных стадиях в той последовательности, в которой выполнялось численное моделирование.

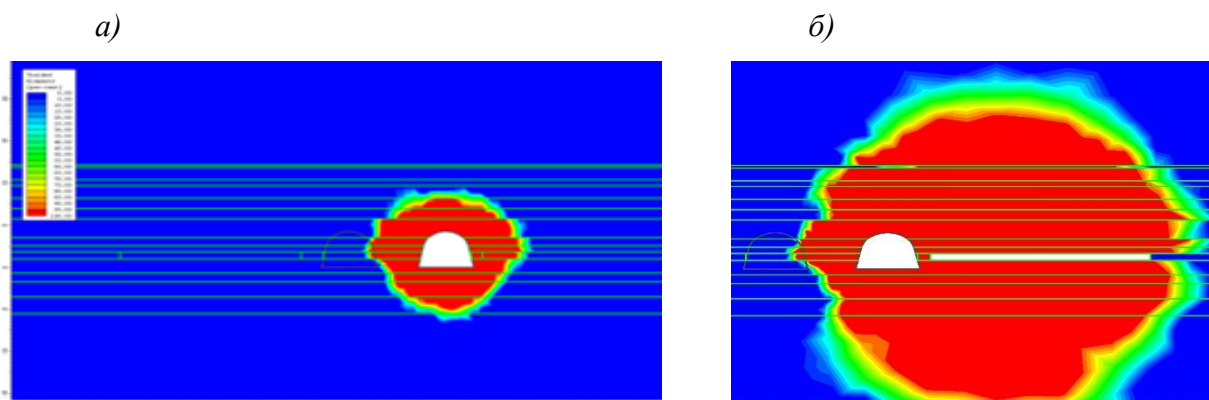


Рисунок 9 – Зона разрушения вокруг 167-го сборного штрека: а) Стадия 1 - до подхода первой 165-ой лавы; б) Стадия 2 - в окне 165-ой лавы

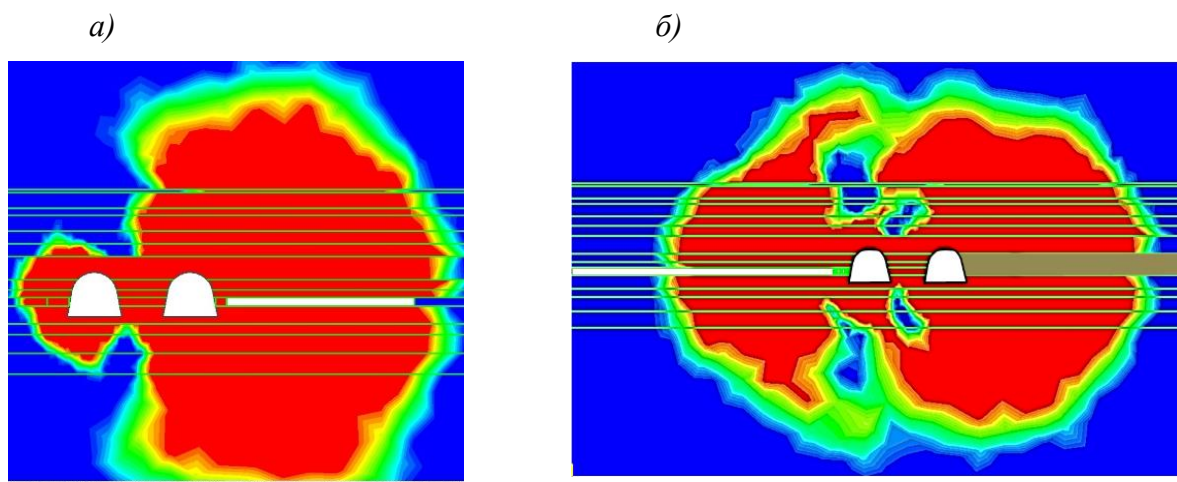


Рисунок 10 – Зона разрушения вокруг 167-го бортового и 167-го сборного штреков в окне лавы: а) Стадия 3 - в окне 165-ой лавы; б) Стадия 4 - в окне 167-ой лавы

Из четырёх рассмотренных геомеханических ситуаций наибольший интерес представляет последняя стадия. На стадии 4 деформации породного массива в окрестности геомеханической системы «лава-парные выработки» становятся максимальными, что приводит к деформации породного массива, окружающего выработку и, как следствие, растрескиванию боковых пород и их вывалу, что увеличивает протяженность участков, требующих ремонта и, как показано выше, приводит к снижению устойчивости выработок.

Анализ этой ситуации показал, что после прохода как первой (165-й), так и второй (167 й) лавы в зоне разрушенных пород над присечной выработкой образуется зона разгрузки. В пределах этой области породы не разрушены и сохраняют сплошность. Этот факт позволяет с помощью 2-уровневой системы анкеров создать вокруг выработки армопородную конструкцию, несущая способность которой достаточна для удержания веса пород кровли после прохода второй лавы.

В диссертации выполнена оценка влияния жесткости охранного элемента, которая регулировалась его размерами и приведенным модулем упругости. В численных расчетах жесткость охранного элемента эквивалентна жесткости деревянной органной крепи, а приведенный модуль упругости принимался либо максимальным, либо вдвое меньшим, что соответствовало различной конструкции органной крепи. В табл. 2 показаны результаты расчетов нагрузки на крепь, величина которой определяется размерами зоны разрушенных пород в кровле.

Таблица 2 – Нагрузка на крепь

$l_{cp} = 2,0$ , м	$E = 4000$ , МПа	$Q_1 = 162,53$ , т/м	$E = 2000$ , МПа	$Q_4 = 185,74$ , т/м
$l_{cp} = 1,5$ , м	$E = 4000$ , МПа	$Q_2 = 184,51$ , т/м	$E = 2000$ , МПа	$Q_5 = 259,35$ , т/м
$l_{cp} = 1,0$ , м	$E = 4000$ , МПа	$Q_3 = 302,58$ , т/м	$E = 2000$ , МПа	$Q_6 = 346,54$ , т/м

Из табл. 2 следует, что с уменьшением жесткости охранного элемента нагрузка на крепь возрастает и превышает расчетную для проектной схемы крепи, которая равна 162 т/м.

Одним из эффективных решений, направленных на повышение жесткости охранной конструкции, в частности, является установка дополнительных стоек на сопряжение лавы с примыкающей выработкой. Стойки устанавливаются между кровлей пласта и почвой выработки. Расчетная схема к определению размеров зоны неупругих деформаций и нагрузки на крепь для ширины закрепленной бровки 2,0, 1,5 и 1,0 м при наличии дополнительной стойки

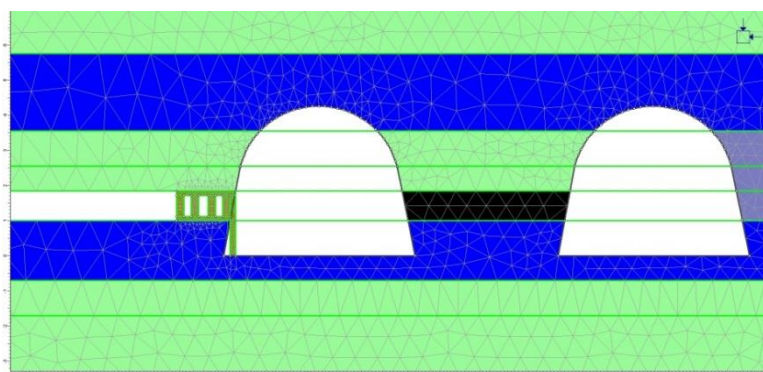


Рисунок 11 – Расчетная схема с учетом установки дополнительной стойки

и максимальной жесткости охранного элемента приведена на рис. 11.

Следующая часть численного моделирования была направлена в сторону оценки работоспособности анкерной системы в присечной выработке, которая состояла из 17 сталеполимерных ан-

керов первого уровня и одного контактного анкера второго уровня.

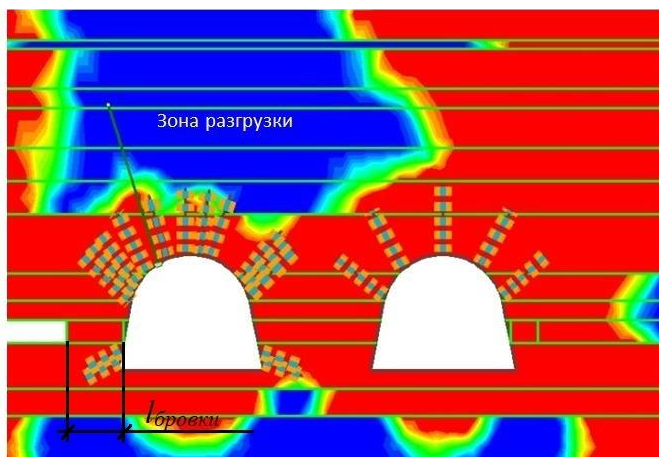


Рисунок 12 – Стабилизация зон разрушения над 167-м бортовым штреком при ширине бровки  $l_{бровка} = 2$  м (глубина разработки  $H=490-430$  м, средняя  $H_{ср} = 460$  м)

На рис. 12 показан варианта геомеханической ситуации при укреплении бровки шириной 2,0 м, откуда следует, что при ширине бровки 2,0 м зона разгрузки в кровле выработки имеет достаточные размеры и такое месторасположение, при котором канатный анкер, закреплённый в ней, выполняет свои функции.

При этом нагрузка на крепь не превышает проектную. При уменьшении размера закрепленной части бровки размер зоны разгрузки уменьшается и перемещается вправо.

Канатный анкер при этом не выполняет своей функции, а нагрузка на крепь превышает проектную. Анкеры первого уровня при малой ширине бровки работают в наиболее неблагоприятном режиме. Поскольку сталь в два раза хуже сопротивляется напряжениям сдвига, то весьма вероятно разрушение анкеров при ширине бровки меньшей 2 м.

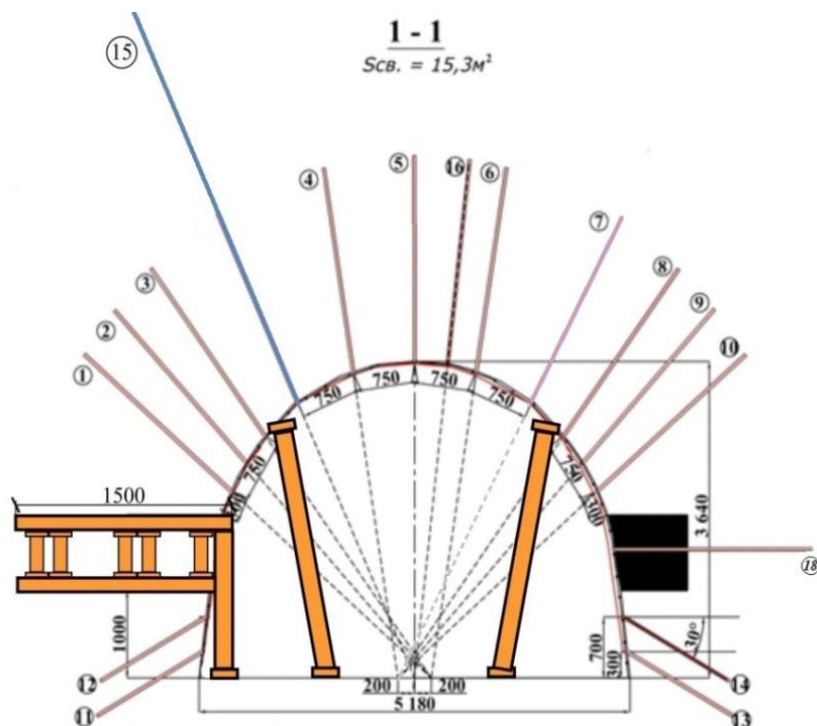


Рисунок 13 – Поддержание присечной выработки анкерами с установкой дополнительной стойки

Однако, ширина бровки может быть уменьшена при установке дополнительной стойки-опоры, которая как было показано выше, повышает жесткость охранной конструкции.

На рис. 13 показана конструкция комбинированной крепи на участке присечной выработки с анкерной крепью, включающая дополнительные стойки.

Как показал численный анализ, уже при ширине бровки 1,0 м зона разгрузки имеет до-

статочные размеры для закрепления канатного анкера, а в обычных анкерах не возникают опасные касательные напряжения.

Таким образом, доказано, что в зависимости от глубины расположения выработок эффективностью функционирования геомеханической системы «лава-парные выработки» можно управлять с помощью элементов охранных конструкций шириной закрепленной бровки и наличием дополнительных стоек жесткости.

**3. Для условий неустойчивых вмещающих пород угольных шахт предложена расчетная схема определения коэффициента разрыхления пород в приконтурной области протяженной выработки и установлено, что его величина линейно зависит от числа операций по устранению области пучения пород почвы, что позволяет вести прогноз объемов ремонтных работ.**

Одной из существенных проблем, влияющих на качество горных работ и себестоимость угля, является пучение пород почвы в протяженных выработках, ликвидация последствий которого чрезвычайно затратная. Несмотря на большое количество исследований в этой области, с увеличением глубины разработки проблема пучения пород почвы в подземных выработках остается актуальной, особенно для неустойчивых пород в окрестности выработок шахт Западного Донбасса.

Процесс пучения пород почвы в горных выработках протекает во времени от нуля до некоторой конечной величины поднятия, которая обычно принимается равной 0,3 м. До этого значения пучение не сильно влияет на технологические операции. После достижения порога пучения проводится подрывка и процесс повторяется многократно в зависимости от срока службы выработки и интенсивности проявления горного давления. Это обстоятельство отражено на рис. 14, где величина  $U_n^*$  – предел (порог) пучения.

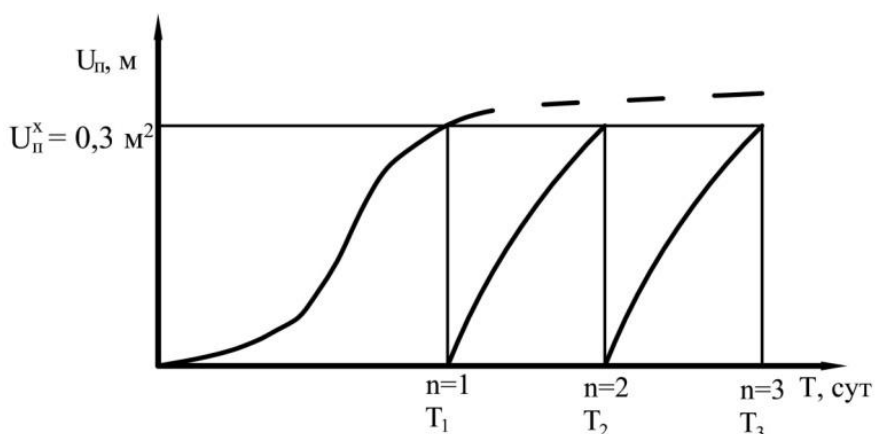


Рисунок 14 – Процесс пучения пород почвы и моменты его устранения

Расчетная схема к определению коэффициента разрыхления (рис. 16) подразумевает определение площади зоны неупругих деформаций  $S_1$  и пород, которые вовлечены в процесс пучения –  $S_2$ .

Величина подрывки пород почвы  $h_{подр}$  за все время службы выработки составляет:

$$h_{подр} = n \times h_n, \quad (5)$$

где  $n$  – число подрывок,  $h_n$  – высота подрываемого слоя пород.

При одной подрывке, а это вполне реально при существующих темпах проведения выработок и отработки лав, можно принять, что  $n = 1$ .

Судя по натурным наблюдениям за состоянием пород в приконтурной области выработок в активный процесс деформирования и перемещения включены породы, находящиеся в нижней части зоны неупругих деформаций  $S_1$ , и породы, которые вовлечены в процесс пучения –  $S_2$  (рис. 15).

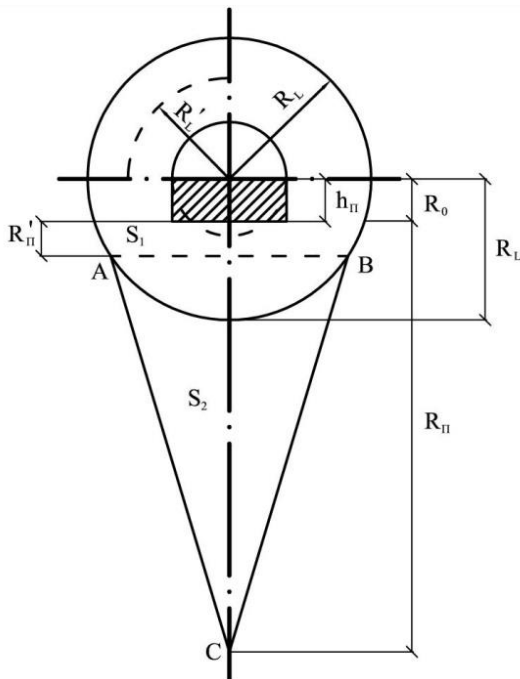


Рисунок 15 – Расчетная схема к определению коэффициента разрыхления пород почвы

При этом величина коэффициент разрыхления имеет вид:

$$\beta = 1 + \frac{2nR_0h_n}{0,5\pi(R_L^2 - R_0^2) + R_L(R_n + R_0 - R_L)}, \quad (6)$$

где  $R_n$  – глубина пород со стороны почвы, вовлеченных в процесс пучения.

Исследования в области моделирования процесса пучения пород почвы позволили сделать следующие обобщения в части геомеханических параметров характерных зон, вовлеченных в активный процесс перемещения в сторону выработки.

Так, величина  $R'_L \approx 1,5R_0$ , а величина  $R'_n \approx R_0$ , где  $R'_L$  – величина зоны разрушения пород вокруг выработки,  $R'_n$  – глубина пород почвы, вовлеченных в активный процесс пучения.

Тогда выражение (7) после преобразований может быть представлено в следующем виде:

$$\beta = 1 + \frac{nh_n}{R_0}. \quad (7)$$

Так, при  $n = 1$   $\beta = 1,12$ , что совпадает с предположениями А. Лабасса и других исследователей. Процесс пучения носит ярко выраженный временной характер, т.е. где  $T$  – время.

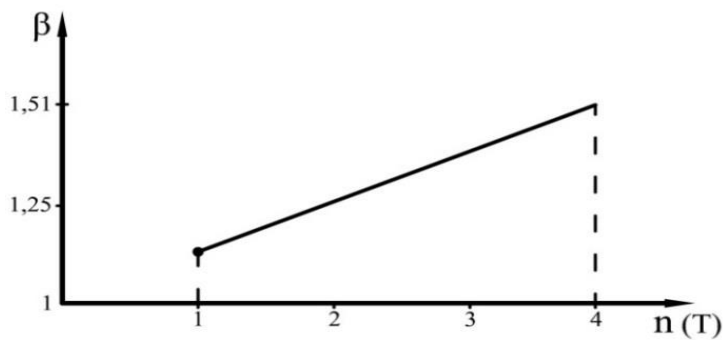


Рисунок 16 – Зависимость коэффициента разрыхления пород от числа подрывов

Это находит свое отражение в количестве подрывов, распределенных достаточно равномерно во времени. В общем виде зависимость от числа подрывов является линейной, что подтверждается примерно равными интервалами времени между подрывками. Она приведена на рис. 16.

**4. Явление последовательного изменения напряжённо-деформированного состояния приконтурного массива, выявленное экспериментально и описанное геомеханической моделью, проявляется в том, что в неустойчивых вмещающих породах угольного пласта по мере перемещения забоя выработки происходит образование трех характерных зон: в первой образуется замкнутая область неупругих деформаций, во второй происходит потеря устойчивости приконтурного массива, реализуемая в виде вспучивания пород почвы, в третьей - продолжается деструкция вмещающих пород, сопровождающаяся развитием трещин в боках и кровле выработки с образованием свода естественного равновесия.**

В этой связи на шахтах ПАО «ДТЭК Павлоградуголь», прежде всего, шахты «им. Героев Космоса» и «Степная», были выполнены натурные исследования с целью уточнения деформационной модели протяженной выработки и формирования нагрузки на крепь. На шахте «Степная» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» выполнялся эксперимент по оценке устойчивости 167-го бортового штрека, пройденного вприсечку к 167-му сборному штреку с оставлением целика шириной 4 м. Проходка выработки осуществлялась двумя встречными забоями с горизонтов 350 и 490 м. Выработка закреплена в чистом виде анкерной крепью. Изучалось влияние приближающегося забоя лавы на деформационные процессы в приконтурном породном массиве выработки. Кроме того, на пикете ПК60 была заложена измерительная станция, назначением которой было изучение закономерностей деформирования контура выработки, в частности, пучения пород почвы, во времени.

Визуальные наблюдения велись по всей трассе выработки (см. рис. 17). Инструментальные наблюдения выполнялись на пикетах, где установлены реперные станции. На рис. 17 они отмечены символами ЗС.

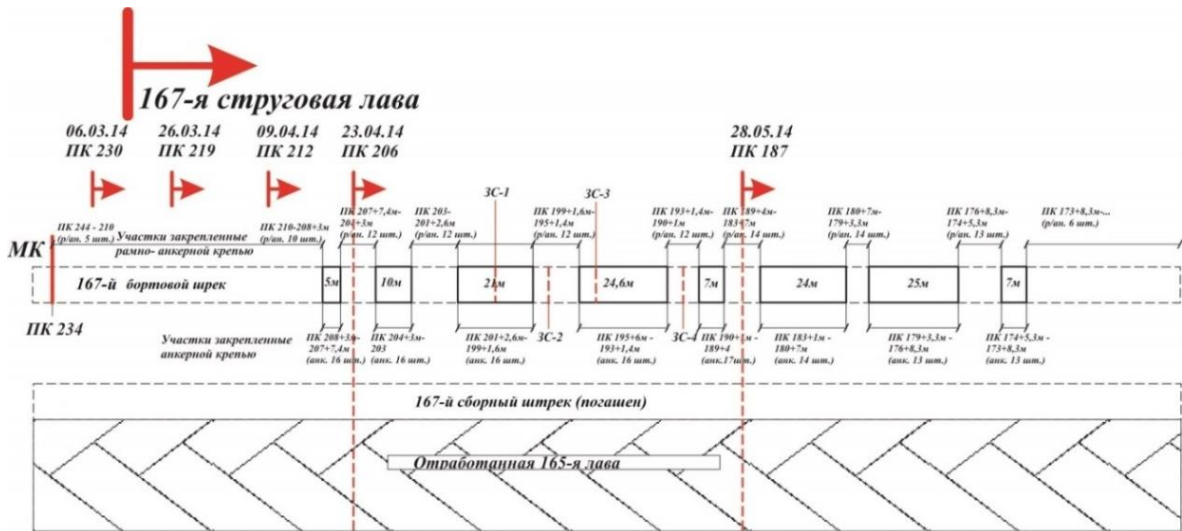


Рисунок 17 – Локализация участков, закрепленных анкерной крепью

Измерялись вертикальная и горизонтальная конвергенции по мере приближения забоя струговой лавы. Было установлено, что вклад пучения пород почвы в вертикальную конвергенцию составляет, в среднем, 70 %. Изменения величины и скорости смещений почвы представлены на рис. 18 и 19 соответственно.

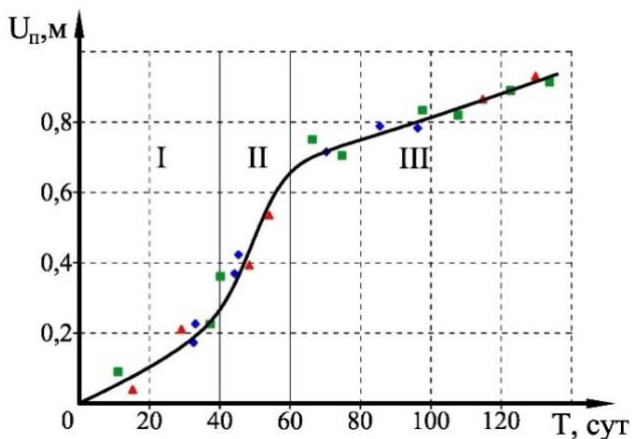


Рисунок 18 – Развитие смещений пород почвы во времени при скорости подвигания забоя струговой лавы 5 м/сут и нагрузке на забой 1500-1800 т/сут

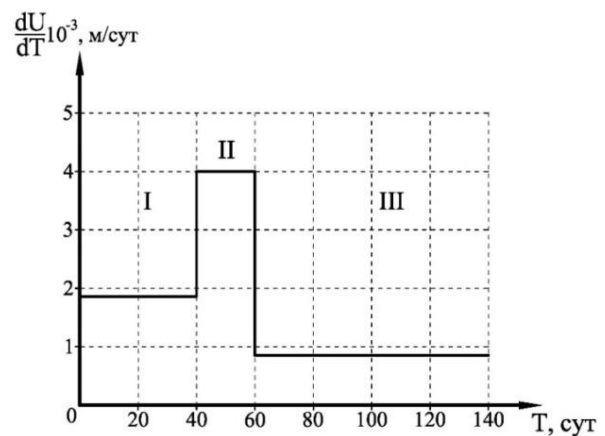


Рисунок 19 – Скорость смещений пород почвы при скорости подвигания забоя струговой лавы 5 м/сут и нагрузке на забой 500-1800 т/сут

Их анализ показал, что влияние забоя приближающейся лавы начинает существенно сказываться на расстоянии 60...70 м, когда величина вертикальной конвергенции составляет 0,4...0,5 м (см. рис. 18). Это соответствует, примерно, пятидесятым суткам с момента начала работ в по добыче угле в лава (см. рис. 19).

При этом величина перемещений пород почвы подчиняется экспоненциальной зависимости следующего вида:



$$\Delta U = a / (1 + b e^{-ct}) \quad (8)$$

где  $\Delta U$  – перемещение почвы;  $t$  – сутки наблюдений ( $t = 60$  суток),  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – коэффициенты, полученные в результате выполнения натурных исследований, при этом  $a = 0,9$ ;  $b = 45$ ;  $c = 0,2$ . Ошибка аппроксимации составляет  $R^2 = 0,95$ .

Существенное поднятие пород почвы происходит уже на девятые сутки после перемещения забоя выработки от измерительного пункта. После этого в течение 40 суток пучение пород почвы достигает 0,5 м и более, а затем интенсивность процесса замедляется (см. рис. 19).

В результате анализа обширных измерений, выполненных на шахтах Западного Донбасса была предложена следующая картина деформирования приконтурного массива в окрестности протяженных выработок, расположенных вне зоны влияния очистных работ.

В процессе перемещения забоя проводимой выработки в ее приконтурном пространстве последовательно образуются три зоны разрушенных пород, разделенных зияющими трещинами (рис. 20). Толщина слоев, начиная от внешнего по отношению к контуру выработки, составляет, в среднем, 25, 50 и 75 см соответственно. При этом смещения первого слоя достигают до 0,5 м, второго – до 0,2 м, третьего – до 0,05 м. Ширина трещин между слоями соответственно равна 0,1 м, 0,05 м, и 0,01 м в кровле выработки и, примерно, вдвое меньше в почве.

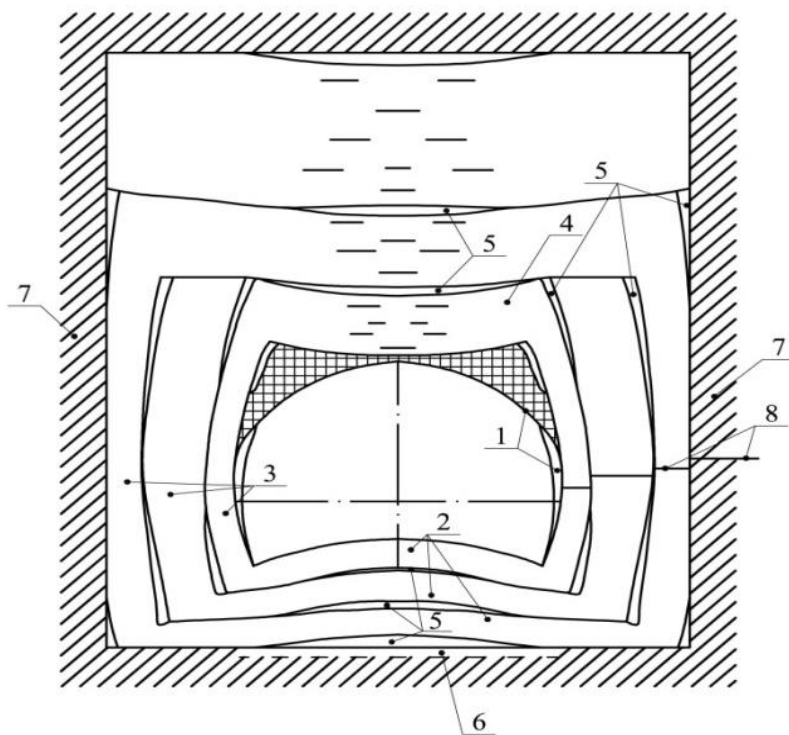


Рисунок 20 – Схема деформирования пород приконтурного слоя и образования зон разрушения:

- 1 - металлическая арочная податливая крепь;
- 2 – породы почвы; 3 – боковые породы; 4 – породы кровли; 5 – пустоты и трещины; 6 – вода; 7 – ненарушенный массив вмещающих пород;
- 8 – маркирующий пласт

выработки, составляет, в среднем, 25, 50 и 75 см соответственно. При этом смещения первого слоя достигают до 0,5 м, второго – до 0,2 м, третьего – до 0,05 м. Ширина трещин между слоями соответственно равна 0,1 м, 0,05 м, и 0,01 м в кровле выработки и, примерно, вдвое меньше в почве.

Со стороны почвы развивается пучение пород. При этом активная зона имеет глубину, примерно, соответствующую полу-пролету выработки. Бока выработки неравномерно смещаются внутрь, что особенно заметно у почвы. В кровле постепенно формируется зона разрушенных пород, создающих нагрузку на крепь. Весь этот процесс растя-

нут во времени и пространстве. В условиях шахт Западного Донбасса он реализуется на расстоянии 30...50 м от забоя выработки. Это обстоятельство отражено на рис. 21.

Здесь  $k(L)$  – это функция влияния забоя выработки, имеющая значения, изменяющиеся от некоторой минимальной величины непосредственно у плоскости забоя  $k(L)_{min} \approx 0,1 \dots 0,2$  до  $k(L) = 1$  на расстоянии 30...50 м. Эта нелинейная функция как-бы снижает гравитационные силы –  $\gamma H$  в пределах влияния забоя. По мере уменьшения этого влияния происходит изменение геомеханического состояния приконтурного массива с образованием трех характерных зон, показанных на рис. 21.

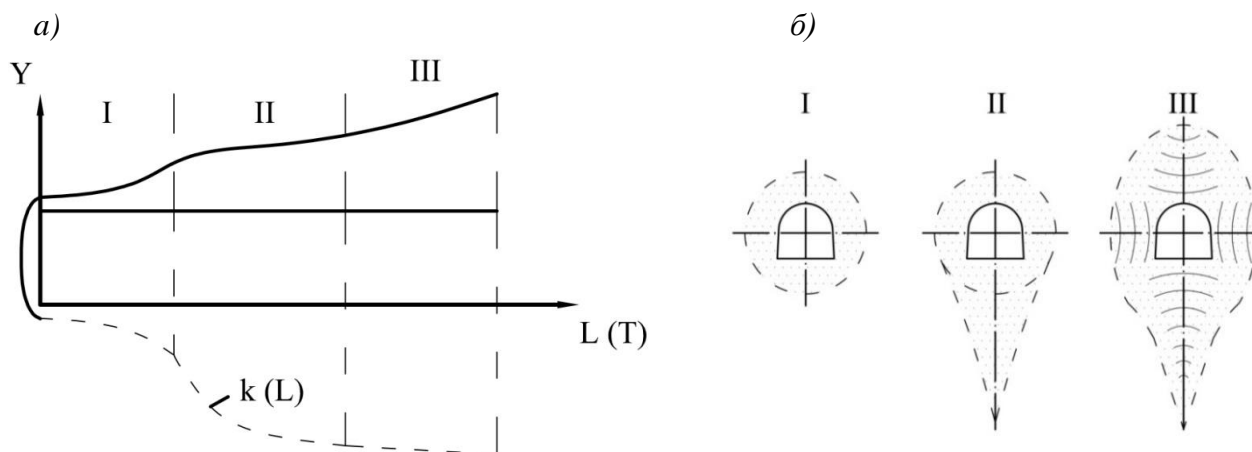


Рисунок 21 – Обобщённая деформационная модель выработки: а) развитие геомеханических процессов по мере перемещения забоя выработки; б) эволюция геомеханических зон в приконтурном породном массиве по мере удаления забоя выработки

В пределах зоны I образуется замкнутая область неупругих деформаций. В пределах зоны II реализуется вспучивание пород почвы. В пределах зоны III продолжается деструкция вмещающих пород, сопровождающаяся развитием трещин в боках и кровле выработки, что приводит к образованию свода естественного равновесия, в пределах которого формируется нагрузка на крепь.

**5. Сохранность капитальных выработок, пройденных в неустойчивых вмещающих угольный пласт породах, достигается за счет применения комбинированной крепи типа АСН+А, работающей с использованием несущей способности упрочнённого набрызг-бетонным покрытием приконтурного породного массива при расчётном количестве анкеров, устанавливаемых в кровле выработки, что позволяет двукратно уменьшить величину поднятия пород почвы, сократить эксплуатационные затраты не менее чем на 17 % и обеспечить безопасность ведения работ.**

На основе разработанной модели развития деформационных процессов в окрестности одиночной протяженной выработки была поставлена и решена численная задача определения параметров технологии возведения новой комбинированной крепи АСН+А (рис. 22, 23). Конструкция её во многом опирается на так называемые крепи АНТ (арка-набрызг-тампонаж).

В результате расчётов было обосновано достаточное количество анкеров, устанавливаемых в кровле выработки, чем достигается значительное уменьшение величины поднятия пород почвы.

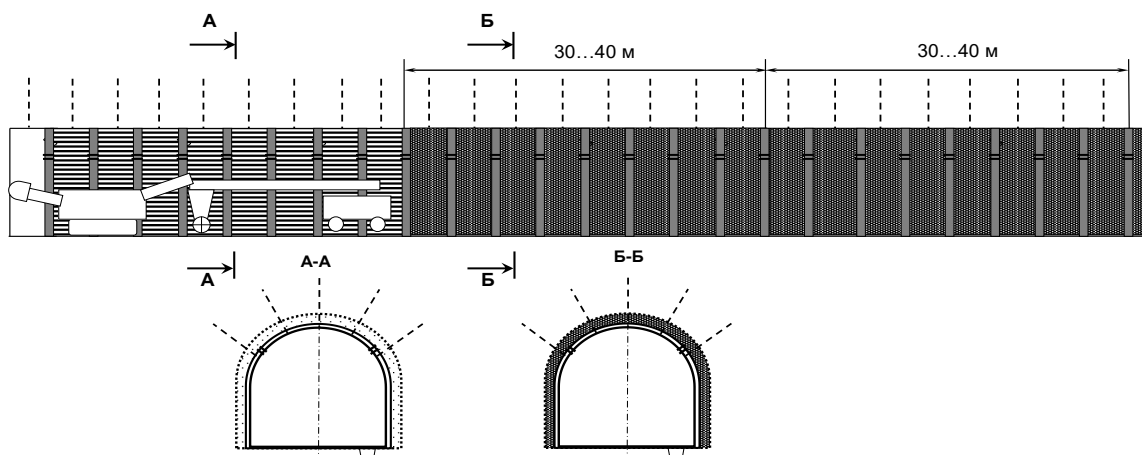


Рисунок 22 – Технологическая схема возведения крепи с установкой анкеров и нанесением набрызг-бетонного покрытия (АСН+А)

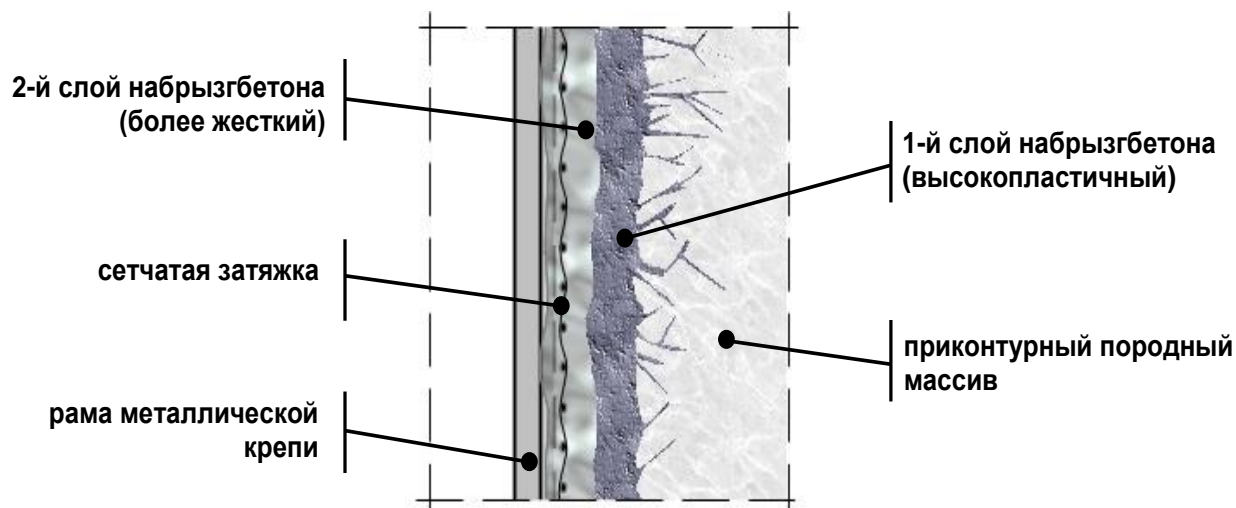


Рисунок 23 – Структура крепи АСН+А при использовании анкеров, новых материалов и оборудования для набрызг-бетонирования

Связь величины смещения пород почвы от числа анкеров, устанавливаемых в кровле выработки, представлена на рис. 23, где показана зависимость величины поднятия пород почвы  $U_n$  от числа анкеров  $N$  в кровле выработки для рассматриваемых горно-геологических

условий. Эта кривая с отклонением  $R^2=0,9747$  может быть аппроксимирована степенной зависимостью следующего вида:

$$U_n = 0,8663 N^{0,719}. \quad (9)$$

Анализ полученной зависимости (см. рис. 24) показал, что для снижения смещений до достижения порога пучения ( $U_n = 0,3$  м) достаточно установить в кровле 5 анкеров.

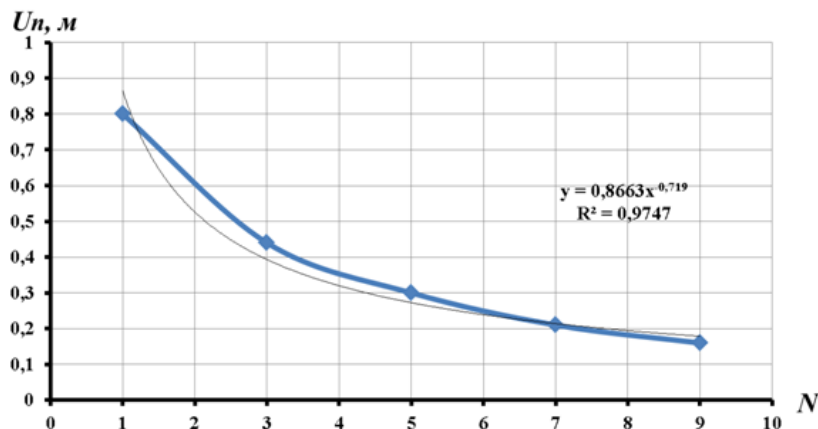


Рисунок 24 – Связь величины смещения пород почвы от числа анкеров в кровле выработки, где  $U_n$  – смещение пород почвы;  $N$  – число анкеров

На рис. 25 приведены зависимости, показывающие как влияет число анкеров –  $N$  и расстояние от забоя –  $l$  выработки на величину перемещений пород –  $U_n$ . Из них следует, что при 5 установленных в кровлю анкерах работы по нанесению набрызг-бетонного покрытия можно выполнять на расстоянии 60 м от забоя выработки, по сравнению с 30 метрами при отсутствии анкеров.

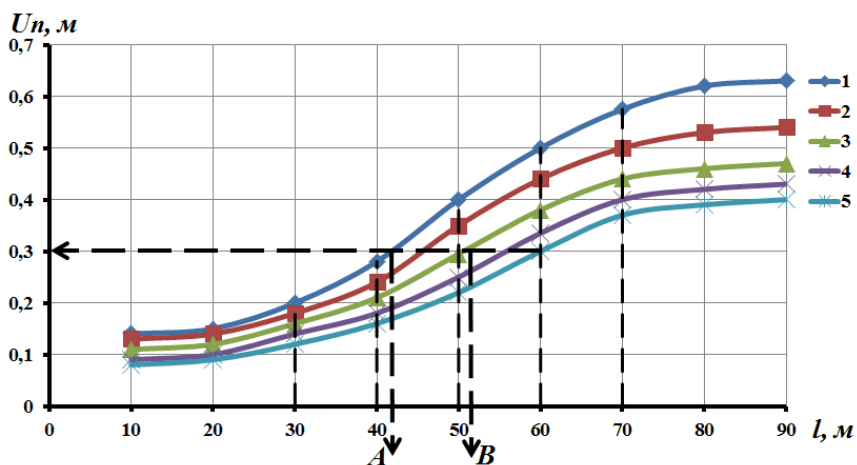


Рисунок 25 – Зависимость смещений пород почвы от расстояния между местом выполнения набрызг-бетонных работ и забоем выработки: 1 – без установки анкеров; 2 – с установкой 3-х анкеров; 3 – с установкой 5-ти анкеров; 4 – с установкой 7-ми анкеров; 5 – с установкой 9-ти анкеров

Это в любом случае обеспечит поднятие пород почвы на величину 0,3...0,4 м, но позволит существенно разнести работы по проходке в забое выработки и набрызг-бетонированию.

На рис. 26 представлена зависимость показателя ( $\omega$ ) устойчивости от максимальной величины смещений контура выработки.

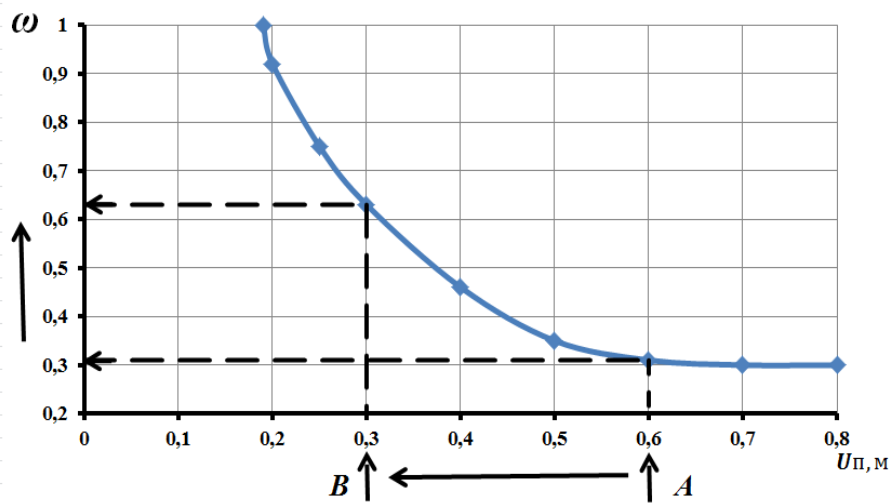


Рисунок 26 – Зависимость показателя устойчивости от максимальной величины смещений контура выработки

Из них следует, что поэтапное нанесение набрызг-бетонного покрытия, способствующего упрочению приконтурного массива, в совокупности с установкой достаточного количества анкеров в забое, предупреждает расслоение пород кровли, позволяет вдвое уменьшить пучение пород почвы и повысить устойчивость выработки в целом.

Экспериментальная проверка методики возведения крепи АСН+А была выполнена во 2 -м западном магистральном откаточном штреке гор. 370 м шахты «им. Героев Космоса». Всего было организовано 4 участка длиной 60 м.

Участок 1. – существующая технология устройства крепи АНТ со значительным отставанием работ по тампонажу от забоя;

Участок 2. – то же, но с отставанием тампонажных работ не более 40 м от забоя;

Участок 3. – замена железобетонной затяжки на сетчатую, выполнение набрызг-бетонных работ на расстоянии не более 40 м от забоя;

Участок 4. – то же, но с 5-ю анкерами, установленными в забое, и с отставанием набрызг-бетонных работ на 60 м.

Результаты измеренных перемещений кровли и почвы на замерных станциях для рассматриваемых экспериментальных участков показали, что методика поэтапного возведения крепи АСН+А позволяет значительно уменьшить деформации контура выработки и повысить ее устойчивость в два раза по сравнению с существующей технологией возведения кре-

пи АНТ. Кроме того, как показал дальнейший опыт, она позволит увеличить шаг крепи от 0,3 до 1,0 м и уменьшить типоразмер профиля от СВП 33 до СВП 22, снизить стоимость сооружения капитальных выработок, объемы и стоимость ремонтных работ, уменьшить газовыделение в участковых выработках.

Расчеты убеждают, что экономический эффект от внедрения этого варианта крепи за счет уменьшения веса металла и объема вспученных пород составит не меньше 15,0 тыс. рублей на 1 п. м выработки.

В процессе выполнения работ по широкому внедрению рамно-анкерной и анкерной крепи на шахтах компании ООО «ДТЭК ЭНЕРГО» были разработаны и утверждены отраслевые нормативные документы, позволяющие техническим отделам самостоятельно разрабатывать паспорта крепления горных выработок, существенно выросла культура производства, что позволило увеличить объемы добычи угля. В табл. 3 показаны объемы внедрения комбинированных видов крепи на шахтах компании ООО «ДТЭК ЭНЕРГО».

Из них следует, что объемы внедрения этих типов крепи для участковых выработок, составляли 58,1 % (25,1 км) для капитальных – 71,2 % (106,2 км).

Таблица 3 - Сводная таблица параметров проведения и крепления ОПД-выработок на шахтах ООО «ДТЭК ЭНЕРГО» в 2016 г.

№ п/п	Шахтоуправление	S, м <sup>2</sup>	Объем проведения, м						Доля РА, %	Шаг крепи, м		Стоимость крепления 1 п.м., дол. США.		Стоимость 1 п.м., дол. США	
			РК			РА						РК	РА	РК	РА
			Всего	ПИ	%	Всего	ПИ	%		РК	РА	РК	РА		
1	"Павлоградское"	11	4054	0	0,0	9344	7455	79,8	69,7	0,80	1,00	175,60	248,00	393,13	442,75
2	"Ясеновское"	10	410	154	37,6	110	110	100,0	21,2	0,80	0,80	183,20	232,80	339,70	324,40
3	"Першотравенское"	15	1215	18	1,5	10576	4424	41,8	89,7	0,80	0,80	278,60	324,40	835,80	774,80
4	"Добропольское"	14	1779	0	0,0	1310	1037	79,2	42,4	0,50	0,80	187,00	290,00	881,70	1091,60
5	"Белозерское"	13	674	0	0,0	1401	921	65,7	67,5	1,00	1,00	213,70	240,50	519,08	575,25
6	"Терновское"	14	2164	1445	66,8	11687	8805	75,3	84,4	0,80	0,80	202,00	335,90	511,45	626,00
7	"ШКД"	14	2208	978	44,3	2038	1236	60,6	48,0	1,00	1,00	202,30	240,50	767,18	603,05
8	"Днепропольское"	14	4131	2737	66,3	6768	6688	98,8	62,1	0,80	0,80	225,20	259,50	599,24	683,20
9	"Свердловское"	14	2817	866	30,7	1042	872	83,7	27,0	0,80	1,00	175,60	206,10	442,75	607,60
10	"Краснопартизанск"	14	1407	476	33,8	1887	1363	72,2	57,3	0,80	1,00	156,50	171,70	461,80	652,70
11	"Ровеньковское"	10	209	0	0,0	0	0	0,0	0,0	0,50	0,00	183,20	0,00	713,70	0,00
12	"Героев космоса"	12	10172	4236	41,6	2658	2377	89,4	20,7	0,80	0,80	187,00	316,80	412,20	698,50
	Всего ББУ ДТЭК	13	31240	10910	34,9	46490	35288	75,9	59,8	0,80	1,00	194,70	259,50	573,30	629,80

Условные обозначения таблицы: **РК**-рамное крепление; **РА**-рамно-анкерное крепление; **ПИ**-повторное использование.

В табл. 4 и 5 показан экономический эффект от внедрения новых видов крепи, полученный за счет повторного использования выработок, перехода на бесцеликовую выемку угля, и уменьшения доли металла при креплении.

Таблица 4 - Сводная таблица параметров проведения и крепления КГВ

по ШУ ДТЭК на 2016 г.

№ п/п	Шахтоуправление	Проходка, м		S, м <sup>2</sup>	Шаг крепи, м		Стоимость крепления 1 п.м., дол. США		Стоимость 1 п.м., дол. США.	
		РК	РА		РК	РА	РК	РА	РК	РА
1	"Першотравенское"	5175	1135	15,3	0,80	0,80	301,50	423,70	782,40	1076,30
2	"Павлоградское"	775	4099	13,8	0,80	1,00	271,00	282,40	603,00	545,80
3	"Белозерское"	966	9	15,6	0,80	0,50	282,40	355,00	1080,15	965,60
4	"Добропольское"	0	410	17,7	0,00	0,50	0,00	345,10	0,00	1190,84
5	"Терновское"	2748	5805	17,7	0,50	0,80	397,00	461,80	1053,44	1137,40
6	"Ясеновское"	563	146	12,8	0,80	0,80	423,00	557,30	740,50	1015,27
7	"Героев космоса"	2101	1909	19,6	0,50	0,50	358,80	629,80	824,40	1198,50
8	"Краснопартизанское"	106	15	13,8	0,80	0,80	347,30	374,05	1141,22	1606,87
9	"ШКД"	570	0	16,1	0,80	1,00	252,00	0,00	755,70	0,00
10	"Днепровское"	2705	13	15,6	0,50	0,50	515,30	687,00	1049,62	2389,30
	Всего ББУ ДТЭК	15709	13541	15,3	0,63	0,80	351,20	465,60	889,30	1229,00
	- 1-я группа ШУ, которые применяются только РА-крепление в КГВ;									
	- 2-я группа ШУ, которые применяются одновременно и РК и РА;									
	- 3-я группа ШУ, которые применяются только РК.									

Таблица 5 – Результаты расчета экономического эффекта от повторного использования участковых выработок на шахтах ООО «ДТЭК ЭНЕРГО» за 2014 - 2015 г.г.

№ п/п	Шахта	Забой	ПИ-выработка	Экономия проведения, п.м.	Стоимость проведения 1 п.м., дол. США	Экономия, тыс.дол. США.
<b>ББУ ДТЭК 2014 год</b>						
<b>ШУ "Червонопартизанское"</b>						
1	"Красный партизан"	42-вост. лава пл.к <sub>2</sub>	Конв. штрек	675	600,4	405,3
2	Им. Я. Свердлова	83-зап. пл. к <sub>5</sub> прим	Вент. уклон	530		318,3
<b>ШУ "Ясеновское"</b>						
3	Им. В.В. Вахрушева	12-я, пл. h <sub>10</sub>	12 конв. ходок	1005	811,8	816,3
4	Им. М.В. Фрунзе	12-я пан., пл. h <sub>8</sub>	Борт. уклон	755		613
<b>"ШКД"</b>						
5	"ШКД"	3 зап., бл. №2, L4	Конв. штрек	1690	402,7	680,5
		11 зап., бл. №4, L4	Конв. выр-ка	1385		557,6
<b>"Павлоградуголь"</b>						
6	9 шахт	19 лав	19 выработок	28483	385,4	10977
	Всего ББУ ДТЭК 2014 г.:					14368
<b>ББУ ДТЭК 2015 год</b>						
7	23 шахты			27970	583,6	16324
	Всего ББУ ДТЭК 2015 г.:					16324

Примечание: «ШКД» - Шахта «Комсомолец Донбасса»; «ББУ» - Бизнес блок уголь

Применение новой технологии 2-х уровневой комбинированной рамно-анкерной крепи позволило получить экономический эффект за 2016 и 2017 гг. в размере 326 млн. руб. (5,55 млн. дол. США).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, в которой на единой методологической основе представлена совокупность научных и технических решений, позволивших установить значимые для практики закономерности деформирования протяженных горных выработок в угольных пластах, расположенных в неустойчивых вмещающих породах, создать геомеханические модели поведения породного массива в этих условиях, которые адекватно описывают деформационные процессы, протекающие в окрестности капитальных и подготовительных выработок, повысить их устойчивость путём широкого внедрения усовершенствованных видов крепи и существенно снизить себестоимость добываемого угля, что имеет важное хозяйственное и социальное значение для интенсификации производства и повышения безопасности горных работ в угольной промышленности.

Основные научные и практические результаты диссертации заключаются в следующем:

1. Независимо от вида применяемой крепи величины вертикальной и горизонтальной конвергенции бортового штрека в геомеханической системе «лава-парные выработки» в условиях неустойчивых вмещающих пород описываются убывающими экспоненциальными функциями в зависимости от расстояния до лавы на момент замера, а их показатели определяют, что величина вертикальной конвергенции в 1,2-2 раза меньше горизонтальной, причем вертикальная конвергенция формируется в основном за счет пучения почвы, а горизонтальная сопровождается значительным растрескиванием массива и вывалами породы.

2. Учет прочностных свойств неустойчивых вмещающих пород угольного пласта в геомеханической модели системы «лава-парные выработки» применительно к маломощным угольным пластам позволяет при определенной жёсткости крепи охранной конструкции выявить в кровле присечной выработки зоны разгрузки, прочностные свойства породы в которых способны обеспечить закрепление канатных анкеров и создать двухуровневую армопородную несущую конструкцию в кровле, чем достигается требуемая устойчивость геомеханической системы «лава-парные выработки».

3. Для условий неустойчивых вмещающих пород угольных шахт предложена расчетная схема определения коэффициента разрыхления пород в приконтурной области протяженной выработки и установлено, что его величина линейно зависит от числа операций по устранению области пучения пород почвы, что позволяет вести прогноз объемов ремонтных работ.

4. Явление последовательного изменения напряжённо-деформированного состояния приконтурного массива, выявленное экспериментально и описанное геомеханической моде-



лью, проявляется в том, что в неустойчивых вмещающих породах угольного пласта по мере перемещения забоя выработки происходит образование трех характерных зон: в первой образуется замкнутая область неупругих деформаций, во второй происходит потеря устойчивости приконтурного массива, реализуемая в виде вспучивания пород почвы, в третьей - продолжается деструкция вмещающих пород, сопровождающаяся развитием трещин в боках и кровле выработки с образованием свода естественного равновесия.

5. Сохранность капитальных выработок, пройденных в неустойчивых вмещающих угольный пласт породах, достигается за счет применения комбинированной крепи типа АСН+А, работающей с использованием несущей способности упрочнённого набрызг-бетонным покрытием приконтурного породного массива при расчётном количестве анкеров, устанавливаемых в кровле выработки, что позволяет двукратно уменьшить величину поднятия пород почвы, сократить эксплуатационные затраты не менее чем на 17 % и обеспечить безопасность ведения работ.

6. Разработана геомеханическая модель, методика её реализации и решена в программной среде *Phase 2* задача определения параметров конструкции крепи АСН+А и технологии её возведения в сложных горно-геологических условиях угольных шахт, разрабатывающих маломощные пласты.

7. Натурные эксперименты показали, что поэтапное изменение элементов поддерживающей крепи в сторону уменьшения веса спецпрофиля от СВП-33 до СВП-22, увеличения расстояния между рамами от 0,3 до 1,0 м, замены железобетонной затяжки на сетчатую, тампонажа закрепного пространства цементно-песчаным раствором на набрызг-бетонное покрытие в сочетании с пятью сталеполимерными анкерами, установленными в забое выработки, позволяет практически вдвое уменьшить металлоёмкость крепи и увеличить устойчивость выработки в целом (Приложение А).

8. Разработаны и внедрены нормативные документы, позволившие обеспечить широкое внедрение анкерной и рамно-анкерной крепи на шахтах компании ООО «ДТЭК ЭНЕРГО» (Приложения Б, В).

9. Обоснованы конструктивные и технологические параметры комбинированной крепи типа АНС+А, обеспечивающей устойчивость капитальных выработок, сооружаемых в особо тяжёлых горно-геологических условиях (Приложение Г).

10. Разработаны «Рекомендации» по определению параметров крепи сопряжений и подготовительных выработок при отработке угольных пластов струговыми комплексами с применением парных выработок (Приложение Д).

11. Ожидаемый экономический эффект при сооружении комбинированной крепи АСН+А, состоящей из поддерживающей крепи КШПУ-М 17,7 с дополнительным усилением

5 анкерами в кровле и набрызг-бетонным покрытием толщиной 0,25 м составит 16,02 тыс. руб./п.м. (227 USD /п.м.) в ценах по состоянию на 01.01.2017 года.

12. Внедрение «Стандарта...» для проектирования рамно-анкерных крепей (Приложение Б) позволило осуществить на шахтах ДТЭК широкомасштабное их внедрение с экономическим эффектом 424,83 млн. руб. (6,0 млн.USD) в участковых выработках и 170,53 млн. руб. (2,4 млн.USD) для магистральных выработок в год.

13. Применение зонтичных элементов (металлические балки специального профиля) в конструкции комбинированной крепи демонтажных камер для одного столба позволило сократить операции по демонтажу-монтажу комплекса на 11 дней, что обеспечило дополнительную добычу в объеме 29095 тонн угля и получение экономического эффекта в размере 53,35 млн. рублей (0,75 млн.USD) для одного выемочного участка.

14. Фактический экономический эффект, достигнутый за счет применения новой технологической схемы струговой выемки, составил за период с 2013 года по 2016 год 1,302 млрд. руб. (22,19 млн. USD).

Применение новой технологии 2-х уровневой комбинированной рамно-анкерной крепи позволило получить экономический эффект за 2016 и 2017 гг. в размере 325,98 млн. руб. (5,55 млн. USD) (Приложение Е).

15. Результаты исследований внедрены в практику расчётов анкерной и рамно-анкерной крепи техническими службами шахт компании ООО «ДТЭК ЭНЕРГО» при проведении капитальных и подготовительных выработок.

**Основные научные и практические результаты диссертации изложены в следующих опубликованных работах**

*Монографии:*

1. Пивняк, Г.Г. Геомеханика струговой лавы / Г.Г. Пивняк, А.Н. Шашенко, Е.А. Сдвижкова, А.В. Смирнов, А.В. Мартовицкий, Н.С. Еремин // Монография. – Днепропетровск: ООО «ЛизуновПрес», 2013. – 320 с.

2. Шашенко, А.Н. Пучение пород почвы в выработках угольных шахт / А.Н. Шашенко, А.В. Солодянкин, А.В. Смирнов А.В. [монография]. Днепропетровск: Лизунов-Пресс, 2015. – 256 с.

*Статьи в изданиях, рекомендуемых ВАК РФ:*

3. Pivnyak, G. Some aspects of the software simulation implementation in thin coal seams mining / G. Pivnyak, R. Dychkovskiy, A. Smirnov & Yu. Cherednichenko // Proceedings of the international forum on energy efficiency, Dnipropetrovs'k, Ukraine, October 2013 // Balkema. Taylor & Francis Group, London, UK. – 2013 – P. 1-10. <https://doi.org/10.1201/b16355-2> (Научно-метрическая база Scopus)

4. Солодянкин, А.В. Оценка геомеханических условий и состояния протяженных горных выработок шахт ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» / А.В. Солодянкин, А.В. Мартовицкий, А.В. Смирнов // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 2, ч. 2. Режим доступа: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/2933>
5. Смирнов, А.В. Напряженно-деформированное состояние породного массива в окрестности выработки с комбинированной крепью / А.В. Смирнов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – № 6. – 2015. – С. 116-120.
6. Смирнов, А.В. Численное моделирование процесса вспучивания пород почвы в выработках угольных шахт / А.В. Смирнов, А.Ю. Король // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 7. – С. 298-305.
7. Смирнов, А.В. Особенности напряженно-деформированного состояния породного массива в окрестности системы «лава-парные штреки» / А.В. Смирнов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 8. – С. 37-45.
8. Солодянкин, А.В. Обоснование эффективных решений по поддержанию протяженных выработок на шахтах ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» на основе оценки геомеханических условий / А.В. Солодянкин, А.В. Мартовицкий, А.В. Смирнов // Наукоедение. – 2015. – Том 7, № 2. – 14 с. Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/13TVN315.pdf>
9. Смирнов, А.В. Исследования геомеханических процессов в приконтурном массиве горных выработок / А.В. Смирнов // Научное обозрение. – 2015. – № 15. – С. 143-152. (Импакт-фактор РИНЦ)
10. Смирнов, А.В. Обобщение натуральных исследований процесса деформирования породного массива в окрестности протяженных выработок / А.В. Смирнов // Известия вузов. Горный журнал. – 2015. – № 5. – С. 75-80.
11. Смирнов, А.В. Оценка условий разработки и состояния протяженных выработок шахт ООО «ДТЭК ЭНЕРГО» / А.В.Смирнов // Устойчивое развитие горных территорий. – 2015. – № 2 (24). – С.5-11.
12. Смирнов, А.В. Геомеханическая модель развития деформационных процессов в забое одиночной горизонтальной выработки / А.В. Смирнов // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2015. – Вып. 7. Ч.1. – С. 206-213.
13. Смирнов, А.В. Экономическая оценка применения систем комбинированной крепи капитальных выработок угольных шахт / А.В. Смирнов, А.Е. Григорьев // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. – 2015. – № 21 (218). – Вып. 33. С. 132-136.
14. Шашенко, А.Н. Обоснование необходимой ширины охранного устройства при повторном использовании подготовительных выработок в угольных шахтах / А.Н. Шашенко,

Н.В. Хозяйкина, А.В. Смирнов // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2017. – № 6. – С. 235-243. (Наукометрическая база РИНЦ)

15. Шашенко, А.Н. Геомеханическая и экономическая оценка ширины охранного устройства при повторном использовании подготовительных выработок в угольных шахтах / А.Н. Шашенко, Н.В. Хозяйкина, А.В. Смирнов // Безопасность труда в промышленности – 2017. – № 8. – С. 16-20.

16. Смирнов, А.В. Геомеханическая модель процесса вспучивания пород почвы в выработках угольных шахт / А.В. Смирнов, В.Н. Захаров, А.В. Харченко // Горный журнал – 2017. – № 11. – С. 33-36.

17. Смирнов, А.В. Обеспечение устойчивости подготовительных выработок в сложных горно-геологических условиях / А.В. Смирнов, А.П. Аверин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 12. – С. 28-36. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-12-0-28-36. (Наукометрическая база РИНЦ)

18. Шашенко, А.Н. Оценка начального поля напряжений при проектировании подземных выработок / А.Н. Шашенко, А.В. Смирнов, Н.В. Хозяйкина // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 12. – С. 37-49. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-12-0-37-49. (Наукометрическая база РИНЦ)

19. Смирнов, А.В. Натурные измерения в откаточных штреках ГП «Угольная компания «Краснолиманская» / А.В. Смирнов, А.И. Дубовик // Маркшейдерский вестник – 2017. – № 6 (121). – С. 55-57.

#### *Авторские права и патенты*

20. Патент № 93779 Украина МПК (2014.01) E21D 20/00/ Способ крепления горной выработки. Владелец: Институт геотехнической механики им. М.С. Полякова НАН Авторы: Булат А.Ф., Круковский А.П., Смирнов А.В., Чередниченко Ю.Я., Возиянов В.С., Хворостян В.А., Булич Ю.Ю. - № и 201405631/72; заявл. 26.05.2014; опубл. 10.10.2014. Бюл. № 19.

#### *Нормативные документы (стандарты)*

21. Система обеспечения надежного и безопасного функционирования горных выработок с анкерной крепью. Общие технические требования: СОУ 10.1.05411357.010:2014. – [Действует с 2014-11-10] – К.: Минэнергоугля Украина, 2014. – 84 с.

22. Инструкция по проектированию комбинированной рамно-анкерной крепи горных выработок. Общие технические требования: СОУ 10.1.05411357.012:2014. – [Действует с 2014-11-29] – К.: Минэнергоугля Украина, 2014. – 42 с.

#### *Научные статьи:*

23. Смирнов, А.В. ДТЭК: концепция лидерства в угледобыче / А.В. Смирнов // Уголь Украины. – 2013. № 7. – С. 3-7.

24. Smirnov, A. Substantiation of coal extraction selective technique implementation in flat seams with thickness of 0,5-0,8 m / A. Smirnov, Y. Cherednichenko and V. Bondarenko // 23<sup>rd</sup> World Mining Congress, Montreal, Quebec, Canada. – P. 174-183.
25. Сдвижкова, Е.А. Обобщение результатов моделирования геомеханических процессов в породном массиве при монтаже и демонтаже струговых лав в условиях шахт Западного Донбасса с целью разработки типовых материалов проектирования монтажных и демонтажных камер / Е.А. Сдвижкова, Д.В. Бабец, А.В. Смирнов, Ю.Я. Чередниченко // «Форум горняков - 2013». Днепропетровск: Национальный горный университет. – 2013. – Т. 2. – С. 257-264.
26. Солодянкин, А.В. К вопросу о вывалообразовании, как форме катастрофического проявления горного давления в условиях больших глубин разработки / А.В. Солодянкин, А.В. Смирнов, А.В. Мартовицкий // Техногенные катастрофы: модели, прогноз, предотвращения – Днепропетровск: НГУ. – 2013. – С. 80-90.
27. Смирнов, А.В. Основы стратегии устойчивости развития предприятий бизнес-блока уголь ДТЭК / А.В. Смирнов // Разработка месторождений. Днепропетровск: ООО «ЛизуновПресс». – 2014. – Т. 2. – С. 13-18.
28. Солодянкин, А.В. Совершенствование технологии тампонажа закрепного пространства в сложных горно-геологических условиях шахт Западного Донбасса / А.В. Солодянкин, М.А. Выгодин, В.В. Коробченко, А.В. Смирнов, А.З. Прокудин // Разработка месторождений. Днепропетровск: ООО «ЛизуновПресс». – 2014. – С. 171-179.
29. Шашенко, А.Н. Устойчивость подземных выработок на больших глубинах / А.Н. Шашенко, А.В. Солодянкин, А.В. Смирнов // Научно-технический и производственный горный журнала Казахстана: Типография «Pride print». – № 6 (110). – 2014. – С. 24-28.
30. Шашенко, А.Н. Геомеханическое сопровождение горных работ в угольных шахтах / А.Н. Шашенко, Е.А. Сдвижкова, А.В. Смирнов // Научно-технический и производственный горный журнала Казахстана. – Типография «Pride print». – № 7. – 2014. – С. 14-17.
31. Смирнов, А.В. Результаты работы угольного блока ДТЭК и перспективы его развития / А.В. Смирнов // Уголь Украины. – 2014. – № 8. – С. 4-7.
32. Смирнов, А.В. Оценка величины коэффициента разрыхления пород приконтурной области в выработках с пучащей почвой / А.В. Смирнов // Научно-производственный журнал: Кременчуг, КрНУ. – 2014. – Выпуск 2 (14). – С. 80-84. (Научометрическая база Index Copernicus)
33. Smirnov. O. Main directions in roof bolting technology development ar DTEK mines / O. Smirnov, V. Pilyugin // Rgogressive technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining. – Published by: CRC Press/Balkema. – 2014 Taylor & Francis Group, London, UK. – P. 1-5.

34. Шашенко А.Н., Солодянкин А.В., Смирнов А.В. Обеспечение устойчивости протяженных выработок на больших глубинах // Горный вестник Узбекистана. – 2014. – № 3 (58). – С. 69-73.
35. Сдвижкова, Е.А. Анализ закономерностей формирования нагрузки на крепь при проектировании монтажных камер струговых лав в условиях шахт Западного Донбасса / Е.А. Сдвижкова, Д.В. Бабец, А.В. Смирнов // «Научный вестник НГУ»: Днепропетровск. – 2014. – № 5. – С. 26-32. (Наукометрическая база Scopus)
36. Шашенко А.Н, Сдвижкова Е.А., Смирнов А.В. Современные методы геомеханических исследований при ведении горных работ // Горный вестник Узбекистана. – 2014. – № 59 (4). – С. 84-87.
37. Смирнов, А.В. Влияние угла падения угольного пласта на устойчивость пород почвы парных штреков / А.В. Смирнов, В.В. Панченко // «Форум горняков-2014». Днепропетровск: ООО «ЛизуновПресс». – 2014. – С. 6-13.
38. Солодянкин, А.В. Тампонаж закрепного пространства как эффективное средство создания системы «крепь-массив» / А.В. Солодянкин, М.А. Выгодин, А.В. Смирнов, В.В. Коробченко, А.З. Прокудин // «Форум гірників-2014». Днепропетровск: ООО «ЛизуновПресс». – 2014. – С. 112-121.
39. Sdvyzhkova, O. Rock state assessment at initial stage of longwall mining in terms of roof rocks of Western Donbass / O. Sdvyzhkova, D. Babets, K. Kravchenko, A. Smirnov // Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources Mining 2015 (A Balkema book). – D.: Litograf. – 2015. – p. 65-71.
40. Шашенко, А.Н. Методика решения задачи об устойчивости выработки с комбинированной крепью АСН-А / А.Н. Шашенко, К.В. Кравченко, А.З. Прокудин, А.В. Смирнов // Вестник Криворожского национального университета. – 2015. – Вып. 39. – С.24-28.
41. Смирнов, А.В. Эволюция современных систем разработки тонких пологих угольных пластов длинными очистными забоями / А.В. Смирнов, В.И. Пилюгин // Разработка месторождений. Днепропетровск: Литограф. – 2015. – С. 7-14.
42. Смирнов, А.В. Практическая геомеханика на шахтах ДТЭК: взгляд в будущее / А.В. Смирнов, В.И. Пилюгин // «Форум гірників-2015». Днепропетровск: ООО «ЛизуновПресс». – 2015. – Т. 1. – С. 18-31.
43. Sdvyzhkova, O.O. Determining the displacements of rock mass nearby the dismantling chamber under effect of plow longwall / O.O. Sdvyzhkova, D.V. Babets, K. Kravchenko, A.V. Smirnov // Scientific bulletin of National Mining University. – 2016. – No. 2. – pp. 34-42.
44. Барабаш, М.В. Внедрение рамно-анкерных видов крепи на шахтах компании ДТЭК и разработка нормативных документов на их проектирование / М.В. Барабаш, С.А.

Воронин, С.В. Мкртчян, А.В. Смирнов, В.И. Пилюгин // «Форум гірників-2016». Днепропетровск: ООО «ЛизуновПресс». – 2016. – Т. 1. – С. 39-46.

45. Барабаш, М.В. Оценка экономической эффективности внедрения рамно-анкерной крепи на шахтах ДТЭК Энерго / М.В. Барабаш, С.А. Воронин, С.В. Мкртчян, А.В. Смирнов, В.И. Пилюгин // «Форум горняков-2016». Днепропетровск: ООО «ЛизуновПресс». – 2016. – Т. 1. – С. 46-49.

46. Смирнов, А.В. Оценка экономической эффективности использования различных вариантов конструкции крепи типа АСН-А / А.В. Смирнов // «Форум горняков-2016». Днепропетровск: ООО «ЛизуновПресс». – 2016. – Т. 1. – С. 46-49.

47. Шашенко, А.Н. Геомеханические аспекты выбора параметров комбинированных крепей капитальных выработок / А.Н. Шашенко, А.З. Прокудин, А.В. Смирнов // «Уголь Украины». – 2017. – № 4. – С. 11-15.

Подписано в печать с оригинал-макета \_\_.\_\_.2018 г. Формат 60x84 1/16.  
Бумага «Мега Сору Office». Печать офсетная. Набор компьютерный.  
Объем \_\_ п.л. Тираж \_\_\_\_ экз. Заказ № \_\_\_\_.

---