

*На правах рукописи*



**БОРОВИКОВ ЕВГЕНИЙ ВАСИЛЬЕВИЧ**

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ  
КОМБИНИРОВАННОГО ИСКУССТВЕННОГО  
МАССИВА ПРИ ОСВОЕНИИ КРУТОПАДАЮЩИХ  
РУДНЫХ ТЕЛ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ**

Специальность

Специальность 2.8.8. Геотехнология, горные машины

**А в т о р е ф е р а т**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Магнитогорск 2024

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

**Научный руководитель** доктор технических наук, доцент  
**Зубков Антон Анатольевич**

**Официальные оппоненты: Айнбиндер Игорь Израилевич**  
доктор технических наук, профессор,  
ФГБУН «Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук», г. Москва, главный научный сотрудник лаборатории геотехнологии комплексного освоения месторождений полезных ископаемых

**Рожков Артем Андреевич**  
кандидат технических наук,  
ФГБУН «Институт горного дела УрО РАН»,  
г. Екатеринбург, старший научный сотрудник лаборатории подземной геотехнологии

**Ведущая организация** – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург

Защита диссертации состоится «16» января 2025 г. в 14<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета 24.2.324.06 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова») по адресу: 455000, Челябинская область, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38 (зал видеоконференцсвязи ауд.233).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» и на сайте ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»: <https://magtu.ru>.

Автореферат разослан «\_\_» декабря 2024 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктор технических наук



Корнилов Сергей Николаевич

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность работы.** Ведение горных работ подземным способом характеризуется сложными условиями, что обуславливает высокие эксплуатационные затраты на очистную выемку. Кроме того, длительный период практики подземной разработки месторождений полезных ископаемых обозначил некоторые особенности, заключающиеся в истощении запасов, находящихся в относительно благоприятных условиях. Современные условия подземной разработки связаны с постоянным и динамичным ухудшением горно-геологических и горнотехнических условий ввиду необходимости увеличения производственной мощности при снижении количественно-качественных характеристик добываемого сырья, а также ввода в эксплуатацию запасов, находящихся в зоне влияния охраняемых объектов или выработанного пространства.

Сложные горно-геологические условия и сформированные в процессе эксплуатации горнотехнические условия, ведут к снижению экономической эффективности разработки месторождения и безопасности ведения горных работ. Разработка таких запасов производится системами разработки, имеющими низкую производительность, что не обеспечивает требуемую производственную мощность при снижении содержания полезного ископаемого. Повышение производственной мощности компенсируется применением систем разработки с обрушением руды и вмещающих пород. Однако, учитывая низкие количественно-качественные характеристики запасов, применение данных систем разработки приведет к большему снижению эффективности производства и отказ от разработки месторождения.

Полноту выемки и безопасность ведения горных работ обеспечивают системы разработки с закладкой выработанного пространства. Однако, высокие затраты на формирование твердеющего массива в совокупности с низким содержанием полезного компонента в обрабатываемых запасах приводят к снижению рентабельности производства, поэтому актуальным остается научное и практическое решение вопроса по снижению затрат на закладочные работы при обработке рудных тел камерными системами разработки и повышение показателей эффективности освоения недр.

**Целью работы** является разработка и обоснование параметров технологии формирования комбинированного искусственного массива, обеспечивающего снижение объема твердеющей закладочной смеси для повышения экономической эффективности обработки месторождения и безопасности ведения горных работ.

**Идея** заключается в снижении объема высокозатратной твердеющей смеси за счет техногенного преобразования свойств рудного, породного и искусственного массивов в процессе очистной выемки путем инъекционного упрочнения.

**Объект исследования** – технология подземной разработки рудных месторождений. **Предмет исследований** – параметры технологии закладочных работ при освоении запасов рудных залежей камерными системами разработки с закладкой.

### **Задачи исследований:**

- анализ и обобщение опыта закладочных работ при камерных системах разработки рудных залежей;
- конструирование варианта системы разработки с инъекционным упрочнением закладочного массива для условий отработки запасов;
- разработка технологии формирования искусственного массива при камерной системе разработки рудных залежей с закладкой;
- исследование процесса инъекционного упрочнения закладочного массива и определение зависимостей его параметров от геометрических размеров выработанного пространства камер;
- разработка рекомендаций по отработке запасов, опытно-промышленные испытания технологии и расчет технико-экономических показателей.

**Методы исследований:** комплексный метод исследований, включающий: анализ и обобщение практики закладочных работ при отработке рудных залежей камерными системами разработки с закладкой; математическое моделирование напряженно-деформированного состояния элементов конструкции закладочного массива методом конечных элементов; физическое моделирование процесса закладочных работ; аналитические и статистические расчеты; технико-экономический анализ результатов.

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

1. Эффективность освоения крутопадающих рудных залежей средней мощности, залегающих в сильнотрещиноватых неустойчивых породах, камерными системами разработки обеспечивается за счет технологии инъекционного упрочнения при одновременном укреплении пород всячего и лежащего боков.

2. Уменьшение угла наклона стенки камеры в сторону выработанного пространства и уплотнение твердеющего закладочного массива взрыванием зарядов в зажиме обеспечивает дополнительный коэффициент запаса устойчивости, равный 1,3 при расположении первого ряда скважин на расстоянии 1,1 м от искусственного массива.

3. Устойчивость всячего бока камеры обеспечивается при отношении площади укрепленного массива и сухой породной закладки, равным 1/3.

4. Расположение закладочных скважин в рудном массиве соседней отработываемой камеры обеспечивает увеличение линии наименьшего сопротивления в 1,5 раза и сокращение количества взрывных скважин в 1,8 раза.

Надежность научных выводов, результатов исследований и рекомендаций обеспечивается представительностью и надежностью исходных данных, подтверждается сходимостью результатов аналитических расчетов с лабораторными и промышленными испытаниями, а также показателями работы предприятий.

### **Научная новизна:**

- принцип создания комбинированного искусственного массива, основанный на инъекционном упрочнении сухой породной закладки;
- установлены зависимости: толщины укрепленного слоя от длины и высоты камеры, прочности закладочного массива от расстояния удаления

инъектора, прочности закладочного массива от водоцементного соотношения.

**Личный вклад автора** в исследование состоит в: формулировании цели и задач исследований; анализе и обобщении опыта закладочных работ при камерных системах разработки рудных залежей; конструировании варианта системы разработки с инъекционным упрочнением закладочного массива; разработке технологии формирования искусственного массива при камерной системе разработки рудных залежей с закладкой; разработке методик лабораторных и промышленных экспериментов и подготовке необходимого оборудования; непосредственном проведении исследований; разработке математической модели напряженно-деформированного состояния массива пород методом конечных элементов; статистической обработке полученных результатов; определении конструктивных параметров технологии; расчете технико-экономических показателей технологии.

**Практическая значимость работы** заключается в том, что параметры технологии с инъекционным упрочнением сухого закладочного массива, обобщенные в результате исследований и установленные зависимости определяют повышение экономической эффективности очистных работ при применении систем разработки с закладкой выработанного пространства. Материалы диссертации использованы при выполнении научно-исследовательской работы «Разработка технологии формирования искусственных массивов с заданными геотехническими характеристиками в условиях Сафьяновского медноколчеданного месторождения» при подготовке проектной документации.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации докладывались на Международном научном симпозиуме «Неделя горняка» (г. Москва, 2017 г.); Международной научно-технической конференции «Комбинированная геотехнология: ресурсосбережение и энергоэффективность» (г. Магнитогорск, МГТУ, 2017 г.); VI и VII Международной научно-технической конференции «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений» (г. Екатеринбург, УГГУ, 2017-18 гг.); 75 и 76-ой Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы современной науки, техники и образования» (г. Магнитогорск, МГТУ, 2017-18 гг.); Международной конференции «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики» (г. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский горный университет, 2018 г.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 5 работ, в том числе 4 статья в научных журналах, рекомендованных ВАК России, и 2 патента.

#### **Объем и структура диссертации**

Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения, изложенных на 114 страницах машинописного текста, содержит 60 рис., 2 табл., библиографический список из 123 наименований.

Автор выражает благодарность научному руководителю, доценту, доктору технических наук Зубкову Антону Анатольевичу за сопровождение на всех этапах выполнения диссертации и искреннюю признательность профессору, доктору технических наук Калмыкову Вячеславу Николаевичу и доктору

технических наук Мажитову Артуру Маратовичу за значимые замечания и важнейшие советы при проведении исследования, а также всему коллективу кафедры разработки месторождений полезных ископаемых за внимание, оказанное научной работе.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

*Первая глава* посвящена анализу и обобщению опыта применения камерных систем разработки с различными видами закладки выработанного пространства при подземной добыче руд, включая подробное рассмотрение существующих технологий формирования комбинированных закладочных массивов.

Накопленный опыт подземной геотехнологии рудных месторождений, как отечественный, так и зарубежный, показывает довольно устойчивую тенденцию к увеличению объемов добычи камерными системами разработки с закладкой выработанного пространства.

Совершенствованию, оптимизации и обоснованию параметров подземной геотехнологии с использованием систем с закладкой выработанного пространства посвятили свои труды такие ученые как: М.И. Агошков, И.И. Айнбиндер А.И. Ананин, О.А. Байконуров, Р.В. Балах, Д.М. Бронников, М.И. Весков, А.П. Вяткин, И.Е. Ерофеев, Н.Ф. Замесов, П.Э. Зурков, А.П. Илющин, В.Р. Именитов, В.Н. Калмыков, В.В. Квитка, Е.И. Коган, В.П. Кравченко, В.Т. Кравченко, Л.А. Крупник, Е.В. Кузьмин, В.В. Куликов, Л.В. Малетин, А.Н. Монтянова А.И. Мохов, В.Д. Палий, Г.А. Прокушев, К.Ю. Репп, М.В. Рыльникова, И.Н. Савич, К.Н. Светлаков, И.Т. Слащилин, А.Е. Смолдырев, А.А. Смирнов, А.Л. Требуков, М.Н. Цыгалов, Э.О. Штернбек и др.

Анализ практики подземной разработки показало, что при применении систем разработки с искусственным поддержанием очистного пространства в качестве закладки используются различные виды материалов (рис. 1): дробленые горные породы, хвосты обогатительных фабрик, шлаки металлургических заводов или зола тепловых электростанций, твердеющие или бетонные смеси, песок, глина и др. Наиболее распространены закладочные смеси на основе отходов горно-обогатительного производства, обеспечивающих снижение себестоимости, а также высокую безопасность ведения горных работ.



Рисунок 1 – Доли использования материалов в составе твердеющей закладки (%): а – инертные и б – вяжущие материалы

Анализ и обобщение опыта применения камерных систем разработки и закладочных работ на отечественных и зарубежных рудниках показал возможность использования дробленой породы в качестве закладочного материала, обеспечивая снижение себестоимости закладочных работ и негативное влияние отходов горного производства на окружающую среду.

Во второй главе приведены результаты исследования процесса инъецирования сухой породной закладки, основных характеристик закладочного материала и свойств раствора.

Нагнетание раствора в сыпучие среды представляет процесс, параметры которого зависят от ряда факторов, включающих свойства среды и раствора, кинематические и динамические характеристики потока, технологии производства работ. Поэтому в качестве основного принят метод лабораторных экспериментов с применением натуральных материалов, позволяющих создавать условия наблюдения отдельных сторон процесса в достаточно надежном виде. С целью уточнения и корректирования полученных лабораторных результатов и, в отдельных случаях, для получения зависимостей, которые трудно установить в лаборатории, проведен производственный эксперимент в условиях подземного рудника. Таким образом, для решения поставленных задач приняты следующие методы исследований: моделирование на эквивалентных материалах, производственный эксперимент, статистическая обработка результатов и аналитические расчеты.

Результаты физического моделирования инъекционного упрочнения сыпучего закладочного массива приведены на рис. 2 и 3.

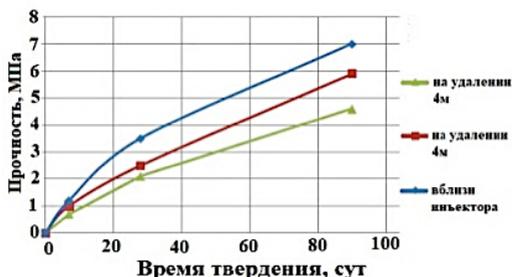


Рисунок 2 – Кинетика набора прочности закладочного массива

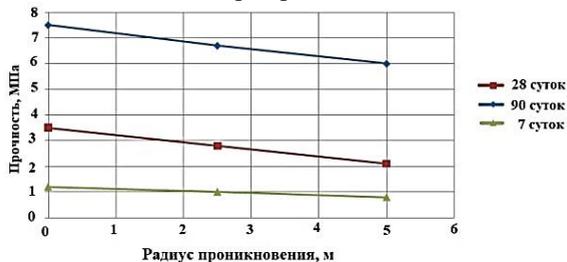


Рисунок 3 – Зависимость прочности закладочного массива от глубины проникновения цементного раствора

Результаты исследований показали, что инъектируемый слой будет иметь достаточную прочность. Максимальный радиус проникновения раствора составил 5 м, при этом при удалении от инъектора прочность слоя снижалась. Кроме того, взрывание зарядов на зажимающую среду породной закладки обеспечивает ее уплотнение, что повышает устойчивость искусственного массива до 30%. Для недопущения повреждений и растрескивания твердеющего массива первый ряд скважин рекомендуется располагать на расстоянии не менее 1,1 м от упрочняемого слоя.

Уточнение технологических решений по формированию искусственного массива путем инъекционного упрочнения сухой сыпучей породы осуществлялось проведением промышленных испытаний отработки опытного участка на подземном руднике Сафьяновского месторождения.

*В третьей главе* представлена конструкция варианта камерной системы разработки с упрочнением сухой породной закладки путем инъектирования.

Несомненным достоинством камерных систем разработки с твердеющей закладкой является полнота извлечения руд при обеспечении сохранности земной поверхности. Основным недостатком вышеуказанной системы разработки является высокий уровень ресурсоемкости добычи, поэтому применение ее, особенно на участках с низким содержанием полезного компонента, приводит к снижению экономической эффективности освоения недр. Повышение экономической эффективности очистных работ возможно за счет снижения объема высокозатратных твердеющих смесей при освоении запасов месторождения камерными системами разработки с искусственным поддержанием выработанного пространства путем инъекционного упрочнения сухого закладочного массива.

Конструкция нового варианта системы разработки, заключающегося в инъекционном упрочнении стенок закладочного массива, позволяет снизить себестоимость закладочных работ. Сущность предлагаемого варианта системы разработки заключается в следующем (рис. 4). Очистные камеры располагаются вкрест простирания рудного тела. Развитие фронта горных работ в пределах подэтажа – от центра к флангам, общий порядок разработки – восходящий. Первоначально обрабатывается центральная камера, имеющая форму трапеции, с углом наклона стенок 80-85° (стремится к углу естественного откоса, что повышает устойчивость закладочного массива). Далее выработанное пространство камеры заполняется пустой породой. Подача цементного раствора производится по скважинам из выработок вышележащего подэтажа. Количество скважин рассчитывается исходя из радиуса проникновения раствора в породу. Отработка соседних камер производится в сплошном порядке на оба фланга подэтажа сразу после формирования закладочного массива предшествующих камер. Отбойка запасов ведется на зажимающую среду, обеспечивая уплотнение закладочного массива соседней камеры. При этом расположение закладочных скважин в рудном массиве соседней обрабатываемой камеры повышает величину линии наименьшего сопротивления в 1,5 раза за счет создания дополнительного компенсационного пространства и, соответственно, сокращение количества взрывных скважин в 1,8 раза.

Практика работы предприятий показывает, что отбойка руды взрывным способом непосредственно у закладочного массива на зажимающую среду вызывает его усадку и уплотнение. Накопленный опыт по применению отбойки руды в зажиме показывает, что отбитая и замагистинированная руда уплотняется взрывом скважин на 25-35 %, причем уплотнение распространяется на глубину до 20 м в разрыхленный массив.

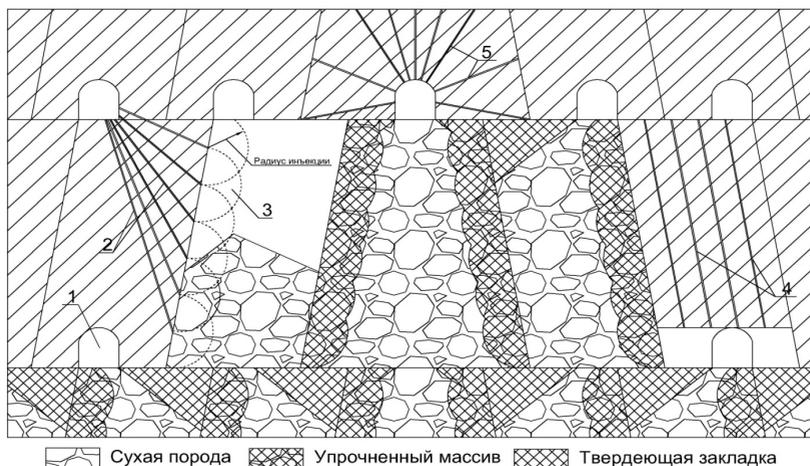


Рисунок 4 – Этажно-камерная система разработки с инъекционным упрочнением сухой породной закладки

1 – буро-доставочный орт; 2 – закладочные скважины; 3 – зона влияния инъекции; 4 – отбойные скважины; 5 – веер скважин

Применение варианта камерной системы разработки с инъекционным упрочнением закладочного массива предполагает следующую картину действия сил на упрочненный слой (рис. 5): давление вышележащего массива отсутствует в связи неизбежным недозакладом под кровлю, а воздействие горного давления пород всяческого бока не учитывается, так как действие ее начинается с некоторым отставанием во времени. Таким образом, при определении параметров упрочненного слоя в качестве внешней силы, действующей на него, рассматривается только активное давление сыпучей породной закладки. Согласно схеме, расчет давления сухой породной закладки на упрочненный слой зависит от размеров призмы сползания, которая определяется высотой, шириной и углом наклона камеры. Необходимая прочность упрочненного слоя определяется по классическим методикам расчета прочности подпорной стенки.

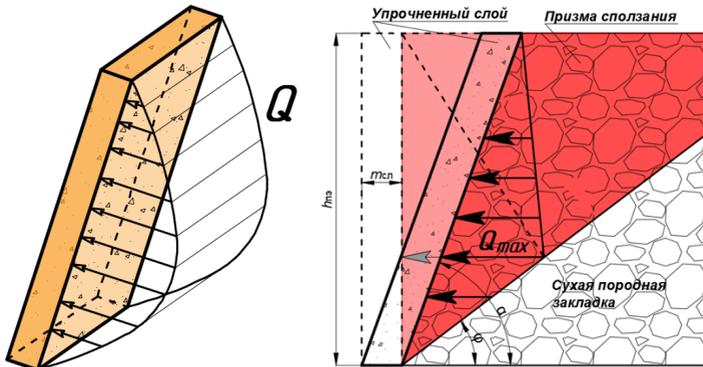


Рисунок 5 – Расчетная схема давления сухой породной закладки на упрочненный слой

Проведенными исследованиями установлено влияние угла наклона камеры на величину бокового давления (рис. 6), а также высоты камеры и глубины ведения горных работ на толщину упрочненного слоя закладочного массива (рис. 7). Расчеты показали, что для сохранения устойчивого обнажения висячего бока камеры необходимо обеспечить отношение площадей укрепленного слоя и сухой породной закладки, равным  $1/3$ .



Рисунок 6 – Зависимость бокового давления сыпучей закладки от угла наклона камеры

Исследования показали, что уменьшение угла наклона камеры ведет к снижению бокового давления породной закладки. Это объясняется тем, что уменьшение угла наклона, при неизменных других параметрах камеры, приводит к изменению геометрических размеров призмы сползания за счет перемещения части веса породной закладки на вмещающие породы.

Оценка напряженно-деформированного состояния (НДС) твердеющей части комбинированного закладочного массива осуществлялась с помощью математического моделирования методом конечных элементов в объемной

постановке задачи в программном комплексе INVENTOR AUTODESK. Исследовалось НДС искусственного твердеющего массива нормативной прочностью 3 МПа в камерах высотой 25 м и шириной от 10 до 20 м, который испытывает давление, оказываемое только породной закладкой.

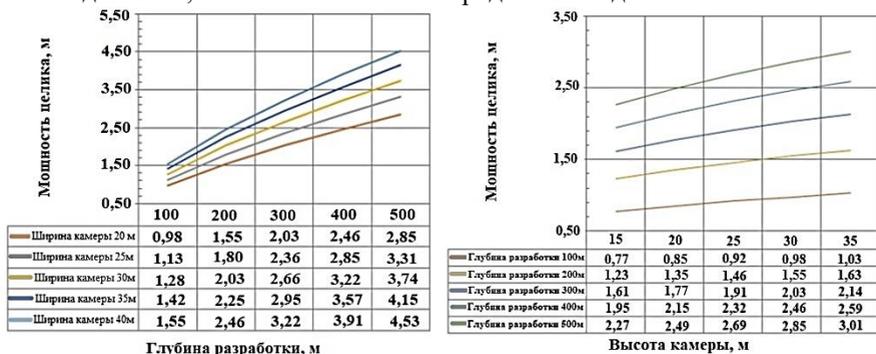


Рисунок 7 – Зависимости толщины упрочненного слоя от глубины разработки и высоты камеры

Результаты моделирования показали, что напряжения концентрируются у основания искусственных твердеющих массивов, то есть в месте его фиксации. При этом значения напряжений (например, для ширины 15 м  $G_{max}=1,559$  МПа) не превышают прочностных характеристик упрочненного слоя, что свидетельствует о том, что расчетная ширина обеспечивает устойчивое состояние. Результаты оценки НДС объединены на графике (рис. 8).



Рисунок 8 – Зависимость максимальных сжимающих напряжений при различных значениях ширины камеры

Проведенная оценка смещений относительно вертикальной плоскости показала, что незначительный сдвиг происходит в верхней части массива (пример для камеры шириной 15 м -  $\max=2,62$  мм). В основании же смещений нет. Это объясняется тем, что основание твердеющего массива защемлено под

действие собственной силы тяжести, а верхняя его часть не закреплена ни массивом вмещающих пород, ни вышележащим рудным массивом. Характер изменения значений максимальных смещений искусственного массива в зависимости от его ширины представлен на графике (рис. 9).

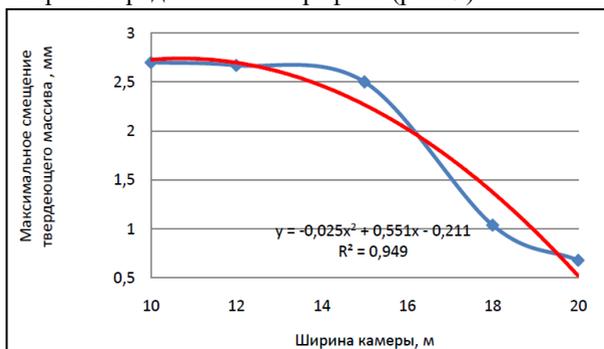


Рисунок 9 – Зависимость максимальных смещений упрочненного слоя при различных значениях ширины камеры

Снижение показателей смещения от увеличения ширины камеры объясняется повышением устойчивости искусственного твердеющего массива за счет увеличения его горизонтальной площади. В целом значения смещений не значительны и не достаточны для его сдвига либо опрокидывания. Наиболее опасными напряжениями, возникающими в искусственном твердеющем массиве, являются растягивающие, ввиду слабого сопротивления растяжению.

Анализ геомеханической модели по данному виду напряжений, возникающих в упрочненном слое под действием породной закладки, выявил зоны концентрации, которые располагаются у основания твердеющего массива. Предельное значение, например, для камеры шириной 15 м составляет 0,32 МПа, что не превышает предельного значения на растяжение упрочненного слоя.

Полученные значения максимальных растягивающих напряжений при различных значениях ширины камер представлены на графике (рис. 10).

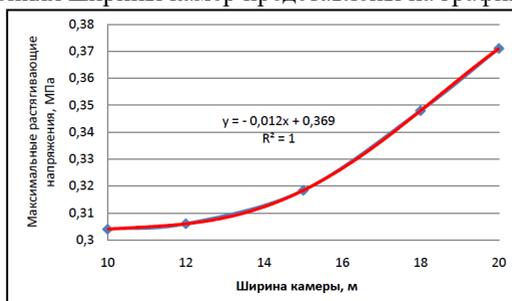


Рисунок 10 – Максимальные растягивающие напряжения в зависимости от ширины камеры

Результаты геомеханических исследований указывают на то, что сжимающие, растягивающие и сдвиговые напряжения, возникающие в упрочненном слое, создаваемые под действием породной закладки, не превышают его пределов прочности. Данный факт означает, что упрочненный слой будет находиться в устойчивом состоянии, и не разрушится, что обеспечит безопасность ведения горных работ при извлечении запасов смежной камеры. Проведенные геомеханические исследования повышают достоверность аналитических расчетов.

*В четвертой главе* проведена технико-экономическая оценка предлагаемых технологических решений и результаты опытно-промышленных испытаний технологии на примере Сафьяновского месторождения.

Уточнение технологических решений по формированию искусственного массива при инъекционном упрочнении сухой сыпучей породы осуществлялось путем промышленных испытаний отработки опытного участка Сафьяновского месторождения. После очистной выемки запасов камеры на одной из стенок на всю высоту монтировались инъекторы из металлической трубы  $d_y = 100$  мм, перфорированных выпускными отверстиями для пропуска инъекционного раствора через каждые  $3 \div 5$  м по длине инъектора. В качестве вяжущего использовалось цементное молочко при соотношении Ц/В=1/3. Расход компонентов на  $1 \text{ м}^3$  раствора планировался следующий: цемент – 300 кг, воды – 900 л. Необходимый объем смеси для испытаний –  $110 \text{ м}^3$ . В качестве заполнителя применялась сухая закладка в виде пустой породы с проходческих работ.

Технико-экономическое сравнение проводилось для трех вариантов систем разработки при идентичных условиях:

Вариант – А. Подэтажно-камерной с закладкой в нисходящем порядке отработки, при которой 100 % образованных пустот заполняются твердеющей закладкой (существующий проектный вариант системы разработки);

Вариант – Б. Подэтажно-камерной в восходящем порядке отработки, при которой до 50 % образованных пустот заполняются твердеющей закладкой, оставшаяся часть заполняется пустой породой с горнопроходческих работ (вариант системы разработки, предложенной ОАО «Уралмеханобр»);

Вариант – В. Подэтажно-камерной со сплошной выемкой, при которой до 20 % образованных пустот заполняются твердеющей закладкой (в виде инъекционного упрочнения стенок закладочного массива) и до 80 % – пустой породой с горнопроходческих работ и с отвалов на земной поверхности (разрабатываемая система разработки).

Сравнительный технико-экономический анализ предусматривал оценку себестоимости очистных работ при различных вариантах систем разработки (рис. 11). Расчет проводился исходя из основных переменных статей затрат.

Технико-экономический анализ показал целесообразность перехода на восходящий порядок ведения очистных работ (варианты Б, В). В качестве инертного заполнителя закладочной смеси для заполнения выработанного пространства рекомендуется применять горную породу из отвалов и горнопроходческих работ. Это позволяет утилизировать до 500 тыс.т./год отвальных пород и до 100 тыс.т./год породы с горнопроходческих работ.

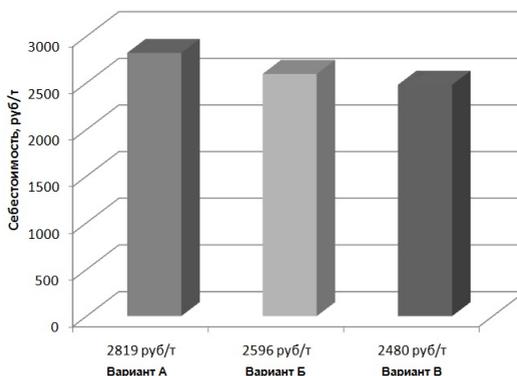


Рисунок 11 – Показатели себестоимости очистной выемки (руб/т) по вариантам систем разработки

Переход от традиционной системы разработки рудника (Вариант А) к вариантам с частичной закладкой твердеющей смесью (Варианты Б и В) обеспечивает значительную экономию затрат при сохранении безопасности горных работ. При годовой добыче 500 000 тонн руды, Вариант Б позволяет сократить расходы на 112 млн. рублей (7,9% от общей стоимости), а Вариант В – на 169,5 млн. рублей (12%). Эти результаты свидетельствуют о высокой экономической эффективности предложенных технологических решений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, являющейся завершенной научно-квалификационной работой, дано решение актуальной научно-практической задачи повышения экономической эффективности очистных работ за счет снижения объема высокозатратных твердеющих смесей при применении камерных систем разработки с искусственным поддержанием выработанного пространства путем инъекционного упрочнения сухой породной закладки, имеющей важное значение для науки и практики горнорудной промышленности.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. На основе анализа и обобщения опыта разработки рудных месторождений подземным способом камерными системами разработки с закладкой выработанного пространства установлено, что эффективность освоения крутопадающих рудных залежей средней мощности камерными системами разработки обеспечивается за счет технологии инъекционного упрочнения при одновременном укреплении пород висячего и лежачего боков в районе инъектирования.

2. Установлено, что уменьшение угла наклона стенки камеры в сторону выработанного пространства и уплотнение закладочного массива взрыванием зарядов в зажиме обеспечивает дополнительный коэффициент запаса устойчивости равный 1,3 при расположении первого ряда скважин на расстоянии 1,1 м от искусственного массива.

3. Дано обоснование параметров устойчивости всячего бока камеры за счет соблюдения отношения площади укрепленного массива и сухой породной закладки, равным 1/3.

5. Установлено, что расположение закладочных скважин в рудном массиве последующей обрабатываемой камеры обеспечивает увеличение линии наименьшего сопротивления в 1,5 раза и сокращение количества взрывных скважин в 1,8 раза.

6. Разработана новая конструкция варианта этажно-камерной системы разработки с сухой породной закладкой выработанного пространства и инъекционным упрочнением.

7. Научно обоснованы зависимости: толщины укрепленного слоя от длины и высоты камеры, прочности закладочного массива от расстояния удаления инъектора, прочности закладочного массива от водоцементного соотношения.

8. Выполнена технико-экономическая оценка эффективности предложенных решений. Расчетами установлено, что при годовой добыче 500 000 тонн руды предлагаемый вариант позволяет сократить эксплуатационные расходы, по сравнению с традиционной этажно-камерной системой разработки с полной закладкой выработанного пространства, на 169,5 млн. рублей или на 12%.

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

***В рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ:***

1. Практика совершенствования системы разработки горизонтальными слоями с гидрозакладкой при отработке крутопадающего жильного месторождения / Н.Г. Валиев, В.Х. Беркович, В.Д. Пропп, **Е.В. Боровиков** // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2020. – № 1. – С. 171-182.

2. Обоснование технологических схем отработки месторождения с учетом техногенного преобразования / А.М. Мажитов, И.А. Пыталев, **Е.В. Боровиков**, Г.Д. Першин // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2021. – № 4. – С. 5-14.

3. Боровиков, Е. В. Технология формирования закладочного массива с заданными геотехническими характеристиками / **Е.В. Боровиков**, А.М. Мажитов // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2023. – № 2. – С. 52-61.

4. Метод одностадийной проходки восстающего при одновременном формировании отрезногокомпенсационного пространства / А.М. Мажитов, И.А. Пыталев, Д.В. Доможиров, **Е.В. Боровиков** // Рациональное освоение недр. – 2022. – № 5(67). – С. 46-51.

***В патентах РФ:***

5. Патент № 2723812 С1 Российская Федерация, МПК Е21С 41/22. Способ разработки пологих и наклонных удароопасных рудных месторождений: № 2019136592: заявл. 13.11.2019; опубл. 17.06.2020 / Н.Г. Валиев, В.Х. Беркович, В.Д. Пропп, **Е.В. Боровиков** [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный горный университет».

6. Патент № 2796992 С1 Российская Федерация, МПК E21F 15/00. Способ разработки наклонных и крутопадающих рудных тел средней мощности: № 2022114953: заявл. 01.06.2022: опубл. 30.05.2023 / А.М. Мажитов, И.А. Пыталев, В.В. Якшина, **Е.В. Боровиков** [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский университет науки и технологий».

***В прочих изданиях:***

7. Оценка эффективности системы планирования на предприятиях горнодобывающей отрасли / Г.Н. Соколова, А.Б. Болатова, А.К. Турсунбаева, **Е.В. Боровиков** // Актуальные вопросы экономики и современного менеджмента: сборник научных трудов по итогам III международной научно-практической конференции, Самара, 11 апреля 2016 года. – Самара: Инновационный центр развития образования и науки, 2016. – С. 232-234.

Подписано в печать \_\_\_\_\_  
Усл. печ. л. 2,0.

Формат 60x84/16.  
Тираж 100 экз.

Бумага тип. №1.  
Заказ \_\_\_\_\_

Участок оперативной полиграфии ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»  
455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38