

# **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

на диссертацию

**Яковлева Ильи Владимировича**

на тему: **«Обоснование параметров логистической системы подземного рудника при освоении глубокозалегающих месторождений калийных солей с монолитной закладкой выработанного пространства»**,

представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальностям 2.8.7 – Теоретические основы проектирования горнотехнических систем, 2.8.8 – Геотехнология, горные машины

## **1. Актуальность темы диссертации**

Развитие горно-химической промышленности и устойчивый рост мирового спроса на калийные удобрения обуславливают необходимость вовлечения в разработку глубокозалегающих месторождений калийных солей с усложняющимися горно-геологическими и геомеханическими условиями. В таких условиях критически важной становится проблема обеспечения устойчивости горнотехнических конструкций, безопасности ведения горных работ и повышения полноты извлечения запасов за счёт вовлечения в эксплуатацию целиков при применении монолитной закладки на основе солеотходов.

Традиционные для соляных месторождений схемы гидравлической закладки в условиях больших глубин и сложных геомеханических обстановки сопровождаются рисками деградации целиков, ухудшения состояния выработок и изменения свойств вмещающих пород под воздействием рассолов. Это объективно требует перехода к новым логистическим решениям, обеспечивающим надёжное формирование монолитных закладочных массивов и устойчивую работу закладочных комплексов при транспортировании закладочных материалов на значительные глубины (свыше 1100 м) и протяженные расстояния более (10 км). В этом контексте поставленная в диссертации задача обоснования параметров логистической системы подземного рудника для освоения глубокозалегающих калийных месторождений представляется актуальной и значимой для горнодобывающей отрасли.

## **2. Общая характеристика работы**

Диссертация представлена на 175 страницах машинописного текста, включает введение, четыре главы, заключение, содержит 39 рисунков и 24 таблицы, список литературы из 145 наименований, а также приложения.

Во введении к диссертации обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цели и задачи, определены объект и предмет, раскрыта идея работы,

приведены защищаемые положения, выносимые на защиту, представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость, данные о реализации результатов и апробации, представлена структура диссертации.

В первой главе проведено обобщение опыта формирования монолитных закладочных массивов при подземной разработке соляных и рудных месторождений, рассмотрены технологии льдопородной, твердеющей, бутобетонной и гидравлической закладки, показаны их преимущества и ограничения, в том числе применительно к водорастворимым полезным ископаемым. Отдельное внимание уделено специфике закладки при разработке глубокозалегающих калийных месторождений, требованиям к составу и свойствам закладочных смесей, а также обзору логистических решений при транспортировании закладочных материалов и смесей. По итогам анализа сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

Во второй главе развиты научно-методические основы формирования логистической системы подземного рудника с закладкой: уточнено понятие логистической системы рудника, выделены её модули: поверхностный, вертикальный, горизонтальный, камерный, предложена классификация логистических схем закладочных работ в зависимости от способов транспортирования, глубины, расстояния и места размещения модуля обезвоживания. Разработана методика определения параметров логистической схемы, представлен математический аппарат расчёта рациональных параметров горнотехнической системы, а также программа-методика опытно-промышленных исследований системы гидротранспортирования компонентов закладочной смеси.

Третья глава посвящена исследованию параметров логистической системы закладки на подземном Гремячинском руднике. Представлены результаты лабораторных исследований физико-механических и реологических свойств закладочных материалов на основе селеотходов при различной их влажности, выполнен анализ цикличной, циклично-поточной и поточной логистических схем транспортирования, рассмотрены технологические параметры транспортирования закладочных материалов и смеси, обоснованы параметры демпферных устройств и условий перепуска материала по вертикальному трубопроводу. Разработан алгоритм выбора логистической схемы закладочных работ рудников по добыче калийных солей.

В четвёртой главе выполнено технико-экономическое обоснование вариантов логистической системы на примере Гремячинского рудника, обоснован выбор горно-транспортного оборудования, рассчитаны и выполнено сравнение технико-экономических показателей цикличной, циклично-поточной и поточной схем, показана

предпочтительность поточной схемы по критерию приведённых затрат и энергоёмкости. Разработана и рекомендована календарно-сетевая модель внедрения поточной схемы.

В заключении приведены основные результаты, выводы и сформулированы рекомендации по проектированию логистической системы закладочных работ при разработке глубокозалегающих калийных месторождений.

### **3. Оценка обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Автором сформулированы четыре научных положения, выносимых на защиту.

Первое научное положение: «Обоснованный выбор параметров логистической схемы закладки при разработке глубокозалегающих месторождений калийных солей обеспечивается применением методики, построенной на принципах учёта влажности закладочной смеси и влияния динамических нагрузок на физико-механические свойства солеотходов» (п. 2 паспорта специальности 2.8.7). Обоснованность этого положения подтверждается разработанной во второй главе методикой определения параметров логистической схемы, включающей учёт влажности закладочного материала, условий его транспортирования и перепуска, а также влияние динамических нагрузок на уплотнение и реологические свойства солеотходов. В работе использованы данные лабораторных исследований влажности, плотности, фракционного состава и деформационных характеристик закладочной смеси, результаты которых далее интегрированы в расчётные зависимости параметров транспортируемых материалов и смеси, учтенные в алгоритме выбора логистической схемы. Корректность первого положения подтверждается согласованностью теоретических выкладок, экспериментальных данных и их последующего применения при формировании схем транспортирования закладочных материалов.

Второе научное положение: «Прогнозирование физико-механических свойств солеотходов в ходе транспортирования в зависимости от влажности и динамических нагрузок должно проводиться на основе разработанной математической модели, которая позволяет учитывать процессы самоуплотнения материала, снижая риск его неравномерного осаждения и изменения реологических характеристик» (п. 8 паспорта специальности 2.8.8). Данное положение опирается на разработанный в главе 2 математический аппарат и уточняющие в главе 3 результаты исследований, где на основе лабораторных испытаний по компрессионному сжатию и пенетрации солеотходов при различной влажности построены зависимости относительных вертикальных деформаций от удельной нагрузки. Эти зависимости использованы для моделирования процессов самоуплотнения закладочных материалов при перепуске по вертикальным трубопроводам и накоплении в бункерах. Сходимость расчётных результатов с экспериментальными

данными, а также их использование для определения допустимой высоты перепуска и параметров оборудования свидетельствуют о достаточной степени обоснованности и достоверности защищаемого научного положения.

Третье научное положение: «Оптимизация параметров вертикального трубопроводного транспорта закладочных смесей с применением разработанных демпферных устройств позволяет снизить динамические нагрузки на закладочный трубопровод и предотвратить преждевременную консолидацию солеотходов в бункерах-накопителях, что обеспечивает повышение надёжности логистической системы рудника» (п. 15 паспорта специальности 2.8.8). Его обоснованность базируется на результатах исследований, приведённых в третьей главе, где на основании экспериментально установленных зависимостей деформаций закладочных материала от нагрузки и влажности выведена расчётная формула для определения количества демпферных гасителей в зависимости от общей высоты перепуска и влажности солеотходов. В работе рассмотрены различные вариации уровни влажности (0,05–8%), показано изменение критической высоты перепуска и проанализировано влияние применения демпферных устройств на условия работы вертикального трубопровода и бункеров. Достоверность защищаемого положения подтверждается согласованием лабораторных данных, расчётных оценок и логической связью с требованиями надёжности и безотказности работы закладочного комплекса.

Четвёртое научное положение: «Обоснование логистической схемы закладочных работ» при разработке глубокозалегающих месторождений калийных солей должно осуществляться на основе сравнительного технико-экономического анализа гидравлического, сухого и комбинированного способов транспортирования закладочного материала и смеси с применением средств механизации цикличного, поточного и циклично-поточного принципа действия, при этом достаточным критерием выбора предпочтительного варианта логистической схемы является минимум удельных энергетических затрат на перемещение в выработанное пространство 1 м<sup>3</sup> закладочной смеси» (п. 3 паспорта специальности 2.8.7). Обоснованность этого положения обеспечена выполненным в четвёртой главе расчётом технико-экономических показателей для трёх сравниваемых вариантов логистических схем (циклической, циклично-поточной и поточной) применительно к условиям Гремячинского рудника, с учётом капитальных и эксплуатационных затрат, энергоёмкости транспортирования и производительности закладочного комплекса. Применение критерия минимизации удельных энергетических затрат для выбора предпочтительного варианта подтверждено сопоставлением

приведённых затрат и энергоёмкости для каждого варианта схемы, что демонстрирует его практическую применимость и методическую корректность.

В целом, достоверность научных положений, выводов и рекомендаций в диссертации подтверждается корректной постановкой задач, использованием комплекса теоретических, расчётных, экспериментальных и технико-экономических методов, а также согласованностью результатов лабораторных исследований, математического моделирования и практических расчётов для условий Гремячинского месторождения. Представленный объём исходных данных, логика перехода от теории к прикладным рекомендациям и отражённая в работе апробация результатов позволяют считать научные выводы и рекомендации в достаточной степени обоснованными для их использования при проектировании логистических систем закладочных работ при разработке глубокозалегающих месторождений калийных солей.

#### **4. Научная новизна**

К числу результатов, обладающих признаком научной новизны, относятся:

- предложенная классификация логистических схем закладочных при разработке калийных месторождениях, учитывающая способ транспортирования закладочного материала и смеси, глубину залегания, расстояние транспортирования и размещение модуля обезвоживания с учётом специфики солеотходов.
- методика обоснования параметров рациональной логистической схемы с учётом влажности смеси, влияния динамических нагрузок на физико-механические свойства солеотходов и удельного энергопотребления на транспортирование закладочных материалов в выработанное пространство.
- математическая модель прогнозирования физико-механических свойств солеотходов в процессе транспортирования, учитывающая процессы самоуплотнения материала.
- методика оценки допустимой высоты одиночного перепуска компонентов закладочной смеси по вертикальному трубопроводу с применением демпферных гасителей, выраженная в виде регрессионной зависимости количества демпферов от влажности материала и общей высоты перепуска.

Указанные результаты вносят значимый вклад в развитие теории логистики и проектирования рудников с применением закладки на месторождениях калийных солей.

#### **5. Практическая значимость**

Практическая значимость работы заключается в разработке рекомендаций по выбору и обоснованию параметров логистической системы закладочных работ для Гремячинского рудника, включающих: структуру логистической схемы, параметры транспортного

оборудования, требования к демпферным устройствам и бункерам-накопителям, а также технико-экономически обоснованный выбор поточной схемы транспортирования складочного материала как предпочтительной.

Отмечается возможность использования предложенных методик и рекомендаций при проектировании и модернизации логистических систем складочных работ на других глубокозалегающих месторождениях калийных солей и, в ряде случаев, других видов водорастворимого минерального сырья при соответствующей адаптации проектных решений.

## **6. Замечания по содержанию и оформлению диссертации**

Стремясь к строгости оценки, считаю необходимым отметить следующие замечания по диссертации:

По содержанию диссертации:

1. Границы применимости разработанной математической модели прогнозирования свойств солеотходов по высоте перепуска и производительности комплекса описаны преимущественно качественно. Количественные оценки погрешностей и чувствительности модели к изменению исходных параметров в автореферате и тексте диссертации приведены в общем виде.
2. Классификация логистических схем (гл. 2.1) формально универсальна, но фактически приведена и протестирована на примере одного месторождения Гремячинского. Непонятно какие элементы классификации и критерии перехода между классами схем являются специфичными для калийных солей, а какие могут быть применены, скажем, к каменной соли или смешанным соляным толщам без существенной переработки?
3. Вопрос верификации расчётных зависимостей по высоте перепуска и количеству демпферных устройств по результатам опытно-промышленной эксплуатации, по сути, ограничен ссылками на лабораторные и расчётные данные. Между тем реальные эксплуатационные наблюдения, такие как нештатные ситуации, осадка материала и случаи закупорки, могли бы существенно усилить аргументацию.
4. В разделе по опытно-промышленным исследованиям системы гидротранспортирования (гл. 2.4 и 3.5) описана программа-методика, но фактические результаты (конкретные участки, протяжённость, время наблюдений, число зафиксированных отказов/засоров) сведены к общему виду. Сколько именно часов/смен/месяцев эксплуатации легло в основу выводов о надёжности и устойчивости поточной схемы?

5. Методика технико-экономического сравнения вариантов логистических схем опирается на приведённые затраты, но в тексте диссертации нет явного анализа структуры этих затрат (доля капитальных, эксплуатационных, энергетических, ремонтных). Как изменится выбор предпочтительного варианта при, например, росте стоимости электроэнергии или капитальных вложений на 20–30%?

По структуре и оформлению диссертации:

6. В ряде мест (особенно в гл. 1) наблюдается перегруженность текста большой совокупностью литературных обзоров по разным типам закладки льдопородная, бутобетонная, твердеющая и т.д., при этом связка этих обзоров именно с задачей логистики подземного калийного рудника обозначена довольно кратко. Это создаёт ощущение некоторой диспропорции между объёмом обзора и объёмом собственных разработок.

Отмеченные замечания, несмотря на их критический характер, не умаляют общей научной ценности и практической значимости выполненной работы, а указывают на направления её дальнейшего развития и уточнения.

## **7. Заключение**

В целом диссертационная работа Яковлева Ильи Владимировича является завершённым научно-квалификационным исследованием, в котором решена актуальная научно-техническая задача обоснования параметров логистической системы подземного рудника при освоении глубокозалегающих месторождений калийных солей с монолитной закладкой выработанного пространства. Полученные результаты обладают научной новизной, достаточной степенью обоснованности и подтверждённой практической значимостью.

Диссертация соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальностям 2.8.7 – «Теоретические основы проектирования горнотехнических систем» и 2.8.8 – «Геотехнология, горные машины». Автор диссертации, Яковлев Илья Владимирович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по указанным специальностям.

Официальный оппонент, д-р техн. наук, профессор,  
эксперт проектного офиса

«Композиты для строительства» АО «ВНИИСВ»

Адрес: 170032, Россия, Тверская область, город

Тверь, Московское шоссе, 157

E-mail: eugen.kuzmin2017@yandex.ru

Кузьмин Евгений Викторович

Моб. тел: 8-915-043-91-79

Я, Кузьмин Евгений Викторович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

« 18 » февраля 2026 г.



Заместитель генерального директора по персоналу и организационному развитию

В.С.Короткова

