

## **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»**

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

### **1. Актуальность избранной темы**

Диссертация Яковлева Ильи Владимировича направлена на решение актуальной научно-практической задачи обоснования параметров логистической системы подземного рудника при разработке глубокозалегающих месторождений калийных солей с монолитной закладкой выработанного пространства. В условиях роста мирового спроса на калийные удобрения и необходимости вовлечения в разработку глубокозалегающих запасов солей особенно остро встают вопросы повышения эффективности и безопасности подземных горных работ, устойчивости закладочных массивов и утилизации отходов обогащения.

Работа выполнена на примере Гремячинского месторождения калийных солей, характеризующегося сложными горно-геологическими и геомеханическими условиями, а также значительной глубиной разработки. В таких условиях традиционные схемы гидравлической закладки демонстрируют ряд серьёзных ограничений (деградация целиков, ухудшение свойств вмещающих пород под действием рассолов), что требует разработки новых технологических решений для формирования монолитных закладочных массивов на основе солеотходов. Выбор рациональной логистической схемы рудника и её параметров становится ключевым фактором устойчивого функционирования горнотехнической системы.

### **2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Автором получен комплекс новых положений, имеющих важное теоретическое и прикладное значение.

1. Показано, что *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 положения

подтверждается разработанной методикой (гл. 2), включающей анализ структуры логистической системы, учёт свойств материала и условий транспортирования, а также результатами лабораторных исследований влажности, плотности, фракционного состава и деформационных характеристик солеотходов и закладочной смеси на их основе.

2. Сформулировано положение о том, что *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). Его обоснованность основана на комплексе лабораторных испытаний (компрессионное сжатие, пенетрация при различной влажности), статистической обработке данных и получении регрессионных зависимостей, использованных далее при расчёте параметров логистической схемы рудника.
3. Утверждение о том, что *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), подтверждено расчётами критической высоты перепуска и количества демпферных устройств в зависимости от влажности материала, а также анализом режимов работы вертикального трубопровода и бункеров при различных вариантах компоновки.
4. *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 циклического, 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 положения доказана в гл. 4, где выполнено сопоставление циклической, циклично-поточной и поточной схем закладки по приведённым затратам и энергоёмкости, применительно к условиям

Гремячинского рудника.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций в целом подтверждается корректной постановкой задач, сочетанием аналитических, экспериментальных и расчётных методов, а также логической связью между теоретическими моделями, лабораторными данными и технико-экономическими расчётами.

### **3. Значимость для науки и практики полученных результатов**

К наиболее значимым научным и практическим результатам диссертации следует отнести:

- развитие понятийного аппарата и структуры логистической системы подземного рудника с выделением поверхностного, вертикального, горизонтального и камерного модулей, что позволяет рассматривать закладочные работы как единую интегрированную логистическую схему управления минерально-сырьевыми и возвратными потоками;
- разработку классификации логистических схем закладочных работ при освоении соляных месторождений, учитывающей способы транспортирования закладочного материала и смеси, глубину залегания месторождения, расстояния транспортирования, размещение модуля обезвоживания и специфику солеотходов как основы монолитного закладочного массива;
- создание математической модели прогнозирования физико-механических свойств солеотходов в процессе их транспортирования с учётом процессов самоуплотнения, опирающейся на результаты компрессионных и пенетрационных испытаний материала при различной влажности;
- разработку методики оценки допустимой высоты одиночного перепуска закладочного материала по вертикальному трубопроводу и определения количества демпферных устройств в зависимости от влажности и высоты перепуска;
- обоснование рациональной логистической схемы закладочных работ для Гремячинского рудника на основе сопоставления цикличной, циклично-поточной и поточной схем по критерию приведённых затрат и энергоёмкости, а также построение рекомендательной календарно-сетевой модели реализации поточной схемы;
- формирование системы рекомендаций по выбору типов и параметров транспортного оборудования, необходимых для реализации выбранной логистической схемы при разработке глубокозалегающих калийных месторождений.

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и модернизации логистических систем закладочных работ на действующих и перспективных калийных рудниках, а также в учебном процессе при подготовке специалистов по геотехнологии и проектированию горнотехнических систем.

#### **4. Конкретные рекомендации по использованию результатов**

Результаты диссертационной работы целесообразно использовать:

- при разработке и корректировке проектной документации на освоение глубокозалегающих калийных месторождений с монолитной закладкой выработанного пространства, в том числе на Гремячинском руднике;
- при выборе и обосновании параметров логистических схем закладочных работ (структуры системы, типа и производительности транспортного оборудования, параметров вертикального и горизонтального транспорта, требований к бункерам-накопителям и демпферным устройствам);
- в качестве методической основы для оценки и сравнения вариантов логистических схем по критериям энергоёмкости, надёжности и технико-экономических показателей;
- в образовательном процессе вузов по направлениям «Горное дело», «Геотехнология», «Проектирование горнотехнических систем» для иллюстрации современных подходов к логистике подземных рудников и закладочным технологиям.

#### **5. Оценка содержания диссертации, её завершенность**

Диссертация является завершённым научным исследованием, изложена последовательно, с применением современной терминологии, принятой в горном деле и логистике. Работа включает введение, четыре главы, заключение, список литературы и приложения, общим объёмом 175 страниц, содержит 39 рисунков и 24 таблицы, наглядно иллюстрирующих результаты аналитических, экспериментальных и расчётных исследований.

Текст диссертации в целом оформлен корректно, таблицы и графический материал читаемы, ссылки на литературные источники приведены в соответствии с действующими требованиями. Автореферат по содержанию соответствует диссертации, отражает цель, задачи, научную новизну, практическую значимость и основные выводы работы. Содержание автореферата соответствует диссертации. По теме диссертации опубликованы в 11 работах, 5 из которых – в изданиях, рекомендуемых ВАК., что свидетельствует о достаточной степени апробации и признания полученных результатов научным сообществом.

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

При всех достоинствах работы следует отметить ряд замечаний, носящих уточняющий характер.

1. В диссертации подробно проанализированы три варианта логистических схем – цикличная, циклично-поточная и поточная, однако, практически не затронут вопрос изменчивости логистической схемы во времени по этапам освоения месторождения.

Представляется целесообразным уточнить, насколько предлагаемая поточная схема остаётся оптимальной на начальных, переходных и завершающих стадиях разработки месторождения при изменении расположения очистных блоков.

2. При формулировании критериев выбора логистической схемы в качестве основного критерия принят минимум удельных энергетических затрат, в то время как для закладочных работ значимыми являются также показатели ремонтпригодности и отказоустойчивости оборудования. Было бы полезно пояснить, рассматривались ли альтернативные многокритериальные подходы (например, с учётом надёжности и рисков простоев) и почему выбран именно энергетический критерий как достаточный.

3. В работе логистическая система рудника рассматривается преимущественно с точки зрения материальных потоков, таких как закладочный материал, солеотходы, рассолы. Информационные потоки, а также системы оперативного управления, диспетчеризации, мониторинга уровня заполнения бункеров и состояния трубопроводов затронуты лишь фрагментарно. Уточнение роли и требований к информационной подсистеме логистики позволило бы приблизить предложенную математическую модель к современным концепциям «умного рудника».

4. В диссертации показано, что свойства солеотходов существенно зависят от влажности и условий перепусков и накопления, однако вопросы старения материала изменения свойств при длительном хранении в отвале или бункерах практически не рассмотрены. Требуется дополнительное пояснение, как могут повлиять процессы длительной выдержки, кристаллизации, слёживания на работоспособность предложенной логистической схемы и требуется ли корректировка параметров при переработке лежалых отвалов?

5. Предложенная классификация логистических схем закладочных работ носит универсальный характер, однако критерии отнесения конкретного объекта к тому или иному классу изложены преимущественно в описательной форме. Представляется целесообразным усилить количественную сторону классификации (пороговые значения глубины, протяжённости, производительности), что повысило бы воспроизводимость выбора класса логистической схемы различными проектными организациями.

6. В главах, посвящённых технико-экономическому сравнению вариантов логистических схем, практически отсутствует обсуждение влияния возможных изменений геолого-экономических условий, таких как снижение цены на конечную продукцию, рост стоимости энергии, необходимость увеличения доли закладочных работ. Было бы полезно показать, насколько устойчивы полученные выводы при изменении внешних условий, что особенно актуально для долгосрочных проектов освоения глубокозалегающих

месторождений.

Указанные замечания не снижают общей научной и практической значимости работы, а указывают направления её дальнейшего развития и углубления.

### **7. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении учёных степеней**

Оценивая диссертацию Яковлева Ильи Владимировича, следует отметить, что она представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой решена актуальная научно-практическая задача обоснования параметров логистической системы подземного рудника при освоении глубокозалегающих месторождений калийных солей с монолитной закладкой выработанного пространства. Полученные результаты обладают научной новизной, теоретической и практической значимостью, соответствуют направлениям, отражённым в паспортах специальностей 2.8.7 и 2.8.8.

Диссертация отвечает требованиям пп. 9–14 «Положения о присуждении учёных степеней» (утв. постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842) и заслуживает положительной оценки, а её автор, Яковлев Илья Владимирович, достоин присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальностям 2.8.7 – «Теоретические основы проектирования горнотехнических систем» и 2.8.8 – «Геотехнология, горные машины».

Официальный оппонент, кандидат технических наук,  
заместитель директора по инжинирингу единого  
проектного офиса крупных инвестиционных проектов  
АО «Алмалыкский ГМК»  
АО «Алмалыкский ГМК»  
Адрес: 110100, Республика Узбекистан, Ташкентская  
область, г. Алмалык, ул. Амира Темура, 53А  
Телефон: +998 50 666 94 37  
e-mail: vav\_19@list.ru

Власов Антон Владимирович

Я, Власов Антон Владимирович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

«23» февраля 2026 г.

Подпись Власова А.В. удостоверяю  
Директор единого проектного офиса  
крупных инвестиционных проектов  
АО «Алмалыкский ГМК»



Машьянов А.К.