

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.096.02,
созданного на базе
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук
(ИПКОН РАН),
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук**

аттестационное дело № _____

Решение диссертационного совета от 11 марта 2026 г., протокол № 3Д/26

О присуждении Яковлеву Илье Владимировичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «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» принята к защите 10 декабря 2025 г. протоколом № 4Д/25 диссертационным советом 24.1.096.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук (ИПКОН РАН), г. Москва, Крюковский тупик, д. 4, утвержден приказом Минобрнауки России 1980/нк от 18.10.2023 г.

Соискатель – Яковлев Илья Владимирович, гражданин РФ, 1998 г. рождения. В 2022 г. окончил ФГАОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» с присвоением квалификации «Горный инженер» (специалист) по специальности 21.05.04 «Горное дело». С 2022 г. по настоящее время является аспирантом очной формы обучения по группе научных специальностей 2.8 «Недропользование и горные науки», научная специальность 2.8.8 «Геотехнология, горные машины». С 2025 г. по настоящее время работает специалистом по календарно-сетевому планированию в горном департаменте ООО «Горнодобывающая компания Баимская» (г. Москва).

Диссертация выполнена в Отделе проблем моделирования и управления горнотехническими системами ИПКОН РАН (г. Москва).

Научный руководитель – профессор, доктор технических наук Рыльникова Марина Владимировна, главный научный сотрудник отдела проблем моделирования и управления горнотехническими системами

ИПКОН РАН.

Официальные оппоненты:

1) Кузьмин Евгений Викторович – профессор, доктор технических наук, эксперт проектного офиса «Композиты для строительства» АО «Научно-исследовательский институт синтетического волокна с экспериментальным заводом» (ВНИИСВ), (г. Тверь);

2) Власов Антон Владимирович – кандидат технических наук, заместитель директора по инжинирингу проектного офиса крупных проектов АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат», (г. Алмалык).

Официальный оппонент - доктор технических наук Кузьмин Е.В. в своем **положительном отзыве** отмечает, что диссертация Яковлева И.В. 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. При этом отзыв содержит следующие замечания: 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%?; 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.

В то же время официальный оппонент отмечает, что высказанные 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.

Официальный оппонент - кандидат технических наук Власов А.В., в своём **положительном отзыве** отмечает, что диссертация Яковлева И.В. 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. Вместе с тем отзыв включает следующие замечания: 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 пояснения, 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.

В то же время официальный оппонент отмечает, что указанные замечания не снижают общей научной и практической значимости работы, а указывают направления её дальнейшего развития и углубления.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук (г. Екатеринбург), **дала положительный отзыв**, утверждённый директором ИГД УрО РАН, доктором технических наук - Соколовым Игорем Владимировичем и подписанный Смирновым Алексеем Алексеевичем, старшим научным сотрудником лаборатории подземной геотехнологии, кандидатом технических наук и Журавлевым Артемом Геннадиевичем, заведующим лабораторией транспортных систем карьеров и геотехники, кандидатом технических наук. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная научная задача разработки методики и обоснования параметров логистической схемы

закладочных работ, позволяющей максимально эффективно использовать ресурс недр при минимальном воздействии на окружающую среду, что имеет важное значение для расширения материально-сырьевой базы России. Вместе с тем, в отзыве содержится ряд замечаний: 1. Текст диссертации недостаточно отредактирован, включает материалы, напрямую не относящиеся к теме диссертации (например, описание льдопородной и бутобетонной закладки и др.), характерны многочисленные повторы одних и тех же положений. Ряд используемых терминов требует пояснений (например, «техническая камера», «консолидация», «возвратный ресурсный поток»). Имеются некоторые противоречия, не имеющие пояснений в тексте работы (например, в одном месте указана рациональная вместимость бункеров 300–500 м³, в другом – дано расчётное значение 156 т); 2. Автором введена система терминов «логистическая схема» и «логистическая система». Однако имеется сложившаяся терминология, например, «технологическая схема транспорта». Рекомендуется придерживаться общепринятых терминов и вводить новые только при недостатке существующих. В работе такая необходимость не раскрыта. Кроме того, автор заявил в названии работы «логистическую систему подземного рудника», подразумевая под этим не только основные технологические грузопотоки, но также и вспомогательные материалы, доставку людей и даже передачу информации (с. 54 диссертации). Целесообразным было ограничить название работы фактически исследованной автором частью вышеуказанной системы; 3. Общая схема гидротранспорта солеотходов и его расчет в целом не вызывают возражений, хотя непонятно, что в данном случае имеет в виду автор под прямыми и возвратными грузопотоками. При этом технология размещения закладки в камере чрезмерно усложнена: в общепринятой практике при гидротранспорте закладки пульпа выливается из трубопровода в верхней точке камеры и заполняет ее, излишняя жидкость удаляется через установленные в камере перемычки. Однако, автор предлагает сначала осушить закладку в гидроциклоне и затем разместить ее в камере с помощью метателя, при этом избыток рассола собирается в приямок в камере. Обоснование целесообразности такой технологии закладки в диссертации не приводится; 4. При разработке вариантов логистики сухой закладки автором выполнены исследования изменения ее структуры и состояния в процессе транспортировки. В частности, изучалась зависимость степени деформации сыпучего материала от нагрузки. Однако, в диссертации на рисунке 3.3 показана зависимость удельной нагрузки от деформации сыпучих материалов, что искажает восприятие результатов исследований. Кроме того, в качестве характеристики материала следовало принять не насыпную плотность, а коэффициент его разрыхления; 5. Разработанные автором логистические схемы закладочных работ с

использованием конвейеров и самоходной техники возражений не вызывают, но в последнем случае следовало бы акцентировать внимание на возможности использования одних и тех же машин для транспорта добытой руды и возвратного транспорта закладки; 6. Целесообразность варианта с транспортировкой закладки в мягких контейнерах в диссертации не раскрыта, не показан механизм разгрузки контейнеров в камере и способ обратной доставки пустых контейнеров на поверхность. Предлагаемый автором вариант спуска закладки, затаренной в контейнерах, в скипах труднореализуем, а скорее всего невозможен: скип – сосуд, предназначенный для подъема сыпучего материала (раздробленной породы) при ограниченном горизонтальном сечении и достаточно большой высоте (12–15 м). Использование скипа для спуска контейнеров потребует изменения его конструкции, усложняет и увеличивает длительность загрузки скипа, а главное, делает почти невозможным извлечение контейнеров из скипа, так как нижние из них будут придавлены вышележащими контейнерами. Кстати, в диссертации на рисунке 3.7, где приведена принципиальная схема этого варианта логистики, показан не скип, а многоэтажная клеть; 7. Сделанный на основании экономических расчётов вывод о предпочтительности поточной схемы транспорта закладки выглядит излишне категоричным: при ориентировочном расходе закладки 0,5 м³ на 1 м³ добытой руды и характерной себестоимости подземной добычи около 2000 руб/м³ затраты на транспорт закладки составляют от 1% до 2,5%, что позволяет считать рассмотренные варианты логистики практически равноценными. Следовательно, при выборе оптимального варианта необходимо учитывать неэкономические факторы. Например, при гидротранспорте закладки в условиях наличия пород, склонных к пучению при увлажнении вследствие утечек влаги из трубопровода при его промывке или аварии, возможно нарушение крепи выработок вплоть до полной невозможности их эксплуатации, и в этом случае предпочтение следует отдавать механизированным способам транспортирования закладки.

В отзыве ведущей организации отмечается, что приведенные замечания не снижают научного и практического значения диссертационной работы и не влияют на новизну и обоснованность защищаемых положений.

Представленная к защите диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук соответствует требованиям, предъявляемым в п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, а ее автор, Яковлев Илья Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальностям 2.8.7 – «Теоретические основы проектирования горнотехнических систем», 2.8.8 – «Геотехнология, горные машины».

Автореферат, диссертационная работа и отзыв ведущей организации рассмотрены и одобрены на заседании расширенного семинара лаборатории подземной геотехнологии ИГД УрО РАН «15» января 2026 г., протокол №1.

Выбор ведущей организации и официальных оппонентов осуществлён в соответствии с пунктами 22, 24 Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, и обоснован их широкой известностью в области геотехнологии и теории проектирования горнотехнических систем, активной научной деятельностью и значительным научно-практическим опытом, что подтверждается наличием патентов, публикаций в ведущих рецензируемых изданиях горного профиля и значимыми научными достижениями по тематике, заявленной в диссертационной работе.

Соискатель является автором 12 опубликованных научных работ, в том числе 11 — по теме диссертации. Из них 5 работ опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК, и проиндексированных в международных базах научных знаний Scopus, Web of Science.

Авторский вклад соискателя в публикациях по теме диссертации составляет от 20% до 100%. Вклад соискателя заключается в постановке цели и задач исследования, разработке концепции логистической системы подземного рудника при освоении глубокозалегающих месторождений калийных солей, формировании классификации логистических схем закладочных работ, выполнении экспериментальных и расчётных исследований физико-механических свойств солеотходов и параметров транспортирования закладочных материалов.

В публикациях соискателя в полном объеме отражены результаты диссертации, выводы и обоснованы рекомендации.

В диссертационной работе отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах.

Наиболее значимые результаты изложены в работах:

1. Рыльникова М. В., Яковлев И. В., Сахаров Е. М., Бергер Р. В. Обоснование структуры и параметров логистической схемы подземного рудника при разработке глубокозалегающих месторождений калийных солей системами с закладкой выработанного пространства // Горная промышленность. – 2023. – № 2. – С. 134–139. – DOI 10.30686/1609-9192-2023-2-134-139.

2. Рыльникова М. В., Бергер Р. В., Яковлев И. В., Сахаров Е. М. Классификация технологий закладки для условий подземной разработки соляных месторождений // Горная промышленность. – 2024. – № 5S. – С. 64–70. – DOI 10.30686/1609-9192-2024-5S-64-70.

3. Рыльникова М.В., Бергер Р.В., Яковлев И.В. и др.

Технико-технологические решения по закладке выработанного пространства при отработке глубокозалегающих пластов сильвинита // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2024. – № S2. – С. 167-176. – DOI 10.15372/FTPRPI20240214.

4. Ryl'nikova M.V., Berger R.V., Yakovlev I.V. et al. Backfill Technologies and Designs for Deep-Level Sylvinitic Mining // Journal of Mining Science. – 2024. – Vol. 60, No. 2. – P. 332-340. – DOI 10.1134/S1062739124020145.

5. Рыльникова М.В., Бергер Р.В., Яковлев И.В. Особенности логистической схемы глубокозалегающего месторождения калийных солей с закладкой выработанного пространства на основе складированных солеотходов // Горная промышленность. – 2025. – № 2S. – С. 88–95. – DOI 10.30686/1609-9192-2025-2- 47-54.

6. Яковлев И.В. Обоснование параметров логистической системы Гремячинского рудника с гидравлической схемой транспортирования закладочного массива // Материалы 6 Международной научной школы академика К.Н. Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр» – М.: ИПКОН РАН. – 2024. – С. 246–249.

В научных работах соискателем отражены результаты теоретических изысканий и экспериментальных исследований в области повышения производительности закладочного комплекса калийного рудника, надежности и эффективности его функционирования, обеспечения безопасности горных работ путем обоснования параметров логистической системы калийного подземного рудника.

В диссертации соискатель ученой степени ссылается на авторов и источники заимствования материалов или отдельных результатов. Недобросовестных заимствований нет. Оригинальность текста составляет 91%.

На автореферат диссертации поступило 14 отзывов с положительным заключением, в которых отмечены актуальность выбранной темы, высокая степень проработки вопросов и профессиональный подход к решению поставленных задач. Из 14 отзывов на автореферат диссертации 2 отзыва не содержат замечаний, в 12 отзывах на автореферат диссертации высказаны следующие замечания и вопросы:

1. **ЗЕМСКОВ Александр Николаевич**, доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский, политехнический университет», г. Пермь. 1. В описании программы и методики опытно-промышленных и экспериментальных исследований приведены общие подходы, однако, из автореферата затруднительно оценить количественные результаты по отдельным вариантам

логистических схем и режимам работы оборудования, что снижает восприятие сопоставительного анализа. 2. С учётом практической значимости разработанного алгоритма выбора логистической схемы и математической модели прогнозирования свойств солеотходов их программная реализация в виде модуля системы поддержки принятия решений могла существенно повысить значимость результатов исследования.

2. **КАЛМЫКОВ Вячеслав Николаевич**, доктор технических наук, профессор кафедры разработки месторождений полезных ископаемых Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск. 1. В работе следует подробнее обозначить область применимости предложенных решений по диапазонам глубин, свойствам солеотходов и параметрам транспортных линий, чтобы легче переносить разработанную методику на другие объекты без дополнительных допущений.

3. **НЕУГОМОНОВ Сергей Сергеевич**, доктор технических наук, доцент кафедры строительства и геоконтроля Антрацитовского Института геосистем и технологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Антрацит. 1. Поточная схема транспортирования закладочного материала обоснована как предпочтительная по критерию приведённых затрат и энергоёмкости. Проводился ли анализ чувствительности выбора этой схемы к изменению тарифов на энергоресурсы, производительности закладочного комплекса и длины транспортных линий, и насколько устойчивым остаётся вывод о её приоритетности при варьировании указанных параметров?

4. **БОРИСОВ Александр Владимирович**, главный инженер БКПРУ-4, ПАО «Уралкалий», г. Березники. 1. В автореферате недостаточно явно сформулированы границы применимости разработанных методик и моделей: не в полной мере указано, в каком диапазоне глубин, вариативности производительности закладочного комплекса и свойств солеотходов (влажности, гранулометрического состава) полученные зависимости и рекомендуемые параметры логистической системы сохраняют требуемый уровень и надёжности. Более детальное описание исходных допущений и ограничений сделало бы практическое использование результатов исследования для проектировщиков и эксплуатирующих организаций более удобным и однозначным.

5. **ТКАЧ Сергей Михайлович**, доктор технических наук, директор, главный научный сотрудник лаборатории проблем рационального освоения минерально-сырьевых ресурсов ИГДС СО РАН, г. Якутск. 1. Представленные сведения о математической модели прогнозирования физико-механических

свойств солеотходов в процессе транспортирования носят укрупнённый характер, было бы целесообразно более детально отразить границы применимости модели и чувствительность результатов к изменению исходных параметров. 2. При описании опыта реализации поточной схемы в автореферате ограниченно представлены вопросы интеграции логистической системы с общешахтной системой управления и мониторинга, что важно с точки зрения цифровизации и интеллектуализации процессов закладочных работ.

6. **ГОЛИК Владимир Иванович**, профессор, доктор технических наук, главный научный сотрудник отдела геологии, гидрогеологии и геоэкологии Геофизического института ВНЦ РАН (ГФИ ВНЦ РАН), г. Владикавказ. 1. Защищаемые положения не содержат количественных показателей. 2. Результаты исследований применимы только для глубокозалегающих руд, а при малых глубинах они не применимы? 3. Уравнение количества демпферных гасителей повторено дважды.

7. **РЫБИН Вадим Вячеславович**, доктор технических наук, главный научный сотрудник, доцент руководитель лаборатории Геомониторинга и устойчивости бортов карьеров отдела геомеханики ГоИ КНЦ РАН, г. Апатиты. 1. Для Гремячинского месторождения обоснованы конкретные параметры логистической системы. При этом желательно пояснить, какие элементы предложенных решений, по мнению автора, могут быть непосредственно перенесены на другие глубокозалегающие калийные месторождения, а какие требуют обязательной адаптации и дополнительного расчётного обоснования. 2. В разделе, посвящённом демпферным устройствам и определением допустимой высоты одиночного перепуска, приведены конкретные значения количества гасителей для разных уровней влажности материалов и смесей. Учитываются ли при этом возможные изменения гранулометрического состава солеотходов во времени, и как предлагается корректировать расчёты при изменении фракционного состава компонентов смеси.

8. **ВИЛЬМИС Александр Леонидович**, доктор технических наук, заведующий кафедрой геотехнологических способов и физических процессов горного производства, ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», г. Москва. 1. При моделировании логистической схемы рудника приняты укрупнённые допущения относительно надёжности и простоя транспортного оборудования, учёт вероятностных отказов и резервирования линий мог бы сделать полученные расчёты ещё более приближенными к реальным условиям эксплуатации. 2. Недостаточно раскрыта кинематическая и силовая схема работы отдельных звеньев логистической схемы закладочных работ рудника, полезно было бы более чётко показать, какие именно участки транспортно-закладочного

комплекса являются лимитирующими по пропускной способности.

9. **ГАБАРАЕВ Олег Знаурович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой горного дела ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт» (государственный технологический университет), г. Владикавказ. 1. В ряде таблиц и иллюстраций, характеризующих параметры логистических схем и результаты технико-экономического сравнения, целесообразно более детально пояснить область применимости приведённых значений и их привязку к конкретным горно-геологическим условиям Гремячинского месторождения. 2. Требуется дополнительное раскрытие вопроса адаптации предложенных параметров логистической системы рудника и алгоритма выбора схемы для других месторождений калийных солей с отличающимися глубинами разработки, условиями закладки и структурой рудных тел.

10. **РУСАКОВ Михаил Ильич**, кандидат технических наук, заведующий научно-исследовательской лабораторией технологии закладочных работ и тампонажных материалов АО «ВНИИ Галургии», г. Пермь. 1. Предметом исследования автором выбраны «параметры логистической системы подземного рудника с формированием монолитных закладочных массивов при освоении глубокозалегающих месторождений калийных солей с учётом требований к прочностным, реологическим и деформационным характеристикам солеотходов», однако в тексте автореферата не приведены требования к прочностным, реологическим, деформационным характеристикам. 2. В качестве технического решения автором предложен бункер-накопитель объёмом 139 м³. Необходимо обоснование возможности его реализации (для условий Гремячинского ГОКа) под вертикальным трубопроводом в стволе или в прилегающих к стволу горных выработках в достаточно стеснённых условиях, так как даже при диаметре бункера-накопителя 4 м его высота должна составлять около 10 м. 3. В работе не отражено влияние крупности солеотходов на параметры транспортирования (в том числе гидротранспортом) и на параметры формирования монолитного закладочного массива.

11. **ДОБРОХОТОВ Олег Владимирович**, руководитель управления по горным работам АО «Верхнекамская Калийная Компания», г. Березники. 1. Каковы технологические особенности монтажа буферных устройств по длине трубопровода, в том числе требования к их размещению и креплению? 2. Предусмотрена ли возможность замены или ремонта буферных устройств без остановки закладочных работ, и если да, то каким образом это реализуется технологически?

12. **КУРЧИН Георгий Сергеевич**, доктор технических наук, ООО «НТЦ «Геотехнология», г. Красноярск, **ВОЛКОВ Евгений Павлович**, кандидат

технических наук, ООО «НТЦ «Геотехнология», г. Красноярск. 1. В автореферате обоснована необходимость снижения влажности солеотходов до 0,05% для обеспечения их транспортабельности в сухом виде. Однако из автореферата не совсем ясно, какие дополнительные энергетические или экономические затраты требуются на стадии обезвоживания для достижения указанной влажности, и учитывались ли они в итоговом технико-экономическом сравнении вариантов.

13. **СЕЛЕЗНЕВ Александр Владимирович**, кандидат технических наук, начальник научно-исследовательского отдела горных работ АО «ВНИПИпромтехнологии», г. Москва, **ГАДЖИЕВА Луиза Абду-Самадовна**, кандидат технических наук, ведущий инженер-проектировщик АО «ВНИПИпромтехнологии», г. Москва. Замечаний нет.

14. **КАЧУРИН Николай Михайлович**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Тульский государственный университет, г. Тула. Замечаний нет.

Все отзывы, поступившие на автореферат, положительные. Их авторы согласны с основными результатами исследования и оценивают диссертацию как самостоятельное монографическое исследование.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **разработана** технологическая схема транспорта закладочных материалов на основе солеотходов, учитывающая влажность перемещаемого материала, динамические нагрузки и условия транспортирования на всех звеньях, в совокупности не изменяющая структуру солеотходов, не вызывающая повышенного пыления и обеспечивающая формирование монолитного консолидированного закладочного массива;

- **разработана** методика выбора и обоснования параметров технологических схем транспорта калийного рудника, обеспечивающая требуемую производительность закладочного комплекса, надежность и эффективность его функционирования, безопасность горных работ;

- **разработана** классификация технологических схем закладочных работ, которая базируется на способах транспортирования закладочных материалов (конвейерный, гидравлический, циклический), дифференцирована по глубине залегания калийного пласта, максимально допустимому расстоянию транспортирования и типу модуля обезвоживания отходов обогащения солей, что позволяет адаптировать выбор технологического оборудования и методов укладки закладочного массива под конкретные горнотехнические условия,

включая устойчивость массива горных пород и риски пучения подстилающей толщи;

- **обоснована** комплексная методика математического моделирования параметров транспортной системы грузопотоков закладочных работ, включающая применительно к условиям Гремячинского месторождения моделирование перепуска закладочного материала по вертикальным пульпопроводам диаметром 310 мм, расчет критической (3,28 м/с) и рабочей (3,61 м/с) скоростей движения пульпы с учетом гранулометрического состава, плотности фракций и соотношения Ж:Т 2:1, а также применение методов расчета производительности вертикального трубопровода, с учетом трения материала о стенки и потерь напора, что позволяет минимизировать риски закупоривания и обосновать параметры транспортной схемы закладочного материала для условий глубокозалегающих калийных месторождений;

- **подтверждена** эффективность буферных устройств и демпферных механизмов, включая конические гасители скорости с углом наклона 100° , которые снижают динамические нагрузки на конструктивные элементы вертикального модуля, а также применение вибрационного рыхления с частотой 25-35 Гц для разрушения формируемых первичных кристаллических связей и обеспечения стабильности транспортирования компонентов закладочной смеси, что особенно важно в условиях высокоскоростного перепуска материала по вертикальным трубопроводам;

- **определены** требования к бункерам-накопителям в условиях Гремячинского месторождения, геометрический объем - $139,36 \text{ м}^3$, угол наклона стенок $\geq 50^\circ$, для предотвращения залипания материала, а также интеграцию устройств вибрационного рыхления для ликвидации закупорок, что обеспечивает непрерывность технологического процесса и снижает риск нарушения ритмичности закладочных работ;

- **разработан** алгоритм выбора рациональной технологической схемы транспорта закладочного материала и смесей, который учитывает взаимосвязь таких факторов, как физико-механические свойства закладочных материалов (влажность 0,05 %, гранулометрический состав с преобладанием крупнозернистых фракций 77,93 %), горно-геологические и гидрогеологические условия месторождения, а также горнотехнические особенности, что позволяет минимизировать геомеханические риски и обеспечить максимальную эффективность логистической системы;

- **проведен** технико-экономический анализ разработанной технологической схемы транспорта закладочного материала на калийном руднике, который показал, что поточная схема транспортирования закладочного материала характеризуется минимальными приведенными затратами (296 255

тыс. руб.), что в 1,91 и 3,23 раза ниже, чем для циклично-поточной и циклической схем, соответственно, а также имеет самый низкий уровень энергоемкости транспортирования на 1 м³ закладочного материала, что делает поточную схему предпочтительной для внедрения на Гремячинском ГОКе при производительности 444,17 м³/ч по солеотходам.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- **доказаны** положения, вносящие существенный вклад в развитие теории проектирования и эксплуатации технологических схем транспорта подземных рудников, осваивающих глубокозалегающие месторождения калийных солей;

- впервые **обоснована** и реализована система знаний и подходов, позволяющая эффективно проектировать и формировать транспортную систему грузопотоков при разработке глубокозалегающих месторождений калийных солей. Эта система учитывает последовательность стадий закладки: от организации перемещения закладочных материалов на основе солеотходов с учётом их влажности, динамических нагрузок и физико-механических свойств до математического моделирования процессов самоуплотнения и управления параметрами транспортирования закладочных материалов, а также обеспечивает надёжность и энергоэффективность всей логистической схемы рудника, что в результате позволяет формировать монолитный консолидированный закладочный массив;

- **применительно к проблематике диссертации** результативно использован комплекс базовых методов исследований, включающий сбор, обобщение опыта проектирования и реализации технологических схем транспорта подземного рудника при подземной разработке соляных месторождений с закладкой, проведен обзор и анализ результатов известных научных исследований, практического опыта ведения закладочных работ при освоении глубокозалегающих месторождений калийных солей, требований к составу и свойствам закладочных смесей; проведены экспериментальные исследования с использованием современных методов: анализ параметров производственно-организационной структуры рудника выполнен на основе проектной документации и инструментальных измерений.

- **изложены положения**, свидетельствующие о том, что перемещение закладочных материалов на основе солеотходов организуется как единая транспортная система грузопотоков закладочных работ, учитывающая влажность перемещаемого материала, динамические нагрузки и условия транспортирования на всех звеньях, в совокупности не изменяющая структуру солеотходов, не вызывающая повышенного пыления и обеспечивающая формирование монолитного консолидированного закладочного массива;

Значение полученных соискателем результатов для практики

подтверждается тем, что автором обоснован предпочтительный вариант технологической схемы транспорта закладочных работ на Гремячинском руднике, разработана циклично-поточная технологическая схема транспортирования закладочных материалов для разработки глубокозалегающих месторождений калийных солей, включающая раздельную подачу обезвоженных солеотходов (влажность 0,05 %) и соляных растворов через модульный закладочный комплекс. В составе схемы обосновано применение конических демпферных устройств с двухслойным износостойким покрытием, устройств вибрационного рыхления для предотвращения закупорки бункеров-накопителей, что обеспечивает производительность до 446,6 м³/ч по закладочной смеси.

Результаты исследований рекомендуются к использованию в проектных решениях при выборе технологической схемы транспорта закладочных материалов при отработке Гремячинского месторождения калийных солей.

Обоснованность и достоверность защищаемых положений, выводов и рекомендаций обеспечена обобщением предшествующих научных достижений в области проектирования логистических систем закладки, представительным объемом исходных данных, достоверной сходимостью теоретических математических расчетов с результатами лабораторных исследований и математического моделирования, использованием современного вычислительного оборудования и апробированных методик. Измерения выполнены с применением лазерного дальномера Leica DISTO D510 и маркшейдерской рейки Invar в соответствии с ГОСТ 26433.2-94. Оценка условий труда в подземных выработках осуществлялась по данным запыленности воздуха (пылеуловитель ПКА-01), температуры и влажности (термометры AR-360, гигрометры Venetech GM1362). Геолого-геомеханические факторы изучались путем комплексной съемки нарушений, включая лазерное сканирование и визуальную фиксацию деформаций пород. Физико-механические свойства солеотходов исследовались определением влажности (метод высушивания), насыпной плотности (ГОСТ 32721-2014) и фракционного состава (мокрый ситовой анализ на машине EML 200). Уплотнение солеотходов исследовано на гидравлическом прессе Instron-300DX, склонность к консолидации – пенетрометрическим методом, а износостойкость оценивалась по методике проф. Л.И. Барона и А.В. Кузнецова. Угол естественного откоса определялся с использованием каретки УВТ-3 по методике РСН 51-84. Расчетные методы включали определение параметров логистической системы закладочных работ, прогнозирование уплотнения солеотходов при перепуске, расчет критических скоростей падения в закладочном трубопроводе и расчет режимов работы горного оборудования (скиповые установки,

конвейеры, трубопроводы). На основе результатов полевых и лабораторных исследований разработан алгоритм выбора приоритетной транспортной схемы (ГОСТ 19.701-90), технико-экономическое сравнение вариантов технологических схем транспорта закладочных работ выполнено методом приведенных затрат. Рекомендательная календарно-сетевая модель реализации технологической схемы транспорта закладочных работ составлена в соответствии с ГОСТ Р 56716–2015 и методологией Numeric Schedule Levels.

Личный вклад соискателя состоит в формулировании задач исследований, соответствующих поставленной цели и идее работы, разработке программы и методик исследований, проведении лабораторных и модельных исследований, определении основных параметров, позволяющих сформировать транспортную систему грузопотоков закладочных работ на калийном руднике с учетом определяющих условий и факторов, а также вида закладочных материалов и смесей.

В диссертации, являющейся завершённой научно-квалификационной работой, дано новое решение актуальной научно-практической задачи - обоснованы параметры транспортной системы грузопотоков подземного рудника при освоении глубокозалегающих месторождений калийных солей с монолитной закладкой выработанного пространства, включая средства транспортирования закладочных материалов и смесей в закладываемые камеры, что имеет важное значение для расширения минерально-сырьевой базы горно-химической промышленности России.

В ходе защиты были высказаны следующие критические замечания:

1. В нумерации отзывов допущена техническая ошибка;
2. Недостаточно уделено внимание развитию цифровых и роботизированных геотехнологий закладки;
3. Зачем необходимо вводить малоустоявшуюся терминологию «логистическая схема», «логистическая система» и почему нельзя ограничиться более понятным термином «транспортная схема»;
4. Непонятно, зачем предложена конструкция демпферных устройств, что изменится в состоянии системы, если их не применять;
5. Зачем необходимо вводить новый термин «консолидированная закладка», почему недостаточно известной терминологии;
6. В работе не рассмотрено развитие логистических систем рудника на длительную перспективу.

Соискатель Яковлев Илья Владимирович ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию.

1. Все технические опечатки исправлены;
2. Цифровизация и роботизация технологий будет проведена после

завершения опытно-промышленных испытаний технологии закладки с установлением всех параметров;

3. Логистическая система и логистическая схема – это более широкие понятия по сравнению со схемой транспортирования, так как закладка представляет совокупность большого количества процессов транспортирования и доставки, требующих взаимоувязки;

4. Демпферные устройства необходимы для снижения скорости перемещения смеси и материалов по вертикали, предотвращения разрушения приемных устройств, а также для сохранения гранулометрического состава солеотходов;

5. Консолидированная закладка представляет собой новую технологию формирования монолитного композиционного закладочного массива, в котором прочностные характеристики формируются не за счет твердения, основанного на химических реакциях вяжущего и заполнителя, а за счет процессов кристаллизации солеотходов в заданных условиях подземного рудника;

6. Формирование логистической системы рудника с высотой перепуска закладочных материалов и смеси более 1100 м и длиной их перемещения по горизонтали 10-12 км и более – это весьма капиталоемкий и затратный процесс, рассчитанный на длительную перспективу. До завершения испытаний технологии рано говорить о ее развитии.

Ответы соискателя удовлетворили всех членов диссертационного совета.

Диссертационный совет принял решение, что защищаемые соискателем научные результаты соответствуют: п.2 «Обоснование технологических схем предприятий в целом, схем вентиляции и транспорта» и п.3 «Обоснование критерия оптимальности и установление зависимостей между элементами горнотехнической системы и их стоимостными оценками в связи с научно-техническим прогрессом, социально-экономическими и экологическими факторами» паспорта специальности 2.8.7 – «Теоретические основы проектирования горнотехнических систем»; п. 8 «Технология и оборудование для управления качеством добываемой горной массы и формирования транспортной системы грузопотоков» и п.15 «Методы и средства повышения эксплуатационных характеристик и надежности горных машин и оборудования, в том числе за счет обоснования рациональных режимов их функционирования на открытых и подземных горных работах» паспорта специальности 2.8.8 – «Геотехнология, горные машины».

Диссертация отвечает требованиям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальностям 2.8.7 – «Теоретические основы проектирования горнотехнических систем», 2.8.8 – «Геотехнология, горные машины», и

