

УТВЕРЖДАЮ:



И.о. директора ИПКОН РАН

Шляпин А.В.

2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института проблем комплексного освоения недр им. академика
Н.В. Мельникова Российской академии наук (ИПКОН РАН)
на диссертацию Яковлева Ильи Владимировича на тему «Обоснование
параметров логистической системы подземного рудника при освоении
глубокозалегающих месторождений калийных солей с монолитной
закладкой выработанного пространства», представляемую на соискание
ученой степени кандидата технических наук по специальностям 2.8.7 –
«Теоретические основы проектирования горнотехнических систем»,
2.8.8 – «Геотехнология, горные машины»**

Диссертация «Обоснование параметров логистической системы подземного рудника при освоении глубокозалегающих месторождений калийных солей с монолитной закладкой выработанного пространства» выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук.

Яковлев И.В., 02.04.1998 г.р., в 2022 году окончил ФГАОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» с присуждением квалификации горный инженер (специалист) по специальности 21.05.04 «Горное дело». В период 2022-2024 гг. занимал должность ведущего инженера в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук (ИПКОН РАН). В 2022 г. поступил в ИПКОН РАН в

аспирантуру на очную форму обучения по специальности 2.8.8 – «Геотехнология, горные машины». В 2025 г. подготовил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 2.8.7 – «Теоретические основы проектирования горнотехнических систем», 2.8.8 – «Геотехнология, горные машины»

Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2024 году Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институтом проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук.

Научный руководитель – профессор, доктор технических наук Рыльникова Марина Владимировна, главный научный сотрудник отдела проблем моделирования и управления горнотехническими системами Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук.

По результатам рассмотрения диссертации «Обоснование параметров логистической системы подземного рудника при освоении глубокозалегающих месторождений калийных солей с монолитной закладкой выработанного пространства» принято следующее заключение:

Представленная Яковлевым Ильей Владимировичем к защите диссертация представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, посвященную решению актуальной научно-практической задачи обоснования параметров логистической системы подземного рудника при освоении глубокозалегающих месторождений калийных солей с монолитной закладкой выработанного пространства на основе применения на всех звеньях транспортирования закладочных материалов и смеси горного оборудования, предпочтительно непрерывного действия, обеспечивающих формирование монолитных закладочных массивов с требуемыми прочностными и деформационными характеристиками.

Актуальность диссертационной работы. В условиях увеличения мирового спроса на калийные удобрения в связи с расширением объемов сельскохозяйственного производства возникает актуальная задача разработки

новых высокоэффективных технологий ведения горных работ с повышением полноты извлечения калийных солей. Природные минеральные ресурсы России, особенно уникальные месторождения калийно-магниевых солей, представляют значительный экономический потенциал. Развитие техники и технологий добычи и переработки калийных солей основано на совершенствовании технологических комплексов, машин и оборудования, обеспечивающих повышение полноты извлечения запасов, безопасность, высокую степень механизации и автоматизации всех производственных процессов, что в сочетании с передовыми геотехнологическими решениями позволяет максимально эффективно использовать природные ресурсы при минимальном воздействии на окружающую среду. Это особенно важно для эксплуатации глубокозалегающих месторождений калийных солей, таких как Гремячинское месторождение в Волгоградской области, где сложные горно-геологические, геомеханические и горнотехнические условия определяют геотехнологические вызовы.

Исследования, проведенные в Институте проблем комплексного освоения недр Российской академии наук им. академика Н.В. Мельникова (ИПКОН РАН), показали, что традиционные для освоения соляных месторождений методы гидравлической закладки в данных условиях могут приводить к деградации междокамерных и барьерных целиков, разрушению пород почвы выработок, изменению физико-механических и деформационных свойств вмещающих пород под влиянием рассолов, ослаблению кровли горных выработок, изменению состояния рудничной атмосферы, что потенциально повышает риски аварий. В ответ на эти вызовы разработаны новые подходы к технологии закладки выработанного пространства, предусматривающие формирование монолитного консолидированного закладочного массива на основе солеотходов с добавлением рассолов на границе влагоотдачи, что предопределяет необходимость совершенствования и оптимизации логистических систем подземных рудников для управления основными и вспомогательными минерально-сырьевыми потоками с обеспечением контроля и управления их качеством, в том числе потоков закладочных материалов и смесей.

Обоснование рациональных параметров процессов транспортирования закладочных материалов на большие глубины, включая доставку, перепуск, транспортировку, приготовление и укладку закладочной смеси, представляет собой сложную логистическую задачу и влечет сопутствующие риски на каждом звене технологической схемы. Эти аспекты подчеркивают важность инноваций в технологии и оборудовании для повышения эффективности и безопасности ведения закладочных работ.

Вопрос оптимизации параметров логистических систем подземных рудников, ведущих разработку глубокозалегающих месторождений калийных солей, с учетом особенностей горно-геологических, геомеханических и горнотехнических условий с обеспечением технико-экологических и экономических требований представляет актуальную научно-техническую задачу.

Цель диссертации заключается в разработке методики выбора и обоснования параметров логистической системы калийного рудника, обеспечивающей требуемую производительность закладочного комплекса, надежность и эффективность его функционирования, безопасность горных работ.

Идея работы заключается в повышении полноты и эффективности извлечения запасов и безопасности горных работ на основе применения в логистических схемах на всех звеньях транспортирования горного оборудования, предпочтительно непрерывного действия, в совокупности не изменяющего структуру солеотходов, не вызывающего повышенного пыления и обеспечивающего формирование монолитных закладочных массивов с требуемыми прочностными и деформационными характеристиками.

Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации, заключается в постановке цели и задач исследования и определении путей их решения, в формулировании идеи для достижения поставленной цели, определении основных параметров, позволяющих сформировать логистическую систему ведения закладочных работ на

калийном руднике с учетом определяющих условий и факторов, а также вида закладочных материалов и смесей.

Степень достоверности результатов проверенных автором исследований, выводов и рекомендаций обусловлена обобщением предшествующих научных достижений в области проектирования логистических систем, представительным объемом исходных данных, достоверной сходимостью теоретических математических расчетов возвратных рудных потоков, результатами лабораторных исследований для уточнения параметров исходного моделирования, использованием современного вычислительного оборудования и апробированных методик, внедрением результатов исследований в проектирование и планирование горных работ на глубокозалегающих калийных месторождения.

Научная новизна работы

1. Классификация логистических схем закладочных работ при освоении соляных месторождений, базирующаяся на способах транспортирования закладочных материалов и смесей, отличительной особенностью которой является учет специфики солеотходов для формирования монолитных закладочных массивов, глубины залегания месторождения, расстояния транспортирования, а также расположения и типа модуля обезвоживания закладочной смеси, что позволяет выбрать средства доставки и укладки смеси для формирования консолидированного закладочного массива с учетом горнотехнических условий разработки месторождений водорастворимого минерального сырья.

2. Методика обоснования параметров рациональной логистической схемы закладки при разработке глубокозалегающих месторождений калийных солей, отличающаяся учетом влажности смеси, влияния динамических нагрузок на физико-механические свойства солеотходов и удельного энергопотребления на транспортирование закладочных материалов в выработанное пространство подземного рудника.

3. Математическая модель прогнозирования физико-механических свойств солеотходов в процессе их транспортирования, отличающаяся тем, что она учитывает процессы самоуплотнения закладочного материала,

снижая риск его неравномерного осаждения и изменения реологических характеристик.

4. Методика оценки допустимой высоты одиночного перепуска без первичной консолидации $H_{\text{доп}}$ компонентов закладочной смеси по вертикальному трубопроводу, основанная на установленной зависимости относительных вертикальных деформаций сыпучих материалов от удельной компрессионной нагрузки при различной влажности W компонентов закладочной смеси (0,05 - 8 %) и количества демпферных гасителей N для предотвращения первичной консолидации солеотходов, выражающейся уравнением:

$$N(W) = \frac{H_{\text{общ}}}{6,64 \cdot W^2 - 90,58 \cdot W + 384,71} \cdot k_{\text{запаса}}.$$

Практическая значимость работы состоит в обосновании предпочтительного варианта логистической схемы закладочных работ на Гремячинском руднике. В рамках исследования разработана циклично-поточная логистическая схема транспортирования закладочных материалов для глубокозалегающих месторождений калийных солей, включающая отдельную 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, системы вибрационного рыхления для предотвращения закупорки бункеров-накопителей, что обеспечивает производительность до 446,6 м³/ч.

Ценность научной работы заключается в возможности практического применения разработанной методики обоснования параметров логистической системы подземного рудника, учитывающей закономерности изменения физико-механических свойств солеотходов в процессе транспортирования, для формирования монолитного закладочного массива при освоении глубокозалегающих месторождений калийных солей, что в совокупности определяет эффективность, надёжность и безопасность технологии закладочных работ.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем. Результаты диссертационного исследования

опубликованы в 11 работах, 5 из которых – в изданиях, рекомендуемых ВАК, что соответствует п. 9 Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 «О порядке присуждения ученых степеней».

В изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России:

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. Техно-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 Sylvinite 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. 47–54.

В прочих изданиях:

6. Яковлев И. В., Иляхин С. В., Брюховецкий О. С. Совершенствование технологии герметизации стволов при проходке кейль-кранцем//Тезисы докладов X Международной научной конференции молодых ученых «Молодые - Наукам о Земле» - М: МГРИ. - 2022. - С. 52-54.

7. Князькин Е.А., Яковлев И.В. Обоснование корректировки логистической схемы Гремячинского подземного рудника с учётом доставки для закладки сухих солеотходов // Материалы 5 Международной научной школы академика К.Н. Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр» - М.: ИПКОН РАН. - 2022. - С. 203–206.

8. Князькин Е.А., Яковлев И.В. Исследование влияния влажности солеотходов на эффективность процесса транспортировки по закладочному трубопроводу//Материалы XVI Международной научно-практической конференции "Новые идеи в науках о Земле" - М: МГРИ. - 2023. - С. 52-54.

9. Князькин Е.А., Яковлев И.В. Особенности логистической схемы подземного рудника на больших глубинах при закладке выработанного пространства солеотходами из сформированных техногенных образований // Материалы научно-практической конференции «Комбинированная геотехнология: комплексное освоение техногенных образований и месторождений полезных ископаемых» - Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова. – 2023. - С. 101–102.

10. Яковлев И.В. Обоснование условий транспортирования сухих компонентов закладочных смесей в калийный рудник // Материалы 16 Международной научной школы молодых ученых и специалистов. – М: ИПКОН РАН. - 2023. - С. 207–209.

11. 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 публикациях соискателя в полном объеме отражены основные результаты диссертационной работы, выводы и рекомендации. Сведения об опубликованных работах достоверны.

Материалы диссертации, представленные Яковлевым И.В. на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 2.8.7 – «Теоретические основы проектирования горнотехнических систем», 2.8.8 – «Геотехнология, горные машины» рассмотрены на научном семинарах, докладывались и широко обсуждались на общероссийских и

международных научных конференциях, симпозиумах: X Международной научной конференции молодых ученых «Молодые - Научкам о Земле» (Москва, 2022); на Международной научной школе академика К.Н. Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр» (Москва, 2022, 2024); на Международном симпозиуме «Неделя горняка» (Москва, 2023); на XIX Международной научно-практической конференции «Молодёжь и наука» (Нижний Тагил, 2023); на XII Международной конференции «Комбинированная геотехнология: комплексное освоение техногенных образований и месторождений полезных ископаемых» (Магнитогорск, 2023), на XI Российско-Китайской международной конференции «Проблемы нелинейной геомеханики на больших глубинах» (Новосибирск, 2023).

Научная специальность, которой соответствует диссертация. Диссертационная работа выполнена в соответствии с паспортом специальности 2.8.8 – «Геотехнология, горные машины»: п. 8. Технология и оборудование для управления качеством добываемой горной массы и формирования транспортной системы грузопотоков.; 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 и с паспортом специальности 2.8.7. – «Теоретические основы проектирования горнотехнических систем»: п.2 Обоснование технологических схем предприятий в целом, схем вентиляции и транспорта, 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.

Диссертация соответствует требованиям, установленным пунктом 14 «Положения о присуждении ученых степеней» от 24 сентября 2013 г. N 842.

Диссертационная работа Яковлева Ильи Владимировича по теме «Обоснование параметров логистической системы подземного рудника при освоении глубокозалегающих месторождений калийных солей с монолитной закладкой выработанного пространства» рекомендуется к защите на

соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям
2.8.7 – «Теоретические основы проектирования горнотехнических систем»,
2.8.8 – «Геотехнология, горные машины».

Заключение составлено в соответствии с протоколом расширенного заседания ИПКОН РАН. Присутствовало на заседании 18 чел., в том числе – 7 докторов наук. Результаты голосования: «за» - 17 чел., «против» - 1 чел., «воздержались» - 0 чел., протокол заседания ИПКОН РАН от 02.04.2025г.

Председатель семинара:
Ученый секретарь ИПКОН РАН,
проф., докт. техн. наук



Кубрин С.С.

Секретарь семинара:
Мл. научн. сотр.,



Татарников В.