



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КУЗБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени Т.Ф.ГОРБАЧЕВА» (КузГТУ)
Весенняя ул., д. 28, г. Кемерово, 650000
тел./ факс: (384-2) 39-69-60,
факс: (384-2) 68-23-23
<http://www.kuzstu.ru> e-mail:
kuzstu@kuzstu.ru

ОКПО 02068338 ОГРН 1024200708069
ИНН / КПП 4207012578 / 420501001

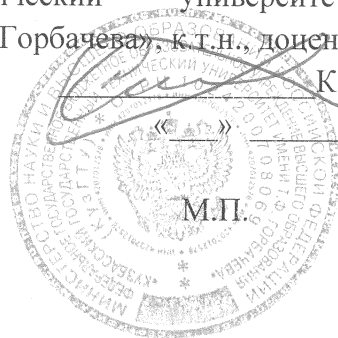
13.08.2025 № 06/1-2756

На № _____ от _____

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе и
международному сотрудничеству ФГБОУ
ВО «Кузбасский государственный
технический университет имени
Т.Ф. Горбачева», к.т.н., доцент

К.С. Костиков
_____ 2025 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию **Малеванного Дмитрия Владимировича** на тему:
«Обоснование и выбор критериев и технологических требований к транспортировке и
подъему ЖМК с морского дна», представленную на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности 2.8.8. Геотехнология, горные машины

1. Актуальность темы диссертации

Системное освоение минерально-сырьевой базы Мирового океана становится стратегическим направлением мировой и отечественной горной промышленности на фоне снижения доступности наземных месторождений цветных и редких металлов. Особое внимание уделяется глубоководным ископаемым, среди которых железомарганцевые конкреции (ЖМК) занимают ключевое положение благодаря высокому содержанию никеля, кобальта и марганца. Подтвержденные залежи ЖМК в международных зонах, включая российский разведочный участок в провинции Кларион–Клиппертон, обладают значительным промышленным потенциалом. Таким образом разработка энергетически эффективных и производительных способов разработки глубоководных месторождений является актуальной задачей.

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-52 ОТ 05.09.25
АУ УС

Среди всех этапов подводной добычи наиболее энергоёмким и технологически сложным является процесс транспортировки конкреций с морского дна на борт судна. На глубинах свыше 3500 метров именно подъемный комплекс определяет как производительность, так и экономическую целесообразность всей системы. Традиционные методы, основанные на насосной или эрлифтной транспортировке, сопровождаются высокими затратами энергии и сложностью технической реализации. В этих условиях особую актуальность приобретает разработка альтернативных схем подъема, исключающих необходимость использования погружных силовых установок.

Одним из перспективных направлений снижения энергоёмкости подъёма является применение промежуточной капсулы, в которой используется гидростатическое давление внешней среды как источник потенциальной энергии. Принципиальная особенность данного подхода состоит в отказе от энергонагруженных подводных насосов в пользу механизма, реализуемого через лебёточно-тросовую систему с поверхности. Такой способ позволяет не только снизить совокупное энергопотребление, но и упростить конструкцию подъемного оборудования, повысив надёжность и ремонтпригодность комплекса при длительной эксплуатации в условиях высоких внешних давлений.

Вопрос выбора рациональных параметров промежуточной капсулы выходит на первый план в инженерных расчётах, поскольку геометрия, масса и форма напрямую влияют на коэффициент гидродинамического сопротивления, а следовательно — на энергоэффективность всего транспортного процесса. Несмотря на наличие отдельных экспериментальных и теоретических исследований в этой области, наблюдается недостаток унифицированных инженерных методик, позволяющих надёжно рассчитывать конструктивные параметры капсулы для конкретных условий глубинной разработки. Решение данной задачи требует комплексного подхода, сочетающего численное моделирование, гидродинамический анализ и лабораторные эксперименты — что и реализовано в настоящей диссертационной работе.

Таким образом, диссертация, посвящённая обоснованию критериев и технологических требований к подъему ЖМК с морского дна, отвечает актуальным вызовам современной морской горной технологии. Результаты, направленные на снижение энергоёмкости и повышение эксплуатационной эффективности транспортного оборудования, обладают высоким прикладным потенциалом, соответствуют приоритетам развития минерально-сырьевого комплекса России и международной повестке рационального недропользования.

2. Научная новизна диссертации.

Научная новизна диссертационной работы Малеванного Д.В. заключается в формулировании и теоретическом обосновании принципа подъема железомарганцевых конкреций с морского дна за счёт использования гидростатического давления внешней среды в качестве источника энергии, без применения погружного насосного оборудования.

– Получена аналитическая зависимость производительности циклично-поточной технологии от геометрических и гидродинамических характеристик промежуточной капсулы, имеющая характер экспоненциального насыщения, позволяющая прогнозировать изменение технологических показателей при варьировании конструкции капсулы;

– Экспериментально и численно установлена зависимость коэффициента гидродинамического сопротивления цилиндрической промежуточной капсулы от коэффициента её формы, описываемая квадратичным полиномом, что позволило определить конфигурации, обеспечивающие минимум сопротивления;

– Впервые обоснована конструкция промежуточной капсулы с атмосферным воздухом для применения в циклично-поточной технологии подъёма, обеспечивающая снижение удельных энергозатрат не менее чем на 9% при сохранении заданных параметров грузопотока;

– Полученные научные результаты отражены в патенте на изобретение, патенте на полезную модель, свидетельстве о регистрации программы для ЭВМ, а также внедрены в проектную деятельность компании ООО «ГИКО» (акт внедрения от 10.04.2025).

3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их новизна

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обеспечивается полнотой теоретического анализа, использованием современной методологии численного моделирования, а также результатами экспериментальных исследований. Принятый научный аппарат и корректность постановки задач подтверждаются воспроизводимостью расчётных данных, сопоставленных с результатами стендовых испытаний. Теоретические и прикладные положения базируются на обобщении отечественного и зарубежного опыта в области морской геотехнологии и подводной транспортировки твёрдых полезных ископаемых.

4. Научные результаты, их ценность

К числу существенных научных результатов, полученных соискателем и обладающих научной и прикладной ценностью, относятся:

- сформулирован и обоснован принцип транспортировки железомарганцевых конкреций с использованием гидростатического давления воды как источника энергии, позволяющий отказаться от погружных насосных установок и снизить энергетические затраты на подъем твердых полезных ископаемых с глубин более 3500 метров;
- получена аналитическая зависимость производительности циклично-поточной технологии от геометрических и гидродинамических характеристик промежуточной капсулы, что позволяет прогнозировать технологические параметры при проектировании подъемного оборудования;
- экспериментально установлена зависимость коэффициента гидродинамического сопротивления цилиндрической капсулы от её формы, описываемая квадратичным полиномом, а также определены оптимальные параметры конструкции, обеспечивающие минимальное сопротивление и наименьшие энергетические затраты;
- разработана конструкция промежуточной капсулы с атмосферным воздухом, технической особенностью которой является повышение надёжности работы комплекса и энергоэффективности транспортного процесса; её параметры (длина, коэффициент формы, толщина стенки) оптимизированы для условий подъёма ЖМК;
- научные результаты нашли практическое применение в деятельности ООО «ГИКО» при проектировании опытного образца подводного добычного комплекса, что подтверждено актом внедрения от 10.04.2025.

Результаты диссертационной работы освещены в четырёх публикациях, включая две статьи в изданиях из перечня ВАК и две статьи в журналах, индексируемых в международной базе данных Scopus. Получены один патент на изобретение, один патент на полезную модель и свидетельство о регистрации программы для ЭВМ, что подтверждает как научную новизну, так и прикладную значимость выполненного исследования.

5. Теоретическая и практическая значимость диссертации

Теоретическая значимость работы заключается в развитии научных представлений о гидродинамическом сопротивлении транспортных капсул, движущихся в условиях большой глубины, с учётом их геометрических параметров и характера обтекания. Полученные зависимости между коэффициентом формы капсулы и сопротивлением среды расширяют прикладные положения гидродинамики применительно к задаче морской транспортировки полезных ископаемых. Обоснованный автором принцип подъема железомарганцевых конкреций, реализуемый за счёт гидростатического давления воды, исключает необходимость использования подводных насосных установок и может быть

положен в основу энергоэффективных технологических решений для освоения глубоководных месторождений.

Практическая значимость исследования обусловлена возможностью применения разработанных моделей и расчетных зависимостей при проектировании подъемных комплексов, ориентированных на условия работы в глубоководной зоне Мирового океана. Предложенная конструкция промежуточной капсулы с атмосферным воздухом характеризуется высокой надёжностью и сниженной энергоемкостью, а полученные рекомендации позволяют адаптировать параметры подъемной системы под конкретные геоморфологические условия района добычи. В рамках диссертационного исследования апробирован метод выбора рациональных форм и размеров капсулы, обеспечивающий минимальные потери энергии при транспортировании твердой фазы в водной среде.

6. Рекомендации по использованию результатов работы

Полученные результаты могут быть рекомендованы к применению при проектировании и расчёте подъемных систем, предназначенных для транспортировки железомарганцевых конкреций с глубоководных участков Мирового океана. Разработанные методики расчёта геометрических параметров промежуточной капсулы, а также зависимостей её гидродинамического сопротивления, позволяют адаптировать конструкцию под конкретные геоморфологические и технологические условия разработки месторождений.

Результаты работы внедрены в деятельность ООО «ГИКО» при разработке опытного образца подводного добычного комплекса, включая принятие методик расчётов и экспериментальных данных (акт внедрения от 10.04.2025). Также разработанные подходы могут быть использованы научно-исследовательскими организациями и университетами, специализирующимися на задачах морской геотехнологии, подводного машиностроения и математического моделирования в условиях высоких гидродинамических нагрузок.

7. Замечания и вопросы по диссертации

1. На стр. 28 диссертации в формуле (1.1) размерность энергозатрат E указана как кВт/ч, однако в таблице 1.4 энергозатраты имеют размерность уже кВт*ч.
2. Формулу Шифринсона для определения коэффициента гидравлического сопротивления (стр. 31 диссертации) лучше было бы представить с новой строки.
3. На стр. 31 сказано, что «Потребный напор насосной системы зависит от удельных потерь напора, которые складываются из потерь напора на течение чистой воды I_0 , дополнительных потерь напора на преодоление сопротивлений, вызванных перемещением твердых частиц, взвешивания столба гидросмеси $\sum I$ и местных потерь напора». В данной

формулировке слово «складываются» предполагает сложение перечисленных величин, однако в приведённой ниже формуле потери напора на течение чистой воды I_0 умножаются на выражение в скобках. Возможно, более корректно было бы использовать следующую формулировку: «Потребный напор насосной системы зависит от удельных потерь напора, которые являются функцией от»

4. В текстах диссертации и автореферата присутствуют пунктуационные и стилистические ошибки. В частности, следует избегать формулировки от первого лица, такие как «приведем», «определим», «выставим» и т. д.

5. По графикам на рисунке 2.12 сделан вывод о лучшей технологии (циклично-поточной) для глубин 3600 м и более, «т. к. она имеет наименьшее значение энергоёмкости для указанной глубины – 10,8 кВт·ч/т» (стр. 56 диссертации). Однако на графике при глубине 3600 м такую же энергоёмкость имеет и поточная технология.

Несмотря на отдельные замечания, которые могут быть рассмотрены в качестве направлений для дальнейших исследований, это не снижает общей положительной оценки выполненной работы, посвящённой разработке энергоэффективных подходов к транспортировке железомарганцевых конкреций с больших глубин.

8. Заключение по диссертации

Диссертация «Обоснование и выбор критериев и технологических требований к транспортировке и подъёму ЖМК с морского дна», представленная на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.8.8 – Геотехнология, горные машины, полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении учёных степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утверждённого приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета Екатерины II от 20.05.2021 № 953 адм., и её автор Малеванный Дмитрий Владимирович заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.8.8 – Геотехнология, горные машины.

Отзыв на диссертацию и автореферат диссертации **Малеванного Дмитрия Владимировича** обсужден и утвержден на заседании кафедры Горных машин и комплексов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева», протокол №20 от 18.07.2025 года.

Председатель заседания

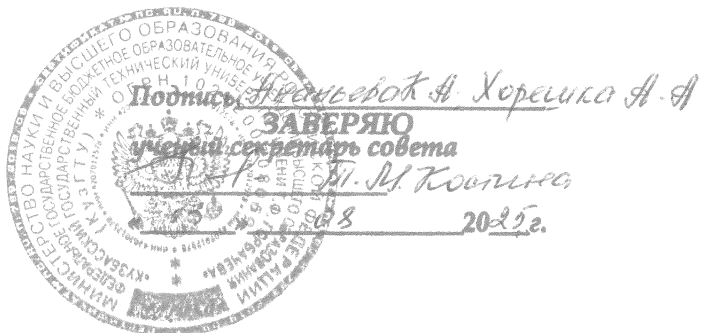
Заведующий кафедрой горных машин и комплексов
федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Кузбасский государственный технический
университет имени Т.Ф. Горбачева», к.т.н, доцент

Ананьев
Кирилл
Алексеевич

Секретарь заседания

Профессор кафедры горных машин и комплексов
федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Кузбасский государственный технический
университет имени Т.Ф. Горбачева», д.т.н., профессор

Хорешок
Алексей
Алексеевич



Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф.Горбачева»

Почтовый адрес: 650000, Кемеровская область – Кузбасс, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28

Тел./факс: +7 (3842) 39-69-60; E-mail: kuzstu@kuzstu.ru.

Официальный сайт в сети Интернет: <https://kuzstu.ru>