

ОТЗЫВ

**официального оппонента
на диссертационную работу Смоленского Максима Павловича на
тему: «Обоснование параметров транспортирующих устройств
комплекса для подводной добычи железомарганцевых конкреций»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических
наук по специальности 2.8.8. «Геотехнология, горные машины».**

Рецензируемая диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 125 наименований и 3 приложений. Текст изложен на 141 странице и включает 48 рисунков и 17 таблиц.

Автореферат диссертации на 24 с.

1. Актуальность темы исследования

Железомарганцевые конкреции имеют высокое содержание полезных компонентов и находятся непосредственно на дне, что с одной стороны облегчает их добычу, но с другой стороны сдерживающими факторами является большая глубина залегания, примерно 5000 м, что сказывается на низкой предполагаемой производительности, в том числе и в связи с продолжительностью спускоподъемных операций. Поэтому работа, посвященная обоснованию параметров транспортирования, является актуальной.

2. Степень обоснованности и достоверности защищаемых положений, выводов и рекомендаций.

Диссертационная работа Смоленского Максима Павловича по структуре и содержанию соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, паспорту специальности 2.8.8. «Геотехнология, горные машины».

Достоверность научных положений основана на использовании апробированных математических методов, удовлетворительной сходимости, а также воспроизводимости результатов экспериментальных исследований на стенде с применением современных средств измерений и методов исследований. Для достижения поставленной цели и решения определённых задач применён комплексный метод исследований, включающий системный анализ, обобщение результатов существующих разработок, теоретический анализ процесса и экспериментальные исследования для определения показателей подводного спредера для выполнения операций на дне.

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-8 от 02.09.24
АУ УС

Объем и корректность выполненных исследований позволили автору сформулировать положения, выносимые на защиту:

1. Время цикла шагания подводного спредера добычного комплекса достигает минимальных значений при выполнении лап с эллипсоидным сечением, с отверстиями, что позволяет уменьшить время цикла добычи, при этом позиционирование спредера в заданную точку дна может осуществляться винтовыми подруливающими движителями с диаметром винта 0,3 м и мощностью двигателя 5 кВт.

2. Зависимость производительности канатного подъемного устройства добычного комплекса от скорости подъема выражается нелинейной квадратичной функцией, при этом максимальный вес поднимаемого контейнера не должен превышать 1000 кН, кабель трос должен выполняться из арамида и иметь диаметр не более 0.06 м.

3. Научная новизна диссертации заключается в следующем:

1. Разработан алгоритм передвижения ПС шагающего типа с рукоятями манипуляторами, при использовании гидроцилиндров в качестве приводов, для добычного комплекса ЖМК;

2. Предложено использование в составе добычного комплекса ЖМК кабель троса с грузонесущей арамидной оплеткой на основе проведенных теоретических расчетов его грузоподъемности, учитывающих модуль упругости материала, вес каната и бункера в воде, а также динамической составляющей при начальном рывке;

3. Теоретически обоснован и экспериментально подтвержден коэффициент гидродинамического сопротивления формы рукоятей-манипуляторов ПС добычного комплекса ЖМК и установлено предпочтительное миделево сечение конструкции рукоятей;

4. Разработан алгоритм смены участка добычи ЖМК, при использовании в качестве устройства местной транспортировки – ПС, на основе которой установлена функциональная зависимость производительности комплекса от плотности распределения конкреций.

4. Научные результаты, их ценность

1. Разработанный алгоритм движения подводного спредера (ПС) с шестью лапами-манипуляторами позволил сократить продолжительность шагающего цикла до 10 секунд. Это стало возможным за счёт применения элементов конструкции с оптимальной гидродинамической формой и

сниженным коэффициентом сопротивления до 0,45, что обеспечило повышение маневренности и производительности при смене участков добычи.

2. В результате сравнительного анализа различных конструкций подъёмных устройств и придонных сборщиков установлено преимущество решений, основанных на использовании кабель-тросовой системы и шагающего ПС. Эффективность предложенных решений подтверждена визуализированными расчетами в форме круговых диаграмм, что позволяет объективно обосновать выбор компоновки оборудования.

3. Проведённые инженерные расчёты при проектировании винтового движителя рамной конструкции позволили обеспечить точное позиционирование поднимаемого бункера, сформулировать требования к упору винта, к материалу и предельному усилию на разрыв кабель-троса.

4. Для верификации теоретических положений создан экспериментальный стенд. В ходе испытаний определены характеристики гидродинамического сопротивления различных форм лап-манипуляторов, в результате чего выбрана оптимальная конструкция — эллипсоидное сечение с технологическими отверстиями — для последующей реализации в опытном образце подводного спредера.

В ходе проведённого исследования разработаны и обоснованы научно-технические решения, направленные на повышение эффективности глубоководной добычи железомарганцевых конкреций. С учётом анализа отечественных и зарубежных разработок в области подводных горных технологий предложена комплексная система, включающая судно-носитель, кабель-тросовую подъёмную установку, автономную сборочную станцию с мини-роботами и подводный спредер, оснащённый лапами-манипуляторами для перемещения по дну. Представленные конструктивные решения имеют правовую защиту в виде патентов.

5. Теоретическая и практическая значимость диссертации

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в развитии научных основ проектирования глубоководных добычных комплексов. Предложенные алгоритмы расчёта параметров оборудования — в частности, шагающего спредера и кабель-тросовой системы транспортировки — а также модели оценки производительности в зависимости от условий залегания железомарганцевых конкреций, расширяют представления о функционировании подводных

горнотехнических систем и могут служить основой для дальнейших исследований в данной области.

Практическая значимость исследования подтверждается разработкой и патентной защитой технических решений, направленных на эффективную добычу твёрдых полезных ископаемых с минимальным воздействием на донную экосистему. Разработанные конструктивные элементы — включая автономные сборочные модули и системы локальной транспортировки — обладают высоким потенциалом применения при создании опытных образцов и промышленной реализации глубоководных добычных комплексов.

6. Публикации и апробация результатов исследования

По теме диссертационной работы опубликовано 4 печатных работы, из них 2 статьи - в журналах входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ, 2 в журналах индексируемых в наукометрической базе Scopus. Получен патент РФ на изобретение. Содержание публикаций отражает основные научные и практические результаты.

Результаты исследования докладывались на конференциях: V Всероссийская научно-практическая конференция НИЦ МС «Научный потенциал молодежи и технический прогресс» (2022г), XI форум вузов инженерно-технологического профиля Союзного Государства БНТУ (2022г), Международная конференция «Полезные ископаемые Мирового океана» ФГБУ «ВНИИОкеангеология» (2023г, 2024г), XXII Международная научно-техническая конференция Чтения памяти В.Р. Кубачека ФГБОУ «УГГУ» (2024г).

7. Рекомендации по использованию результатов работы

Результаты диссертационного исследования рекомендуется использовать при разработке оборудования для подводной добычи полезных ископаемых.

8. Оценка содержания и оформления диссертации.

Диссертационная работа по содержанию, структуре и оформлению соответствует предъявляемым требованиям. Все разделы работы соответствуют теме диссертации и подчинены общей цели. Научные положения и общие выводы в заключении достоверны, обоснованы и

вытекают из проведенных исследований.

9. Замечания и вопросы по работе

1. Формула 1.1 в п. 1.6 на стр. 34 некорректная. Также следовало бы указать источник откуда она взята.

2. При расчете годовой производительности, в п. 2.5 и других, целесообразно было бы использовать прогнозируемые величины продолжительности устранения отказов (времени восстановления) вспомогательных операций, простоев по организационным причинам, т.е. понятия теоретической, технической и эксплуатационной производительности, как и для других горных машин.

3. В последнем абзаце на стр. 48 сказано, что «Минимальная скорость передвижения спредера должна быть – 0,4 м/с, а минимальное время подъема бункера 2 м/с». В работе методика обоснования данных величин не представлена. Более правильно было бы использовать диапазоны минимальных значений.

4. При расчете требуемого суммарного усилия, воздействующего на рычаги-манипуляторы подводного спредера при вертикальном выдвигании гидроцилиндра – формула (2.8) на стр.55, следовало бы учитывать силу противодействия выдвиганию штока, вызванную гидростатическим давлением.

5. Из диссертации неясно, почему на Рисунке 2.15 при плотности конкреций 3 кг/м^2 и стандартном способе перемещения, годовая производительность меньше, чем при плотности 2 кг/м^2 или 4 кг/м^2 .

6. Диссертационная работа написана хорошим технически языком, но при этом есть отдельные неточности, например: в выражении 2.4 после индексов использованы «точки», в других формулах после данных индексов точки не используются, в Таблице 2.6 на стр. 64 дважды представлен последний столбец, на стр. 100 в первом абзаце п.4.3 представлены незаполненные квадратные скобки.

Указанные замечания не влияют на научную и практическую значимость полученных результатов, а также не снижают общую положительную оценку работы.

Заключение

В целом диссертационная работа по актуальности темы, постановки и решению задач исследований, научным и практическим результатам

представляет собой завершенную научно-квалификационную работу.

Диссертация «Обоснование параметров транспортирующих устройств комплекса для подводной добычи железомарганцевых конкреций», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.8. – Геотехнология, горные машины полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», утвержденного приказом ректора Горного университета от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор **Смоленский Максим Павлович** заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.8. – Геотехнология, горные машины.

Официальный оппонент

Профессор кафедры горного оборудования, транспорта и машиностроения Университета МИСИС, доктор технических наук (научная специальность 05.05.06. Горные машины), доцент

«21» августа 2025 г.

 Рахутин
Максим Григорьевич

119049, Москва, Ленинский пр-кт, д. 4, стр. 1.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС». Официальный сайт в сети Интернет: www.misis.ru

тел.: +7 499 230-24-31

e-mail: rahutin.mg@misis.ru

Я, Рахутин Максим Григорьевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.



ПОДПИСЬ _____ ЗАВЕРЯЮ
Проректор по безопасности
и общим вопросам
НИТУ МИСИС _____ И.М. Исаев

