

«УТВЕРЖДАЮ»



Проректор по научной работе
ФГБУН ВОО ТУЛЬСКИЙ

Государственный университет

М.С.Воротилин

» сентябрь 2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

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.

1. Структура и объем диссертационной работы

На отзыв представлена диссертационная работа, изложенная на 141
страницах машинописного текста, состоящая из введения, 4-х глав, основных
выводов и рекомендаций, списка литературы из 125 источников, перечня
условных обозначений и 3 приложений, содержащая 47 рисунков и 20
таблиц.

2. Актуальность темы диссертации

Железомарганцевые конкреции (ЖМК) являются ценным источником
стратегически значимых и дефицитных металлов. Их важным
преимуществом выступает возможность прямого промышленного
использования с минимальной переработкой. Своевременное начало опытно-
промышленной добычи приобретает особую значимость для закрепления за
Россией прав на освоение лицензированных участков. Задержка в данном
направлении может привести к утрате этих прав в пользу государств,
располагающих более развитым технологическим потенциалом в сфере
глубоководной добычи.

Для практической реализации задач освоения глубоководных
месторождений ЖМК требуется создание современных технических
комплексов, обеспечивающих устойчивую работу на больших глубинах при
соблюдении критериев энергоэффективности, экологической безопасности и
высокой производительности. Однако существующие решения в полной мере

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-95 от 09.09.21
ЛУ УС

не соответствуют этим требованиям, что сдерживает промышленное использование данного вида ресурсов.

Таким образом, проведение исследований, направленных на разработку и обоснование эффективных технических средств для добычи ЖМК на больших глубинах, представляется актуальной и востребованной задачей. Решение данной задачи будет способствовать ускоренному освоению подводных минеральных ресурсов, снижению зависимости от импортных поставок стратегического сырья и укреплению ресурсной независимости Российской Федерации.

В этих условиях своевременное начало опытно-промышленной добычи приобретает особую значимость для закрепления за Россией прав на освоение лицензированных участков. Задержка в данном направлении может привести к утрате этих прав в пользу государств, располагающих более развитым технологическим потенциалом в сфере глубоководной добычи.

3. Научная новизна диссертации

В диссертационной работе Смоленского Максима Павловича представлена совокупность новых научных результатов, имеющих как теоретическое, так и практическое значение. Автор разработал алгоритм перемещения шагающего механизма с манипуляторными рукоятями, оснащённого гидроцилиндрами, что позволило повысить мобильность оборудования для глубоководного сбора железомарганцевых конкреций. Обосновано применение кабель-троса с арамидной оплёткой в составе подъёмно-транспортной системы комплекса с учётом его механических характеристик и влияния динамических нагрузок. На основе анализа и экспериментов выявлены закономерности изменения гидродинамического сопротивления в зависимости от формы манипуляторных рукоятей, предложено оптимальное миделевое сечение, обеспечивающее снижение сопротивления и повышение энергоэффективности. Кроме того, разработан алгоритм смены добычной зоны с использованием шагающего механизма в качестве транспортного средства, что позволило установить связь производительности комплекса с плотностью распределения конкреций и учитывать геологические условия при планировании технологического цикла. Работа отличается научной новизной и практической направленностью, изложена последовательно и технически грамотно.

4. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, представленных в диссертационной работе, подтверждается комплексом взаимосвязанных теоретических и экспериментальных

аргументов. В ходе исследования автором проведён глубокий анализ научно-технической литературы, патентных источников и практического опыта создания подводных технических комплексов, что позволило выделить существующие научные подходы и выявить их ограничения. Это обеспечило формирование надёжной методологической базы и корректную постановку исследовательских задач, каждая из которых была решена с соблюдением логики и в строгом соответствии с фундаментальными физическими законами и инженерными принципами.

Теоретическая часть работы основывается на аналитических методах расчёта и моделирования, результаты которых сопоставлялись с данными экспериментальных исследований. В частности, проведены испытания моделей рукоятей-манипуляторов шагающего механизма, позволившие получить количественные значения коэффициентов гидродинамического сопротивления для различных геометрических форм. Сравнительный анализ показал высокую степень согласованности теоретических прогнозов с фактическими измерениями, что подтверждает достоверность выводов о выборе оптимального миделевого сечения для повышения энергетической эффективности работы комплекса.

Обоснованность принятых проектных решений подтверждена также расчётами динамических характеристик кабель-тросовой системы подъёмно-транспортного комплекса, учитывающими механические свойства арамидной оплётки, массу поднимаемого оборудования и воздействие переменных нагрузок в условиях морской среды. Соответствие этих расчётов реальным физическим параметрам свидетельствует о корректности применённого подхода и его практической значимости.

Дополнительное подтверждение достоверности полученных результатов обеспечивается тем, что выводы диссертации согласуются с производственными наблюдениями и известными тенденциями в развитии технологий глубоководной добычи. В совокупности это демонстрирует надёжность научных положений и даёт основание считать разработанные рекомендации применимыми в инженерной практике при проектировании и эксплуатации подводных добычных комплексов.

5. Научные результаты, их ценность

В результате выполненного исследования предложен алгоритм перемещения подводного спредера с шестью манипуляторными лапами, применение которого позволило существенно сократить время одного шагающего цикла до 10,07 секунды. Данный эффект достигнут за счёт оптимизации конструкции рабочих элементов, обладающих пониженным коэффициентом гидродинамического сопротивления (0,45), что обеспечило

повышение маневренности аппарата и его производительности при переходе между зонами добычи. Анализ различных схем подъёмных устройств и придонных систем сбора показал преимущество технических решений, основанных на сочетании кабель-тросовой подъёмной системы с шагающим спредером. Корректность выбора подтверждена расчётами, представляемыми в графической форме, что позволило объективно обосновать целесообразность предложенной компоновки.

Большое спасибо, значение имели инженерные расчёты при проектировании винтового движителя рамной конструкции, обеспечившие высокую точность позиционирования поднимаемого бункера; при этом расчётный упор винта составил 565 Н.

Дополнительно проведён динамический анализ кабель-троса, в ходе которого определены его рациональные параметры: использование арамидной основы, диаметр порядка 0,06 м и предельное разрывное усилие до 2000 кН при рабочей нагрузке не более 1000 кН.

Для проверки теоретических положений был создан специализированный экспериментальный стенд, позволивший исследовать гидродинамические характеристики различных вариантов лап-манипуляторов. По итогам экспериментов наиболее эффективной признана конструкция с эллипсоидным сечением и технологическими отверстиями, которая впоследствии может быть реализована в опытном образце подводного спредера.

Итогом проведённой работы стало формирование научно обоснованного комплекса технических решений, направленных на повышение эффективности освоения глубоководных месторождений железомарганцевых конкреций. На основе анализа отечественного и зарубежного опыта предложена интегрированная система, включающая судно-носитель, кабель-тросовую подъёмную установку, автономную сборочную станцию с мини-роботами и шагающий подводный спредер с манипуляторными лапами. Разработанные конструктивные решения получили правовую защиту в форме патентов, что подтверждает их оригинальность и практическую значимость для дальнейшего развития технологий подводной добычи.

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 4 печатных работах, в том числе 2 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук (далее – Перечень ВАК), в 2 статьях - в

изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования (Scopus). Получен патент РФ на изобретение.

6. Теоретическая и практическая значимость

Теоретическая значимость работы заключается в развитии научных основ проектирования и расчёта параметров подводных добычных комплексов для освоения железомарганцевых конкреций. Разработана методика определения основных характеристик подводного спредера и кабель-тросовой транспортной системы, обеспечивающая учёт гидродинамических факторов, влияющих на скорость смены участка добычи и общую производительность комплекса. Установлена зависимость между формой рукоятей-манипуляторов ходовой части спредера и энергетической эффективностью процесса, что позволяет оптимизировать компоновку подводных устройств. Также предложены расчётные модели оценки времени цикла и производительности добычи при использовании локальной транспортировки бункеров, которые могут быть применены как основа для дальнейших исследований в области подводной горной техники.

Практическая значимость подтверждается разработкой и патентной защитой ряда конструктивных решений для промышленного освоения ресурсов Мирового океана. Создана и запатентована конструкция добычного комплекса ЖМК, включающая канатную установку с кабель-тросами электроснабжения, автономную станцию с мини-роботами и шагающий подводный спредер, что обеспечивает минимальное воздействие на придонную флору и фауну при сохранении высокой производительности. Разработан и запатентован скиповый подъёмник, позволяющий осуществлять реверсивную транспортировку двух бункеров с собранным сырьём, что значительно сокращает временные потери на спускоподъёмные операции. Практическая ценность работы подтверждена внедрением методики расчёта времени цикла и производительности добычи в ООО «ГИКО» для создания опытного образца глубоководного комплекса (акт внедрения от 05.06.2025).

7. Рекомендации по использованию результатов работы

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы следующими организациями: ВНИИОкеангеология, Южморгеология, НПО «Алмаз», «Севмаш», СПбГМТУ и другие предприятия при проектировании и создании опытно-промышленных образцов глубоководных комплексов для добычи железомарганцевых конкреций. Разработанные и запатентованные конструктивные решения, включающие судно-носитель, тросовую систему подъёма, автономную станцию с мини-роботами-сборщиками и придонный портал на шагающем механизме с манипуляторными лапами, рекомендуется применять в составе интегрированных систем освоения морских

месторождений. Разработанный алгоритм перемещения подводного спредера с шестью лапами-манипуляторами, обеспечивающий минимальное время шагающего цикла 10,07 секунды при оптимальном коэффициенте гидродинамического сопротивления элементов конструкции (0,45), может быть положен в основу программного обеспечения управления придонными аппаратами.

Проведённый сравнительный анализ различных схем подъёмных и сборочных устройств показал целесообразность применения канатных подъёмных систем и шагающих придонных аппаратов, что рекомендуется учитывать при выборе компоновки оборудования для промышленного внедрения. Разработанные методики расчёта параметров винтового движителя с расчётным упором 565 Н, а также динамического анализа кабель-троса с арамидной основой диаметром до 0,06 м и предельным разрывным усилием 2000 кН при рабочей нагрузке до 1000 кН, обеспечивают практические ориентиры для выбора оборудования при создании опытных установок.

Экспериментальные исследования гидродинамических характеристик манипуляторных лап позволили определить оптимальную форму с эллипсоидным сечением и технологическими отверстиями, что рекомендуется учитывать при изготовлении опытного образца подводного спредера. Разработанная методика расчёта производительности добычи при локальной транспортировке бункеров и результаты инженерных проработок уже приняты к внедрению в ООО «ГИКО» (акт внедрения от 05.06.2025), что подтверждает практическую значимость выполненной работы.

Полученные научные и практические результаты могут быть использованы при дальнейшем развитии отечественных технологий освоения ресурсов Мирового океана, в том числе при проектировании новых типов транспортных систем, устройств перемещения бункеров и комплексов с шагающими механизмами. Их применение позволит повысить эффективность глубоководной добычи твёрдых полезных ископаемых при одновременном снижении экологической нагрузки на морские экосистемы.

8. Замечания по диссертационной работе

1. В ограниченном количестве представлено описание работы подводного спредера и его взаимодействие с другими элементами придонного комплекса.

2. В работе не хватает подробного описания использования подруливающих устройств рамы для спускоподъемных операций и в целом

описания алгоритма работы всех перечисленных автором устройств в составе добычного комплекса.

3. Итоговые выводы не содержат информации о требуемом количестве судов для реализации предлагаемого способа добычи.

4. В недостаточном количестве представлены способы навигации устройств для добычи на дне, в четвертой главе в описании патента для этой функции указаны репера, но подробная информация не приводится.

5. Результаты, полученные экспериментально, должны подлежать апробации в более масштабных условиях, например в море. О том, что это планируется или уже проведено, в работе не упомянуто.

9. Заключение по диссертации

Диссертационная работа Смоленского М.П. представляет собой самостоятельную, завершенную научно-квалификационную работу, в которой на основе проведенных исследований получено новое технико-технологическое решение, направленное на реализацию задач повышения производительности добычного комплекса железомарганцевых конкреций при использовании канатной системы для спускоподъемных операций и вспомогательного оборудования для смены участка добычи путем местной транспортировки груза и добычной станции.

Диссертация по своим задачам, содержанию, научно-техническому направлению и выполненным исследованиям соответствует п. 14. «Критерии и технологические требования при создании новых и совершенствования применяемых горных машин с учетом особенностей условий их эксплуатации при разработке месторождений твердых полезных ископаемых» области исследований паспорта научной специальности 2.8.8. Геотехнология, горные машины.

Диссертация **Смоленского Максима Павловича** на тему: «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 императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета Екатерины II 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.

Отзыв ведущей организации на диссертацию и автореферат **Смоленского Максима Павловича** обсужден и утвержден на заседании кафедры «Механика материалов и геотехнологий» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тульский государственный университет» (протокол № 1 от 29 августа 2025 года).

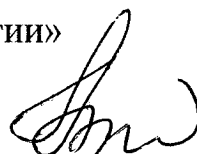
Председатель заседания

Заведующий кафедрой

«Механика материалов и геотехнологий»

ФГБОУ ВО ТулГУ

д-р техн. наук, доцент



Анциферов

Сергей Владимирович

Секретарь заседания

Профессор кафедры

«Механика материалов и геотехнологий»

ФГБОУ ВО ТулГУ

д-р техн. наук, профессор



Жабин

Александр Борисович

Подпись Анциферова С.В. и Жабина А.Б. заверяю;

Начальник управления (Административно-кадровое управление) ФГБОУ ВО ТулГУ



Дымус

Кристина Андреевна

300012, г. Тула, Проспект Ленина, д. 92

Тел.: (4872) 73-44-44

E-mail: info@tsu.tula.ru