

ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата военных наук

Попко Артёма Олеговича

на диссертацию *Котова Дмитрия Дмитриевича* на тему:

«Методы анализа и синтеза информационно-управляющей системы автономного необитаемого подводного аппарата для решения задач в интересах минерально-сырьевого комплекса», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по *специальности*
2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

1. Актуальность темы диссертации

Переход минерально-сырьевого комплекса (МСК) России к систематическим работам в арктических и шельфовых акваториях выдвигает повышенные требования к точности, устойчивости и автономности выполнения подводных операций с различными объектами МСК, расположенными в морских акваториях. Ограниченная связь, непредсказуемая обстановка и удалённость от инфраструктуры существенно снижают эффективность применения традиционных технологий, основанных на использовании пилотируемых и буксируемых средств. В этих условиях перспективность применения автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) для решения задач МСК определяется не столько их конструктивными особенностями, сколько уровнем развития информационно-управляющих систем (ИУС), обеспечивающих автономное планирование и решение указанных задач.

Представленная диссертация направлена на разработку специализированных методов анализа и синтеза ИУС АНПА с учетом российских особенностей их создания и применения в арктических и шельфовых акваториях: при выполнении подлёдных исследований, проведении глубоководных инспекций, производстве геологоразведочных работ. Такой подход позволяет перейти от универсальных, слабо

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-49 от 06.09.25
АУ УС

адаптированных к особенностям решения задач МСК в морских акваториях методов к отраслево-ориентированным решениям и тем самым вносит определенный вклад в повышение эффективности и технологической независимости отечественной подводной робототехники, используемой для выполнения подводных операций на объектах МСК.

В связи с вышеизложенным, тема диссертационной работы представляется актуальной.

2. Научная новизна диссертации

Новизна исследования состоит в разработке методологических основ анализа и структурно-параметрического синтеза ИУС АНПА, учитывающих особенности решения специфических задач МСК в морских акваториях и требования к выполнению миссий, ограничения внешней среды и архитектурно-алгоритмических решений при построении ИУС. Разработанная автором концептуальная модель ИУС учитывает взаимосвязи между внутренними характеристиками АНПА, воздействующими на него внешними факторами и целевыми показателями выполнения задач.

Автором сформированы требования к ИУС АНПА, предложены типовые варианты их структуры, а также определены зависимости между основными свойствами АНПА и параметрами ИУС. Предложенный метод структурно-параметрического синтеза ИУС АНПА может быть использован в качестве базовой основы для их проектирования при создании АНПА, предназначенных для решения задач в интересах МСК.

Новые научные результаты, полученные автором и обладающие теоретической и практической значимостью, заключаются в разработке в программной среде MATLAB/Simulink нелинейной динамической модели движения аппарата, учитывающей конфигурацию движителей, что позволило осуществить синтез многоконтурных регуляторов и оценить достижение требуемых показателей устойчивости и точности в типовых морских сценариях решения задач. Существенным научным результатом, полученным автором, является выявление зависимостей между типом решаемой задачи и

структурно-параметрическими свойствами ИУС, что обеспечивает целенаправленную адаптацию её архитектуры к условиям эксплуатации.

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

Обоснованность и достоверность научных результатов, выводов и рекомендаций диссертационного исследования обусловлена тем, что оно проведено на основе общепризнанных подходов системного анализа, структурного анализа и синтеза, математического и имитационного моделирования, что обеспечивает корректную постановку задач исследования, обоснования и выбора критериев.

Имитационные эксперименты в среде MATLAB/Simulink выполнены с достаточной степенью детализации, полученные результаты демонстрируют статистическую устойчивость и согласуются с данными натурных наблюдений и экспериментов. Сравнительный анализ полученных результатов моделирования с результатами, опубликованными другими авторами, подтверждает соответствие сформулированных автором выводов современному уровню развития технических средств и систем в области диссертационного исследования. Прикладные результаты исследования подтверждены актом реализации в НИР. В совокупности все перечисленное выше позволяет считать положения, выводы и рекомендации диссертации обоснованными и достоверными.

4. Научные результаты, их ценность

Диссертационная работа представляет собой завершённое научно-квалификационное исследование, результаты которого обладают научной новизной, теоретической значимостью и прикладной ценностью. Автором разработана концептуальная модель ИУС АНПА, увязывающая отраслевые требования к ней с техническими параметрами подсистем управления АНПА.

Предложен метод структурно-параметрического синтеза, обеспечивающий выбор архитектуры и настроек ИУС с учётом конкретных решаемых АНПА задач и ограничений, определяемых условиями его применения по назначению. Автором разработана имитационная нелинейная модель динамики АНПА, на основе которой выполнены настройка и проведена оценка алгоритмов управления, а также осуществлена верификация модели. Совокупность полученных результатов исследования позволяет сформировать инженерные методики и процедуры перехода от требований решаемых задач МСК к целевой конфигурации ИУС АНПА и значений её параметров.

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени опубликованы: в 4 печатных работах, в том числе в 2 статьях – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы научные результаты кандидатской диссертации, в 2 статьях – в изданиях, входящих в Scopus. Часть прикладных результатов исследования реализовано в свидетельстве о государственной регистрации программы для ЭВМ.

5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

Полученные автором научные результаты являются значимым вкладом в развитие подводной робототехники, применяемой при освоении минерально-сырьевых ресурсов России.

Теоретическая значимость результатов диссертационной работы заключается в дальнейшем развитии методологии системного анализа для проектирования и эксплуатации ИУС АНПА ориентированных на решение специфических задач МСК.

Практическая значимость обусловлена возможностью непосредственного применения прикладных результатов диссертационного исследования в проектных бюро, осуществляющих разработку автономных подводных робототехнических средств, и эксплуатационных организациях, работающих в арктических и шельфовых регионах морских акваторий

России, а также возможностью внедрения предложенных схемных и технических решений в существующие и проектируемые АНПА. Их использование позволяет повысить полноту и точность результатов исследований при решении задач МСК, повысить отказоустойчивость и снизить энергопотребление в длительных миссиях.

Практическая значимость полученных автором результатов подтверждена актом реализации и разработанным и зарегистрированным программным продуктом.

6. Рекомендации по использованию результатов работы

Разработанные модели и методы представляется целесообразным использовать при создании новых и модернизации существующих ИУС АНПА, предназначенных для решения задач в интересах МСК, при формировании регламентов планирования и сопровождения миссий, а также при обработке геофизических данных.

Возможно применение научных результатов диссертационного исследования для разработки интегрированных многофункциональных систем контроля и мониторинга подводных объектов инфраструктуры МСК на основе объединения подводных, береговых и судовых комплексов в единые региональные территориально распределенные системы.

Материалы диссертации могут быть использованы в учебных курсах по морской робототехнике и системной инженерии на образовательных уровнях бакалавриата, магистратуры и программ повышения квалификации.

7. Замечания и вопросы по работе

Диссертационная работа обладает логической последовательностью представления полученных результатов исследования от постановки научной задачи до выводов и практических рекомендаций по их применению. Сформулированные по главам выводы корректно отражают изложенные в них результаты исследования и вычислительных экспериментов.

Вместе с тем, по содержанию диссертации необходимо отметить ряд недостатков и замечаний.

1. В работе процедуры идентификации параметров динамической модели управления АНПА изложены излишне кратко. В содержании диссертации было бы целесообразно представить алгоритмы оценки существующих неопределённостей и провести оценки чувствительности выходных параметров контуров управления к вариациям основных конструктивных и гидродинамических параметров корпуса АНПА и движителей.

2. В диссертации не проведено обоснование планов проведения вычислительных экспериментов. Имитационное моделирование процесса функционирования ИУС АНПА проведено для всех описанных типов задач, однако факторные эксперименты по задачам проведены при ограниченных наборах варьируемых исходных данных, что несколько снижает ценность полученных результатов моделирования и затрудняет формирование критериев достижения заданных параметров настройки регуляторов контуров управления.

3. Оценка устойчивости и качества управления АНПА проведены по результатам ограниченного числа вычислительных экспериментов, что не обеспечивает гарантии устойчивости и качества во всех возможных условиях его применения по назначению. В работе было бы целесообразным провести дополнительное исследование запасов устойчивости и качества управления АНПА с использованием аналитических методов и оценить сходимость результатов, полученных численными и аналитическими методами.

4. В работе в недостаточной степени освещены вопросы, связанные с эксплуатационной надежностью ИУС, АНПА, их составных частей и их элементов. Высокая автономность применения по назначению АНПА предъявляет повышенные требования к надежности функционирования его подсистем, резервированию наиболее важных составных частей и устойчивости к отказам. Для оценки эксплуатационной надёжности в работе представлялось бы целесообразным акцентировать внимание на вопросах диагностики и прогнозирования отказов, оценках функционального

состояния подсистем, узлов и элементов, порогах срабатывания и порядке их перенастройки при частичной потере функциональности.

5. В работе отсутствуют результаты исследования возможностей совместного и коалиционного применения нескольких АНПА для одновременного решения одной или нескольких задач. В работе было бы целесообразно провести оценки возможностей распределённого планирования задач между АНПА, обмена данными между собой, с береговыми и судовыми комплексами, а также оценить возможные сценарии и ограничения по времени реакции при выполнении групповых задач.

Указанные выше недостатки и замечания носят частный характер, направлены на расширение области применимости результатов, повышение их практической ценности и не снижают существенно научную ценность диссертационной работы.

8. Заключение по диссертации

В целом диссертационная работа Котова Д.Д. выполнена на высоком научном уровне и представляет собой завершённое научно-квалификационное исследование, в котором предложено новое решение задач МСК в морских акваториях в сложных условиях Арктики и континентального шельфа с использованием современных АНПА, оснащенных ИУС, с учетом специфики их применения.

Диссертация «Методы анализа и синтеза информационно-управляющей системы автономного необитаемого подводного аппарата для решения задач в интересах минерально-сырьевого комплекса», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика, полностью соответствует 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 императрицы

Екатерины II от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор **Котов Дмитрий Дмитриевич** заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

27 августа 2025 г.

Официальный оппонент

Ведущий научный сотрудник, отдела 71

к.воен.н.



Попко Артем Олегович

Подпись ФИО оппонента заверяю

Ученый секретарь, к.т.н.



Смольников Александр Васильевич

**Сведения об официальном
оппоненте:**

Акционерное общество «Концерн

“Научно-производственное

объединение "Аврора"”»

194021, г. Санкт-Петербург, ул.

Карбышева, д. 15

Официальный сайт в сети Интернет:

<https://avrorasystems.com/>

Телефон: +7 (812) 607-56-10

E-mail: anpa@avromail.ru