

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ГУ.12
ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА (ДОКТОРА) НАУК**

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 17.09.2025 № 23

О присуждении Котову Дмитрию Дмитриевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Методы анализа и синтеза информационно-управляющей системы автономного необитаемого подводного аппарата для решения задач в интересах минерально-сырьевого комплекса» по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика принята к защите 14.07.2025, протокол заседания № 19, диссертационным советом ГУ.12 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России, 199106, Санкт-Петербург, линия 21-я В.О., дом 2, приказ ректора Санкт-Петербургского горного университета о создании диссертационного совета от 03.07.2023. № 1025 адм, с изменениями от 24.05.2024 № 780 адм, от 11.09.2024 № 1330 адм, от 05.11.2024 № 1659 адм.

Соискатель, Котов Дмитрий Дмитриевич, 28 июня 1997 года рождения, в 2021г. окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» по направлению подготовки 27.04.04 Управление в технических системах.

В период подготовки диссертации с 1 октября 2021 г. по настоящее время является аспирантом очной формы обучения кафедры системного анализа и управления в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Работает ведущим инженером программистом в Филиале АО "Омский научно-исследовательский институт приборостроения" в г. Санкт-Петербурге.

Диссертация выполнена на кафедре системного анализа и управления в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Научный руководитель – **Первухин Дмитрий Анатольевич**, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», кафедра системного анализа и управления, заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

Пятков Вячеслав Викторович – доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского» Министерства обороны Российской Федерации, 52 отдел военного института (научно-исследовательского), старший научный сотрудник;

Попко Артём Олегович – кандидат военных наук, Акционерное общество «Концерн «Научно-производственное объединение «Аврора»», отдел 71, ведущий научный сотрудник;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», г. Санкт-Петербург**, в своем положительном отзыве, подписанном Шестопаловым Михаилом Юрьевичем, доктором технических наук, доцентом, заведующим кафедрой автоматики и процессов управления, Кораблевым Юрием Анатольевичем, кандидатом технических наук, доцентом, доцентом той же кафедры, секретарем заседания, и утвержденном Семеновым Александром Анатольевичем, доктором технических наук, профессором, проректором по научной и инновационной деятельности, указала, что предложенные методы и алгоритмы могут быть непосредственно использованы при проектировании и модернизации отечественных АНПА, предназначенных для решения задач МСК. Разработанные схемотехнические и алгоритмические решения обеспечивают повышение точности навигационного обеспечения, энергоэффективности и надёжности систем управления АНПА в условиях ограниченной связи и высокой неопределённости внешней среды. Сформулированные критерии качества и метод структурно-параметрического синтеза расширяют инструментальную базу системного анализа и проектирования сложных технических систем применительно к ИУС АНПА.

Соискатель имеет 4 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 4 работы, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 2 работы, в том числе в 2 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 2 статьях - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Общий объем – 2,81 печатных листов, в том числе 1,58 печатных листов - соискателя.

Публикации в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в

которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук:

1. Новожилов, И.М. Разработка и прототипирование распределённой системы управления геологоразведывательным необитаемым подводным аппаратом / И.М. Новожилов, М.Ю. Шестопапов, Д.Д. Котов, Т.В. Кухарова // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2022. – № 4. – С. 17–28. DOI: 10.32603/2071-8985-2022-15-4-17-28. (ВАК №1142 ред. 27.04.2022)

Соискателем разработан программно-аппаратный комплекс управления автономным необитаемым подводным аппаратом малой глубины.

Проведён цикл испытаний, подтвердивший устойчивость движения АНПА и надёжность функционирования системы управления, что открывает возможности для её применения при исследованиях в прибрежных морских акваториях и образовательных проектах.

2. Первухин, Д.А. Методы структурно-параметрического синтеза автономных необитаемых подводных аппаратов, предназначенных для решения задач в интересах минерально-сырьевого комплекса / Д.А. Первухин, Д.Д. Котов, Ю.М. Искандеров // Современная наука и инновации. – 2025. – № 1. – С. 18–40. DOI: 10.37493/2307-910X.2025.1.2. (ВАК №2567 ред. 18.03.2025)

Соискателем в работе проведен анализ полного цикла создания автономных необитаемых подводных аппаратов и выделены ключевые барьеры, препятствующие их созданию, - от инженерных до организационных.

На основе результатов анализа предложен комплекс организационно-технических и практических мероприятий, устраняющих указанные барьеры: применение модульной и масштабируемой архитектуры построения АНПА, использование открытых аппаратно-программных платформ, а также взаимодействие на ранних этапах проектирования АНПА с заказчиками.

Публикации в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus:

3. **Kotov, D.D.** Prospects for the Use of Autonomous Underwater Vehicles (AUV) to Solve the Problems of the Mineral Resources Complex (MRC) of the Russian Federation / D.D. Kotov, D.A. Pervukhin, H. Davardoost, O.V. Afanaseva // Journal of Maritime Research. - 2024. – Vol. 21, № 1. – PP. 309-317.

Котов, Д.Д. Перспективы использования автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) для решения задач минерально-сырьевого комплекса (МСК) Российской Федерации / Первухин Д.А., Давардуст Х., Афанасьева О.В. / Журнал морских исследований. – 2024. – Том 21, № 1. – С. 309-317.

Соискателем обоснована высокая эффективность использования автономных необитаемых подводных аппаратов при поиске и добыче минеральных ресурсов на российском шельфе, особенно в слабоизученных арктических акваториях. Обзор мировой практики подтверждает, что в настоящее время АНПА являются ключевой технологией применения подводной робототехники, однако в России их развитие сдерживают устаревшие проектные методики и недостаток финансирования.

Для разработки отечественных АНПА, соответствующих международному уровню, предложено внедрять модульные информационно-управляющие системы, расширять подготовку профильных кадров и существенно увеличивать инвестиции в проведение НИОКР.

4. Pervukhin, D.A. Development of a Conceptual Model for the Information and Control System of an Autonomous Underwater Vehicle for Solving Problems in the Mineral and Raw Materials Complex / D.A. Pervukhin, **D.D. Kotov**, V. Trushnikov // *Energies*. – 2024. – Vol. 17, № 23. – P. 5916. DOI: 10.3390/en17235916.

Первухин, Д.А. Разработка концептуальной модели информационно-управляющей системы автономного необитаемого подводного аппарата для решения задач минерально-сырьевого комплекса / Д.А. Первухин, Д.Д. Котов, В.Е. Трушников // *Энергии* – 2024. – Том 17, № 23 – С.5916. DOI: 10.3390/en17235916

Соискателем предложена концептуальная информационно-управляющая система автономного необитаемого подводного аппарата для решения задач в интересах минерально-сырьевого комплекса.

На основе корреляционно-регрессионного анализа и экспертных оценок выделены четыре ключевых фактора: к давлению, надёжность связи, автономность и манёвренность, вокруг которых выстроена модульная архитектура ИУС АНПА. Такая система снижает стоимость и риск подводных операций, ускоряет адаптацию аппарата к новым задачам и служит базой для дальнейшей оптимизации и натурных испытаний, что, в итоге, повышает производительность и безопасность освоения подводных минерально- сырьевых ресурсов.

Патенты/свидетельства на объекты интеллектуальной собственности:

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2024616877 Российская Федерация. Программа для мониторинга параметров автономного необитаемого подводного аппарата. Заявка №2024614882: заявл. 12.03.2024: опубл. 26.03.2024 / Д.Д. Котов, Д.А. Первухин; заявитель/правообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II». – 1 с.

Апробация работы проведена на 4 научно-практических мероприятиях с докладами, в том числе на 4 международных. За последние 3 года принято

участие в 4 научно-практических мероприятиях с докладами, в том числе на 4 международных:

1. XIII Международная научная конференция «Транспортная инфраструктура для устойчивого развития регионов» (октябрь 2022 г., г. Красноярск),

2. Международная научно-практическая конференция «Прорывные технологии в разведке, разработке и добыче углеводородного сырья» (ноябрь 2022 г., г. Санкт-Петербург),

3. VIII Международная научная конференция «MANAGEMENT, ECONOMICS, ETHICS, TECHNICS – MEET 2022» (октябрь 2022 г., г. Санкт-Петербург),

4. VI Международная научно-исследовательская конференция «Наука. Технологии. Общество» (ноябрь 2022 г., г. Саратов).

В диссертации Котова Дмитрия Дмитриевича отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: профессора кафедры систем управления и информационных технологий Пятигорского института (филиала) СКФУ, д.т.н., профессора **И.М. Першина**; заведующего кафедрой математического моделирования и прикладной информатики Института водного транспорта ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова», д.т.н., профессора **С.В. Колесниченко**; ведущего инженера Санкт-Петербургского филиала ПАО «НПО «Стрела», д.т.н., профессора **К.А. Злотникова**; ведущего инженера ПАО «НПО «Алмаз» НПО-СПБ, д.т.н., профессора **А.Н. Кивалова**; профессора кафедры радиотехнических систем ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», д.т.н., профессора **А.А. Филипова**; начальника группы АО «ЦКБ МТ «Рубин», к.т.н. **А.Н. Пономарева**; старшего научного сотрудника 3 научно-исследовательского отдела НИЦ (РВиА) Михайловской военной артиллерийской академии, к.т.н., доцента **М. Левицкого** и начальника НИЦ (РВиА), к.воен.н., доцента **С. Сысуева**; профессора кафедры «Динамика и управление полетов летательных аппаратов» ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова», д.т.н., профессора **А.О. Толпегина**; ведущего инженера департамента ВВСТ АО «Лазерные системы», к.т.н., доцента **В.В. Ефимова**.

В отзывах дана положительная оценка диссертационного исследования, отмечена актуальность выбранной темы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость диссертационного исследования, логическое построение работы с использованием актуальной научной и статистической информации, однако отмечены ряд замечаний:

1. В работе представлены результаты сравнительного анализа трех вариантов ИУС АНПА, однако не описан метод, по которому был сделан вывод о предпочтительности «Варианта С». Приведенные критерии (полнота,

точность, надежность и др.) являются разнородными и имеют разную важность (вес) для конечного заказчика. Из автореферата неясно, каким образом осуществлялась многокритериальная оценка вариантов ИУС АНПА и выбор из них наиболее предпочтительного (д.т.н. **И.М. Першин**);

2. Из содержания автореферата неясно, в каком объеме проведен сравнительный анализ зарубежных схмотехнических решений в области ИУС АНПА и отечественных разработок. Результаты указанного сравнительного анализа имеют практическую ценность для адаптации лучших решений к отечественным условиям (д.т.н. **И.М. Першин**);

3. В автореферате не приведена математическая модель гидродинамических характеристик АНПА, не указаны фактические коэффициенты этой модели, а также способ их определения, что затрудняет оценку параметров его движения при произвольном сочетании углов атаки, дрейфа и угловых скоростей (к.т.н. **А.Н. Пономарев**);

4. В автореферате отсутствует информация о запасах устойчивости САУ по амплитуде, фазе и временной задержке, а также из его содержания неясно, меняются ли коэффициенты САУ в зависимости от параметров движения АНПА (хотя бы от продольной скорости движения) (к.т.н. **А.Н. Пономарев**);

5. В работе отсутствует подробный анализ рисков, связанных с длительной автономной работой АНПА. В частности, не рассмотрено влияние возможных отказов датчиков, перебоев связи и других нештатных ситуаций на функционирование ИУС в долговременной перспективе. Учёт подобных факторов имеет важное значение при практическом внедрении АНПА, особенно в отдалённых районах без возможности оперативного вмешательства оператора. Хотелось бы видеть в диссертации хотя бы оценочные соображения по надежности системы при длительной автономности (к.т.н. **В.В. Ефимов**);

6. Вместе с тем, по содержанию автореферата следует отметить, что в работе в качестве базового метода синтеза автором выбран классический метод на основе ПИД - регуляторов с последующей оптимизацией. Однако для сложного многоканального нелинейного объекта управления, каким является АНПА, работающий в условиях неопределенности и внешних возмущений, данный подход может оказаться недостаточным. Из автореферата неясно, исследовались ли в работе альтернативные современные архитектуры управления (нелинейное управление, адаптивные, робастные регуляторы), которые потенциально могут обеспечить более высокое качество управления (д.т.н. **А.А. Филипов**);

7. Судя по автореферату, в процессе исследования автором в работе сделан акцент на функциональные возможности системы. При этом в недостаточной степени проанализированы ограничения предлагаемых решений. Например, из автореферата неясно, какова чувствительность системы управления к изменению гидродинамических характеристик АНПА при его оснащении дополнительным оборудованием (манипуляторами,

датчиками и др.), как решается проблема накопления ошибок навигации (дрейф) при длительных миссиях и др. (д.т.н. **А.О. Толпегин**);

8. Из автореферата неясно, рассматривались ли в диссертационной работе вопросы кибербезопасности ИУС АНПА в условиях возможной дезорганизации связи или внешнего вмешательства (д.т.н. **А.О. Толпегин**);

9. Предложенные автором решения нацелены на исследование и синтез информационно-управляющих систем определенного типа автономных необитаемых подводных аппаратов, однако было бы полезно расширить и обобщить диапазоны технических данных и параметров моделирования (особенно глубины, курса, дальности действия, показателей переходных процессов и др.) на другие аппараты подобного класса, а также решаемые задачи геологоразведки и инспекции трубопроводов (д.т.н. **С.В. Колесниченко**);

10. В качестве замечания следует отметить, что основные результаты диссертационного исследования получены, в основном, путем имитационного моделирования. Для дальнейшего их подтверждения и уточнения на реальных объектах представляется целесообразным проведение натурных испытаний на реальных АНПА со сравнительной оценкой по основным показателям и техническим характеристикам (точностным навигационным параметрам, параметрам управления, динамической устойчивости, надежности, энергоэффективности и др.) (к.т.н. **М. Левицкий** и к.воен.н. **С. Сысуев**);

11. Из содержания автореферата не видно, каким образом автор учитывает случайные возмущения при моделировании динамики АНПА с использованием уравнений (2) и (3), приведенных на стр. 14 и 16 автореферата (д.т.н. **К.А. Злотников**);

12. Имеются отдельные стилистические погрешности изложения материала диссертации на стр. 13 и 14 автореферата (д.т.н. **К.А. Злотников**).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием исследований и публикаций по теме диссертационной работы и их компетентностью в области диссертационного исследования.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана научно-методологическая концепция разработки и построения специализированных информационно-управляющих систем (ИУС) автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) для решения задач минерально-сырьевого комплекса (МСК) России в морских акваториях, включающая концептуальную модель ИУС АНПА и метод ее структурно-параметрического синтеза;

предложены рациональные варианты архитектуры ИУС АНПА и комплекс предъявляемых к ней требований, алгоритмы функционирования каналов управления и схмотехнические решения системы управления и информационного обеспечения;

доказана эффективность и практическая реализуемость разработанных подходов, установлены зависимости между спецификой задач МСК и структурно-параметрическими характеристиками ИУС АНПА;

введены уточнённые требования к ИУС АНПА, предназначенных для решения задач МСК в морских акваториях (условия Арктики, подлёдные и глубоководные операции, ограниченная связь и др.), а также система показателей качества ИУС (полнота геологоразведки/мониторинга, точность и стабильность навигации, надёжность, энергоэффективность, совместимость, «эффективность на единицу стоимости» и др.).

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана необходимость разработки специализированных ИУС АНПА, адаптированных под задачи МСК и учитывающих влияние условий эксплуатации (подлёдные/глубоководные работы, удалённость инфраструктуры, ограниченная связь) на ее рациональную структуру и параметры; сформированы и подтверждены экспертно-статистическим анализом критерии и модели оценки эффективности; применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использован** комплекс методов системного анализа, структурного и параметрического синтеза, математического и имитационного моделирования (MATLAB/Simulink), а также экспертные процедуры ранжирования факторов;

изложены основы проектирования ИУС АНПА: формализация 6-мерной модели движения АНПА, иерархическая структура свойств ИУС АНПА, принципы разработки многоконтурных ПИД-регуляторов;

раскрыты основные недостатки существующих схмотехнических решений АНПА (недостаточная автономность и интеллектуализация систем управления, несоответствие унифицированных ИУС требованиям задач МСК), выявлены новые задачи АНПА для решения задач МСК в морских акваториях;

изучены причинно-следственные связи между внешними факторами среды, конструктивно-технологическими характеристиками АНПА и решаемыми задачами в интересах МСК; показано влияние ограничений времени работы аппарата и связи на качество навигации АНПА и качество проведения геологоразведки;

проведена модернизация используемых моделей и алгоритмов: уточнена 6-мерная модель с учётом конфигурации движителей, разработаны алгоритмы координации каналов и настройки ПИД-регуляторов, усовершенствованы процедуры имитационной отработки типовых сценариев решения задач МСК в морских акваториях.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены результаты исследования при выполнении составной части НИР в Михайловской военной артиллерийской академии (акт внедрения от 16.01.2025);

определены условия практического использования разработанной ИУС АНПА: арктические и подлёдные миссии, геологоразведка, инспекция трубопроводов и кабельных трасс, экологический мониторинг при ограниченной внешней связи;

создана модель эффективного применения АНПА – разработаны имитационные сценарии трёх типов выполняемых АНПА задач и выработаны практические рекомендации по выбору структуры ИУС АНПА и настройке регуляторов;

представлены научно-методические рекомендации для проектных, исследовательских и эксплуатационных организаций МСК по структурно-параметрическому синтезу ИУС АНПА, планированию миссий и организации испытаний ИУС АНПА.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ

результаты получены в лицензированной программной среде MATLAB/Simulink на основе стандартных и апробированных библиотек, показана воспроизводимость при варьировании сценариев решения задач МСК и параметров;

теория построена на известных и проверяемых данных и моделях динамики подводных аппаратов, согласуется с опубликованными результатами натурных испытаний и моделирования;

идея базируется на анализе практики применения АНПА и обобщении передового отечественного и зарубежного опыта;

использованы сопоставления данных моделирования автора с данными, приведёнными в научных публикациях и отчётах по аналогичным аппаратам и условиям применения;

установлено качественное и количественное согласование достигнутых показателей точности и устойчивости управления АНПА с независимыми источниками там, где такое сравнение корректно и обосновано;

использованы современные методики сбора и обработки исходной информации, репрезентативные наборы имитационных сценариев с обоснованием выбора параметров аппарата и среды, что обеспечивает корректность оценок эффективности и переносимость результатов в практику решения задач МСК.

Личный вклад соискателя состоит в постановке цели и задач диссертационного исследования; проведении анализа и обобщения зарубежной и отечественной научно-технической литературы по теме исследования; разработке концептуальной модели информационно-управляющей системы автономного необитаемого подводного аппарата; создании метода структурно-параметрического синтеза компонентов ИУС АНПА; реализации и апробации имитационной модели предложенных решений, а также в формулировке выводов и рекомендаций, имеющих практическое значение для минерально-сырьевого комплекса России.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Котов Дмитрий Дмитриевич ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию по обоснованию положений диссертационной работы.

На заседании 17.09.2025 диссертационный совет принял решение присудить **Котову Дмитрию Дмитриевичу** ученую степень кандидата технических наук за решение научной задачи по разработке научно-методологических основ создания и применения специализированных информационно-управляющих систем автономных необитаемых подводных аппаратов для повышения эффективности геологоразведочных и инспекционных работ минерально-сырьевого комплекса России в условиях Арктики и Мирового океана, включающих концептуальную модель ИУС, и метод структурно-параметрического синтеза, что имеет существенное значение для развития отечественной подводной робототехники и обеспечения технологического суверенитета страны.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 4 докторов наук (по научной специальности рассматриваемой диссертации), участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 14, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета

17.09.2025 г.



Бажин
Владимир Юрьевич

Васильева
Наталья Васильевна