

ОТЗЫВ

дополнительного члена ДС.ТПУ.15, д.т.н., профессора Букреева Виктора Григорьевича на диссертационную работу Хожаева Ивана Валерьевича «Синтез адаптивного и робастного регуляторов для модального двухрежимного управления движением необитаемого подводного аппарата» по специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук

На отзыв предоставлена рукопись диссертационной работы объёмом 201 страниц основного текста, состоящая из введения, пяти глав, заключения и списка литературы из 111 наименований, 84 рисунков, 7 таблиц и 1 приложения, а также ее автореферат. Объем, структура диссертации и автореферата соответствуют рекомендациям ВАК РФ и ГОСТ Р 7.011-2011.

Актуальность темы работы

Необитаемые подводные аппараты (НПА) являются сложными динамическими объектами, действующие в изменчивых условиях водной среды, позволяющие выполнить широкий спектр исследовательских и промышленных работ в недоступных для человека условиях. Упомянутые работы могут быть связаны с определением границ территорий, добычей полезных ископаемых, контролем состояния гидротехнических сооружений и прочими. Очевидно, что развитие подводной робототехники и совершенствование систем автоматического управления движением подводных роботов предполагает использование новых решений.

Диссертационная работа посвящена разработке математического и алгоритмического обеспечения систем автоматического управления движением необитаемых подводных аппаратов с учетом многоканальности контуров регулирования, нелинейности характеристик и нестабильности их параметров. Выбранная тема представляется своевременной и актуальной научно-технической задачей.

Анализ структуры и содержания работы

Во введении диссертации обоснована актуальность темы исследования, приведены цели и задачи диссертационной работы. Сформулированы элементы научной новизны и положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертации автором проведен анализ предметной области. Была изучена практика применения необитаемых подводных аппаратов с различной полезной нагрузкой на борту; проанализированы проблемы управления движением необитаемых подводных аппаратов и подходы к их решению. По результатам анализа предметной области сформулированы требования к системам управления движением

необитаемых подводных аппаратов, поставлена конкретная научно-техническая задача исследования.

Во второй главе диссертации изложена математическая модель элементов системы автоматического управления движением необитаемого подводного аппарата в форме передаточных функций с интервальными параметрами. Несмотря на то, что модель приводится для всех шести степеней свободы, задача синтеза регуляторов системы управления рассмотрена на упрощенном примере управления движением необитаемого подводного аппарата в вертикальной плоскости, то есть только в трех степенях свободы. Предложена структура такой системы. Приведен пример применения модели для описания конкретного подводного аппарата, в том числе описана процедура оценки его интервальных параметров.

В третьей главе на основе интервального расширения метода корневого годографа разработано правило поиска вершин параметрического многогранника, определяющих положение областей локализации полюсов системы в двух конфигурациях: с одним вещественным доминирующим полюсом и с двумя комплексно-сопряженными доминирующими полюсами.

В четвертой главе на основе принципа доминирования полюсов разработаны методики параметрического синтеза типовых линейных модальных регуляторов пониженного порядка, обеспечивающих желаемые значения корневых показателей качества управления в системах с интервальными параметрами. Разработанные методики позволяют синтезировать робастные и адаптивно-робастные типовые регуляторы пониженного порядка. При этом первые, имея постоянные параметры, обеспечивают изменение степени робастной устойчивости и степени робастной колебательности в узких диапазонах. Вторые за счет подстройки части параметров регулятора позволяют обеспечить постоянные значения этих показателей. Показаны примеры синтеза регуляторов, подтверждающие работоспособность методик.

В пятой главе описано применение разработанных математической модели и методик для синтеза регуляторов системы автоматического управления движением необитаемого подводного аппарата в вертикальной плоскости. Качество регулирования в синтезированной системе подтверждается переходными характеристиками и расположением областей локализации полюсов отдельных каналов системы, а также имитационным моделированием одновременной работы трех синтезированных каналов системы для многосвязной нелинейной нестационарной модели объекта управления. По результатам моделирования даны рекомендации по применению разработанного математического обеспечения.

В заключении сформулированы выводы по проделанной работе и перечислены основные научные результаты.

Научная новизна

Научная новизна работы заключается в следующем:

- предложена линеаризованная математическая модель системы управления движением НПА в шести степенях свободы, позволяющая учесть изменение значений кинематических параметров аппарата на определенном интервале;
- разработано правило определения наборов вершин многогранника коэффициентов интервальных характеристических полиномов различных порядков, включающих в себя прообразы заданных комплексно-сопряженных доминирующих полюсов и граничных свободных полюсов систем управления;
- предложена методика параметрического синтеза адаптивных и робастных модальных регуляторов пониженного порядка с постоянными параметрами, гарантирующих желаемые значения корневых показателей робастного качества систем управления на основе принципа доминирования полюсов и метода вершинного D-разбиения;

Перечисленные элементы новизны образуют математическое обеспечение, позволяющее синтезировать исполнительный уровень системы управления движением необитаемого подводного аппарата с учетом его нелинейности, многосвязности и неустойчивости параметров, используя при этом линейные регуляторы с постоянными или подстраиваемыми коэффициентами.

Достоверность полученных результатов

Достоверность и обоснованность научных результатов в достаточной степени подтверждается строгостью математических выводов, результатами вычислительных экспериментов и апробацией в рамках конференций всероссийского и международного уровня.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов

Теоретическая значимость результатов диссертационной работы состоит в дополнении некоторых разделов теории автоматического управления: в части методики исследования параметрических многогранников технических систем с интервальными значениями и синтеза регуляторов для модального управления такими системами.

Практическая значимость результатов диссертационной работы подтверждается их внедрением в научно-исследовательскую и образовательную деятельность подразделений ТПУ и ООО «50ом Тех.», а также их использованием при выполнении НИР по грантам: Госзадание «Наука» №4.1751.ГЗП.2017 «Программно-измерительный комплекс для управления движением необитаемых подводных аппаратов в условиях нестационарности параметров»; РНФ №18-79-00264 «Разработка многорежимной системы управления движением необитаемого подводного

аппарата с нестационарными параметрами на основе анализа взаимовлияния каналов регулирования».

Основные научные результаты в достаточной степени опубликованы в журналах и апробированы на конференциях разного уровня, что отражено в списке основных публикаций автора.

Соответствие содержания автореферата содержанию диссертации.

Содержание автореферата полностью отражает текстовый материал диссертационной работы, полученные в ней научные результаты, основные выводы и приведенные рекомендации.

Замечания по диссертационной работе

1. Приведенные в четвертой главе примеры синтеза регуляторов на основе разработанных методик выполнены для передаточных функций объекта управления с различными значениями интервальных параметров. Нагляднее было бы применить разработанные методики к одному объекту и сравнить результаты синтеза.

2. Требуется дополнительное пояснение критерия выбора коэффициентов пропорциональных регуляторов в каналах управления глубиной погружения и дифференлом погружного аппарата.

3. Присутствуют незначительные опечатки и неточности верстки (например, подпись к рисунку 2.10 находится на стр. 61, а сам рисунок – на стр. 60).

Следует отметить, что указанные замечания не снижают качество работы и не оказывают значительного влияния на основные результаты диссертационного исследования.

Заключение

Принимая во внимание вышеизложенное, считаю, что диссертация «Синтез адаптивного и робастного регуляторов для модального двухрежимного управления движением необитаемого подводного аппарата» соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, изложенным в п. 2.1 Порядка присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, а Хожаев Иван Валерьевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Я, Букреев Виктор Григорьевич, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанных с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Дополнительный член ДС.ТПУ.15,
д.т.н., профессор, профессор

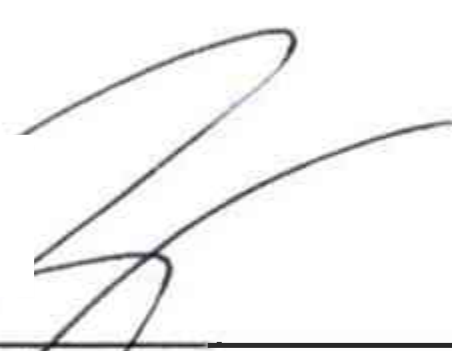
отделения электроэнергетики и электротехники
Инженерной школы энергетики,
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский
Томский политехнический университет»

 /Букреев В.Г./

Дата « 16 » ноября 2023 г.

634050, г. Томск, пр. Ленина, д.30, Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования «Национальный
исследовательский Томский политехнический университет»;
+7 (3822) 701-777, доб. 1991;
e-mail: bukreev@tpu.ru

Подпись Букреева В.Г. заверяю
Ученый секретарь НИ ТПУ 

 /Кулинич Е.А./

