

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента Шеленка Евгения Анатольевича  
на диссертационную работу Хожаева Ивана Валерьевича на тему  
«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» на соискание ученой степени кандидата технических наук.

### **Общие сведения о диссертации**

Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» под руководством кандидата технических наук, доцента Гайворонского С.А.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, приложений. Работа содержит 201 страницу основного текста, 84 рисунка, библиографический список из 111 наименований, 3 страницы приложений.

### **Актуальность темы диссертационного исследования**

Задачи проектирования и разработки систем управления необитаемыми подводными аппаратами (НПА) имеют важное значение для современной теории и практики автоматического управления. Важность подобных проблем в первую очередь обусловлена широким спектром применения НПА. Например, такие аппараты используются при гидролокационных исследованиях морфологии рельефа морского дна, идентификации подводных целей с определенными географическими координатами, обследовании различных донных сооружений, магистральных трубопроводов, подводных кабелей, портовых акваторий и в других целях. При этом в большинстве случаев основная проблема заключается в необходимости разработки простых в реализации и вместе с этим эффективных алгоритмов управления движением НПА. В качестве подходов к проектированию регуляторов для НПА наиболее целесообразным является использование методов теории адаптивного и/или робастного управления. Кроме этого, в настоящее время весьма важным является вопрос импортозамещения практически всей технической, технологической и программной продукции, что еще более обостряет необходимость в проведении исследований и разработок в области современной технической кибернетики.

Диссертация Хожаева И. В. посвящена разработке математической модели и методик синтеза адаптивно-робастных и робастных регуляторов систем автоматического управления движением НПА. Тема исследования неразрывно связана с тенденцией развития подводной робототехники и современным направлением разработки методик синтеза регуляторов для систем автоматического управления с нестационарными параметрами.

Исходя из вышеизложенного тема диссертационного исследования, безусловно, является актуальной и востребованной.

## Новизна, значимость и полученные результаты работы

К научной новизне автор диссертации относит:

1. Интервально-линеаризованную математическую модель нестационарной системы управления движением НПА в шести степенях свободы, декомпозированная заменой кинематических параметров движения в перекрестных связях на интервалы их значений.

2. Правило поиска наборов вершин многогранника коэффициентов интервальных характеристических полиномов различных порядков, включающих в себя прообразы заданных комплексно-сопряженных доминирующих полюсов и граничных свободных полюсов систем управления.

3. Методику параметрического синтеза робастных модальных регуляторов пониженного порядка с постоянными параметрами, гарантирующих желаемые квазипостоянные значения корневых показателей робастного качества систем управления на основе известных принципа доминирования полюсов и метода вершинного D-разбиения.

4. Методику параметрического синтеза адаптивно-робастных модальных регуляторов пониженного порядка, гарантирующих желаемые постоянные значения корневых показателей робастного качества систем управления на основе известных принципа доминирования полюсов и метода вершинного D-разбиения.

Анализ содержания диссертации показывает, что проведенные автором исследования дают основания для этих формулировок.

Во *введении* описана актуальность работы, приведены цель и задачи.

В *первой главе* приведены результаты анализа текущего состояния предметной области; определен рассматриваемый класс подводных аппаратов; изучены часто применяемые типы полезной нагрузки и режимы движения; сформулированы проблемы управления и требования к системам управления движением необитаемых подводных аппаратов.

Во *второй главе* выполнено математическое моделирование элементов исследуемой системы, показана процедура оценки интервальных параметров системы; предложена структура системы автоматического управления движением необитаемого подводного аппарата в вертикальной плоскости.

В *третьей главе* разработано правило поиска критических вершин параметрического многогранника системы, определяющих расположение областей локализации полюсов при различных целевых значениях корневых показателей качества.

В *четвертой главе* разработаны методики синтеза линейных ПИД-регуляторов и ПИ-регуляторов, обеспечивающих заданные значения корневых показателей качества в условиях интервальной неопределенности параметров системы. При этом регуляторы с постоянными параметрами обеспечивают стабилизацию корневых показателей качества в узких заранее заданных диапазонах; регуляторы с подстраиваемыми параметрами обеспечивают точные значения корневых показателей качества.

В *пятой главе* поэтапно показана разработка имитационной модели исследуемой системы с учетом ее нелинейности, многосвязности и нестационар-

ности параметров. Разработанная модель позволила подтвердить работоспособность синтезированной системы в различных режимах.

В *заключении* обобщены выводы по отдельным главам, даны рекомендации по применению результатов диссертации и обозначены дальнейшие направления развития работы.

Результаты диссертационной работы служат основой синтеза исполнительного уровня систем автоматического управления движением НПА, основанного на типовых регуляторах пониженного порядка, и сохраняющего работоспособность при наличии параметрической неопределенности системы.

Теоретическая значимость работы подтверждается упрощением синтеза вышестоящих уровней системы управления движением НПА. Практическая значимость обусловлена возможностью синтеза системы управления движением НПА с квазипостоянными или постоянными показателями робастного качества на основе типовых ПИ-регуляторов и ПИД-регуляторов с существенным снижением объема экспериментальных данных НПА при их идентификации. Значимость результатов работы подтверждается научными публикациями и актами внедрения.

Автореферат в достаточной степени раскрывает содержание и наиболее значимые результаты работы.

Новизна и значимость полученных в рамках диссертационного исследования результатов не вызывает сомнений.

### **Степень обоснованности и достоверности научных положений и выводов**

Основные положения, составляющие научную новизну, достаточно полно обоснованы теоретическими и экспериментальными исследованиями. При решении вопросов, связанных с синтезом алгоритмов управления движением НПА, автор опирается на методы математического анализа, теории автоматического управления, основы интервального анализа, метод корневого годографа и его интервальное расширение, методы математического и компьютерного моделирования, а также методы программирования и отладки.

Выполненные диссертантом эксперименты в целом подтверждают выводы теоретических исследований.

### **Значимость выводов и рекомендаций диссертации**

Комплекс положений, составляющих научную новизну, можно расценивать как заметный вклад в развитие теории автоматического управления в приложении к разработке эффективных алгоритмов управления НПА в условиях неполной информации.

Разработанные в диссертационной модели и алгоритмы систем управления НПА имеют высокую практическую значимость.

### **Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертациям**

Совокупность результатов исследований, обладающих научной новизной и практической значимостью позволяет сделать вывод, что диссертационная

работа выполнена на актуальную тему и отвечает требованиям, предъявленным к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Основные результаты диссертации содержатся в 19 публикациях автора, среди которых: 8 работ, опубликованных в изданиях, входящих в Перечень российских рецензируемых научных журналов (все проиндексированы в базах Scopus и (или) Web of Science); 11 статей в сборниках трудов международных и российских конференций, 9 из которых проиндексированы в базе данных Scopus.

### **Замечания по работе**

1. Передаточные функции системы управления движением необитаемого подводного аппарата приведены для шести степеней свободы. Однако, синтез регуляторов и имитационное моделирование выполнены для трехсвязной системы управления движением подводного аппарата в вертикальной плоскости.

2. При составлении математической модели принято допущение о том, что угол атаки не превышает  $30^\circ$  по модулю, однако имитационное моделирование проведено для угла атаки в  $45^\circ$ .

3. Показан синтез регуляторов системы управления движением необитаемого подводного аппарата только при помощи предлагаемых автором методик. Было бы интересно сравнить системы, полученные с помощью предлагаемых методик и других подходов, упомянутых при анализе предметной области (регуляторы на основе нечеткой логики, нейросетевые регуляторы).

4. При разработке регулятора системы управления скоростью движения и глубиной погружения НПА по возмущению (п. 5.1.3) в качестве возмущающего воздействия рассматривается скорость подводного течения, которая задана с постоянным значением (в виде константы). Возникает два вопроса: 1) действительно ли данный параметр всегда постоянный; 2) сохранит ли система показатели качества и работоспособность, если внешнее возмущение будет задано переменной величиной (например, в виде гладкой функции)?

Указанные выше замечания не являются существенными, не снижают значимости проведенных научных исследований и не влияют на общую положительную оценку работы.

### **Заключение**

Диссертационная работа Хожаева Ивана Валерьевича «Синтез адаптивного и робастного регуляторов для модального двухрежимного управления движением необитаемого подводного аппарата» представляет собой законченное научное исследование, содержащее новые, надлежащим образом опубликованные и апробированные научные результаты.

Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Диссертация написана доходчиво, грамотно, аккуратно оформлена. По каждой главе и работе сделаны четкие выводы.

Диссертация отвечает требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, изложенным в п. 2 «Порядка присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском

Томском политехническом университете», а ее автор Хожаев Иван Валерьевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Я, Шеленок Евгений Анатольевич, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент,  
д.т.н., доцент, профессор высшей школы  
кибернетики и цифровых технологий  
Политехнического института,  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Тихоокеанский государственный  
университет»

 /Шеленок Евгений Анатольевич/

Дата « 14 » ноября 2023г.

Шеленок Евгений Анатольевич; 680035, Россия, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, д. 136, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тихоокеанский государственный университет»; телефон: +7 8; email: cidshell@mail.ru.

Подпись Шеленка Е.А.  
Завера

 Е.А.