

В диссертационный совет ДС.ТПУ.15 при  
федеральном государственном автономном  
образовательном учреждении высшего  
образования «Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет»  
по адресу: Россия, 634034, г. Томск,  
ул. Советская, 84/3, ауд. 214

### ОТЗЫВ

**на автореферат диссертации Хожаева Ивана Валерьевича «Синтез адаптивного и робастного регуляторов для модального двухрежимного управления движением необитаемого подводного аппарата», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика**

Исследование морских акваторий с применением необитаемых подводных аппаратов (НПА) в последние годы приобретает все более широкое распространение. Это объясняется как большей экономичностью, так и большей скрытностью проводимых исследований, по сравнению с другими способами. Существенно также, что необходимость развития подводной робототехники в Российской Федерации обусловлена стратегией научно-технического развития страны. Однако эффективность исследований с помощью НПА существенно зависит от качества управления его движением. Поэтому тема диссертационной работы Хожаева И. В., посвящённой разработке метода синтеза системы управления движением НПА и исследованию её свойств, является актуальной.

В работе проведен довольно полный анализ известных подходов к синтезу систем управления движением НПА по публикациям как российских, так и зарубежных специалистов. На основе этого анализа автор сформулировал требования к системе управления движением НПА и построил нелинейную связную математическую модель НПА с учетом кинематики, динамики, гидродинамических и гидростатических сил и моментов. Эта модель использовалась автором для имитационного моделирования замкнутой системы при исследовании свойств синтезированной системы управления движением НПА.

В диссертации Хожаевым И. В. предложен новый подход к синтезу нелинейных систем управления, который состоит в линеаризации и замене некоторых нелинейных характеристик интервалами их значений. Граничные значения интервалов предлагается оценивать, исходя из свойств движительно-рулевого комплекса. В результате математическая модель и система управления движением НПА оказываются интервальными. Для решения возникшей при этом проблемы обеспечения устойчивости и точности замкнутой системы, автор диссертационной работы предложил оригинальный метод. Новизна этого метода обусловлена способом обеспечения робастной устойчивости результирующей системы, путем выбора специальных вершин многогранника коэффициентов её интервального полинома. Существенной новизной обладает и метод обеспечения желаемых значений корневых показателей робастного качества систем с интервальными параметрами – путем выбора областей локализации одного вещественного или пары комплексно-сопряженных доминирующих полюсов и размещения свободных полюсов на комплексной плоскости.

На основе предложенного подхода в работе синтезирована система управления движением НПА в вертикальной плоскости. Исследование её свойств проводилось путем имитационного моделирования средствами MATLAB. При этом моделировалась система, приближенная к реальности: движения НПА моделировались нелинейными уравнениями, а двухрежимный регулятор – линеаризованными с интервальными параметрами. Результаты моделирования подтверждают теоретические выводы, полученные в работе.

Практическая значимость диссертации Хожаева И. В. заключается в том, что её результаты позволяют синтезировать робастные системы управления на основе типовых



ПИ- и ПИД-регуляторов. Положения и результаты диссертации в достаточной степени апробированы на научных конференциях и опубликованы в 19 работах, включая статьи в изданиях, рекомендуемых ВАК РФ, и в изданиях, индексируемых в базе данных Scopus.

По тексту автореферата имеются следующие замечания:

1. Замена нелинейной характеристики интервальным коэффициентом, вообще-то, не соответствует традиционному робастному подходу, при котором предполагается, что коэффициенты интервального полинома могут принять любое значение из интервала, но в процессе функционирования системы они остаются постоянными. В тоже время при замене нелинейных характеристик интервальными коэффициентами, процессы в системе управления будут соответствовать изменяющимся коэффициентам.

2. Из автореферата не ясно, на каких основаниях выбирается степень доминирования  $\delta$ , показанная на рисунке 3 (стр. 13).

3. Для расчета модального ПИД-регулятора (стр. 16) необходимо решить систему уравнений относительно его параметров. Из автореферата неясно, доказано ли существование решения этой системы?

Однако приведённые замечания не снижают ценности диссертационной работы.

Исходя из представленных в автореферате сведений, диссертационная работа представляет собой законченное научное исследование, содержит новые и важные с точки зрения практического применения научные результаты; она соответствует требованиям п. 2 Порядка присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Хожаев Иван Валерьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Я, Гайдук Анатолий Романович, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Профессор кафедры систем  
автоматического управления  
Института радиотехнических  
систем и управления,  
федеральное государственное  
автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Южный федеральный университет»

д.т.н., профессор

Гайдук Анатолий Романович

11 2023 г.

Подпись А.Р. Гаидука заверяю  
Директор Института радиотехнических систем  
и управления ЮФУ

Антон Сергеевич Болдырев

2023 г.

Гайдук Анатолий Романович; 344000, Ростовская обл., г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, д. 105/42., федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет»; телефон: +7 9; e-mail: argayduk@sfedu.ru, gaiduk\_2003@mail.ru.