

## **ОТЗЫВ**

**официального оппонента**

**профессора, доктора технических наук**

**Воеводы Александра Александровича**

**на диссертационную работу Цавнина Алексея Владимировича «Синтез робастных регуляторов для систем с интервально-определенными параметрами, гарантирующих нулевое значение перерегулирования», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления»**

### **Актуальность темы диссертации**

Одним из требований, предъявляемых к технологическим процессам и устройствам управления, является отсутствие перерегулирования в контурах систем управления. Задача усложняется требованием сохранения работоспособности при вариации параметров объекта и/или учете нелинейностей входящих в контур управления.

Часть методов синтеза, направленных на обеспечение нулевого перерегулирования, основываются на компенсации полюсов искусственно введенными нулями, усложняющими динамические зависимости. Значение параметров может быть представлено в виде допустимого интервала, что позволяет привлечь возможности интервальной математики и, далее, использовать робастные или адаптивные методы синтеза регуляторов, обеспечивающих нулевое перерегулирование. Автор не рассматривает хорошо развитые робастные методы синтеза, приводящие, как правило, к

регуляторам высокого порядка, что усложняет реализацию контура управления и, кроме того, повышению чувствительности к малым параметрам.

В диссертационной работе исследуется подход, основанный на интервальной математике, развитой в работах отечественных и зарубежных ученых, и, в частности, на ключевой теореме Харитонова В.Л. Таким образом, выбранная тема и направление диссертационной работы ориентированы на решение актуальной научной и промышленной задачи.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Обоснованность полученных результатов диссертационного исследования подтверждена широким использованием научных работ зарубежных и отечественных исследователей в области автоматического управления.

Автором исследованы и проанализированы ключевые работы, посвященные теме перерегулирования и его устранения, а также принципам работы с системами с интервально-определенными параметрами, их анализ и синтез регуляторов для данного класса систем. Этот опыт использован при разработке ПИ(Д)-регуляторов. Библиографический список содержит 136 литературных источников отечественных и зарубежных авторов.

Достаточный уровень объективности и адекватности выводов соискателя базируется на теоретических и прикладных исследованиях, выполненных с применением современных аппаратных и программных средств.

Оригинальность полученных результатов подтверждается использованием в работе публикаций по близкой к исследуемой соискателем тематике как иностранных, так и отечественных источников.



## **Достоверность и новизна полученных результатов**

Достоверность результатов и выводов работы обеспечивается строгостью используемых математических методов, непротиворечивостью результатов и выводов с ранее полученными данными исследований, а также результатами натурного эксперимента на лабораторной и производственной установках.

## **Теоретическая и практическая значимость исследования**

### ***Теоретическая значимость***

Полученные результаты способствуют развитию методов (алгоритмов) автоматического управления и синтеза ПИД-регуляторов и представляют аналитические соотношения между настроечными коэффициентами регулятора и интервальными параметрами объекта управления.

### ***Практическая значимость***

Полученные в ходе исследования результаты позволяют устранить перерегулирование в различных системах управления технологическими процессами с интервально-определенными параметрами. Разработанная методика синтеза регуляторов реализована в виде зарегистрированного программного приложения, позволяющего инженерам осуществлять необходимые расчеты.

## **Оценка содержания диссертации, её завершенность**

Основное содержание диссертационного исследования изложено в четырех главах общим объемом в 134 страницы, и в 7 приложениях объемом 10 стр.

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи, представлены выносимые на защиту положения, научная новизна, практическая значимость результатов

исследования, сведения об апробации работы, публикациях и структуре диссертации.

**В первой главе** проведен тщательный обзор предметной области. Показана критическая значимость перерегулирования для ряда технологических процессов, а также необходимость его устранения во избежание нарушения производственной технологии и возникновения аварийных ситуаций. Рассмотрены различные методы и подходы к синтезу регуляторов различной структуры, представлены их недостатки.

**Во второй главе** для класса линейных стационарных систем управления рассмотрены условия взаимного расположения нулей и полюсов ПФ, обеспечивающие нулевое перерегулирование. Сформулированы аналитические выражения, ограничивающие область значений настроечных коэффициентов ПИД-регулятора, гарантирующие вещественные значения полюсов ПФ ЗС, как одно из условий обеспечения нулевого перерегулирования. Представлены аналитические соотношения, на основе необходимых и достаточных условий нулевого перерегулирования, для расчета коэффициентов ПИД-регуляторов. Сформулировано аналитическое обоснование выбора коэффициента пропорциональности ПИД-регулятора, рассмотрен численный пример.

**В третьей главе** подход к синтезу ПИД-регулятора для объекта выбранного порядка, представленный в Главе 2, был обобщен на класс систем управления с интервально-определенными параметрами с учетом аналитических выражений и зависимостей. Описан способ выбора членов интервального семейства, определяющих ограничения на область допустимых значений настроечных параметров регулятора, обеспечивающих нулевое перерегулирование для всего интервального семейства ПФ. Получен метод расчета краевого набора коэффициентов ПИД-регулятора, обеспечивающего нулевое перерегулирование для систем управления с интервально-определенными параметрами. Рассмотрен численный пример.



**В четвертой главе** диссертационного исследования приведена практическая апробация разработанной методики синтеза регулятора в составе системы управления уровнем жидкости в иммерсионной ванне роботизированной установки ультразвукового контроля.

**В приложении** представлены развернутые записи математических выражений, используемые в основном тексте диссертации для расчета границ приведенного коэффициента дифференцирования и для расчета значения доминирующего полюса ПФ ЗС. В приложениях также представлены блок-схемы разработанной методики, справочная информация, содержащая технические характеристики лабораторного стенда, свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, а также акты внедрения в АО «НИИЭФА», г. Санкт-Петербург и учебный процесс ТПУ.

#### **Замечания по диссертационной работе и автореферату**

1. В работе присутствует значительное количество пунктуационных и стилистических ошибок и опечаток, например, пропущенные запятые и точки (стр. 9 и 11 в автореферате) и грамматические ошибки (стр. 84).
2. В некоторых местах работы отсутствуют ссылки на рисунки, в частности, на рисунки 3.5.1 и 3.6.2.
3. В автореферате на рисунках 7 и 9, а также в диссертационной работе в 4-ой главе на рисунках 4.2.3 и 4.2.5 в интервальном коэффициенте, обозначенным как  $S_{отв}$ , значения границ интервала записаны в неправильном порядке, т.е. от большего к меньшему, в то время как интервальные границы принято обозначать слева-направо от нижней границы к верхней.
4. На рисунке 4.2.1 представлен общий вид установки, но нет графического обозначения ее структурных элементов, хотя по тексту

диссертации упоминаются основные элементы установки с их обозначениями и маркировками и ссылками на данный рисунок.

5. В явном виде не представлен подраздел «Перспективы развития работы», который был бы крайне желательным дополнением к общему заключению по работе как в диссертации, так и в автореферате.
6. Выявлено непропорциональное соотношение объема глав диссертации к их краткому изложению в автореферате, т.е. 3 глава диссертации, объемом 33 страниц, а автореферате представлена на 3 страницах, в то время как 4 глава, объемом 13 страниц, представлена на 7.
7. Нет четкого единообразия в терминологии. В одном и том же контексте автором используются слова «методика», «алгоритм» и «метод».

#### **Соответствие диссертации паспорту специальности**

Тема и содержание диссертации соответствуют паспорту специальности 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления» и соответствует следующим его пунктам: п. 1 – Разработка научных основ создания и исследования общих свойств и принципов функционирования элементов, схем и устройств вычислительной техники и систем управления; п. 2 – Теоретический анализ и экспериментальное исследование функционирования элементов и устройств вычислительной техники и систем управления в нормальных и специальных условиях с целью улучшения технико-экономических и эксплуатационных характеристик.

#### **Соответствие диссертации и автореферата требованиям ГОСТ Р7.0.11-2011**

В целом оформление диссертации и автореферата соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011, однако рекомендуемый объем автореферата несколько превышен и составляет 24 страницы. Автореферат



диссертации полностью отражает основное содержание диссертационной работы.

### **Заключение**

Диссертация Цавнина Алексея Владимировича является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной силами автора на высоком научно-техническом уровне и содержащей новые научные результаты. Автором предложена методика синтеза ПИД-регуляторов, позволяющая обеспечить нулевое перерегулирование в системах с интервально-определёнными параметрами, что является достаточно сложной и актуальной задачей, решению которой уделено немного работ как среди отечественных, так и зарубежных исследователей. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Несмотря на ряд орфографических и пунктуационных неточностей, в целом работа написана технически грамотно, ясным научным языком с достойным изложением. Представленные замечания не являются определяющими.

Кроме того, в достаточной степени убедительно выглядит внедрение автором полученных результатов на установку в АО НИИЭФА им. Д.В. Ефремова в г. Санкт-Петербург, что существенно добавляет работе практической ориентированности, а также подтверждает корректность полученных результатов.

Основные результаты диссертации представлены в 10 печатных работах: 2-е в журналах из перечня ВАК РФ по специальности диссертации, одна в журнале ВАК РФ по смежной специальности, одна в журнале, индексируемом в базах Scopus и WebofScience, имеющий второй квартиль Scopus (Q2). Работа также представлялась на зарубежной международной конференции ICUMT 2019 в г. Дублин автором лично и также имеет соответствующую публикацию в тезисах данной конференции с индексацией

в Scopus и WebofScience. Автором также получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

На основании изложенного можно сделать вывод о том, что оппонируемая диссертационная работа полностью отвечает требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013г. (в ред. Постановлений Правительства РФ от 21.04.2016 № 335, от 02.08.2016 №748, от 29.05.2017 №650, от 28.08.2017 № 1024, от 01.10.2018 № 1168), а её автор –Цавнин Алексей Владимирович - заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления».

Официальный оппонент –

доктор технических наук,

профессор кафедры Автоматики, \_\_\_\_\_

/ А.А. Воевода/

ФГБОУ ВО «Новосибирский

государственный технический

25 октября 2021г

университет»

Контактные данные: 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, д, 20

тел. +7 (383) 346-56-88, +7 (383) 344-49-98

e-mail: voevoda@corp.nstu.ru



Густовалова