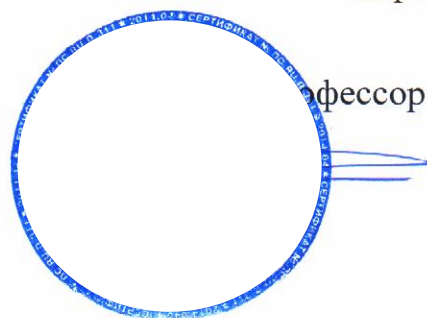


**УТВЕРЖДАЮ:**

Проректор по научной работе ГБАОУ ВО  
«Санкт - Петербургский национальный  
исследовательский университет  
информационных технологий,  
механики и оптики»



профессор

В.О. Никифоров

" \_\_\_\_ " ноября 2016 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики» на диссертационную работу Аполонского Владимира Викторовича на тему: «Методы структурно-параметрического синтеза робастных систем управления состоянием линеаризуемых динамических объектов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами»

**Актуальность темы** обусловлена требованием к постоянному совершенствованию применяемых технологических процессов с целью повышения качества выпускаемой продукции. Выполнение данного требования невозможно без применения эффективных средств автоматизации в условиях значительно меняющихся режимных параметров оборудования при выпуске продукции широкого ассортимента.

Возможности совершенствования систем подчиненного управления на базе типовых П, ПИ, ПИД регуляторов на сегодняшний день практически исчерпаны. В связи с этим перспективным путем повышения качества управления сложными объектами, линеаризуемыми в рабочих точках, считается применение принципа управления по состоянию, реализуемого в системах с безынерционными и динамическими регуляторами. Высокие потенциальные возможности таких систем автоматического управления (САУ) связаны с большим, по сравнению с типовыми регуляторами, числом степеней свободы.

Однако остается не до конца решенной проблема обеспечения параметрической грубости синтезируемых САУ, поскольку применение для этих целей адаптивного управления, а также оптимизационных и интервальных методов робастного синтеза сопряжено с рядом проблем:

- возрастание сложности получаемой системы управления;
- получение нерациональных решений в виде регуляторов с порядком выше порядка объекта;
- сложность предварительной оценки величин отклонения параметров от номинальных значений.

Таким образом, диссертационная работа Аполонского В.В., направленная на выявление закономерностей и причин повышенной параметрической чувствительности САУ и поиск механизмов их преодоления на основе анализа физических особенностей управляемого объекта и модификации традиционных методов теории модального управления, является важной научной и практической задачей.

### **Цель работы**

Целью представленной соискателем диссертационной работы является разработка, исследование и программная реализация модифицированных методов модального структурно-параметрического синтеза устройств управления состоянием линеаризуемых технологических объектов, способных обеспечить улучшение робастных свойств и других показателей качества создаваемых динамических систем.



## **Основные результаты**

К основным результатам работы можно отнести следующее:

1. Разработанную методику детализированного анализа робастных свойств САУ с различными типами регуляторов.
2. Проведенную оценку влияния положительных и отрицательных обратных связей на робастные свойства САУ с безынерционными и динамическими регуляторами состояния, а также систем с наблюдателями состояния различных типов.
3. Разработанный метод видоизменения исходного распределения полюсов САУ путем коррекции неблагоприятных параметров безынерционных регуляторов состояния и полиномиальных регуляторов «входа-выхода» для придания системе робастных свойств.
4. Разработанный метод повышения робастных свойств САУ путем использования дополнительных производных по координатам состояния объекта и выходной координате.
5. Выработанные рекомендации по выбору оптимальной структуры полиномиального регулятора «входа-выхода» для повышения робастных свойств САУ.
6. Разработанный метод редукции безынерционных регуляторов состояния и динамических полиномиальных регуляторов «входа-выхода» с сохранением робастных свойств САУ.

## **Рекомендации по использованию результатов**

Результаты работы рекомендуются к использованию в научно-исследовательских институтах и проектно-конструкторских организациях, занимающихся разработкой и модернизацией систем управления электроприводами постоянного и переменного тока различных технологических машин. Теоретические результаты диссертации рекомендуются к использованию в учебном процессе вузов по электротехническим специальностям.

**Научная новизна** работы состоит в разработке и реализации новых методов проектирования робастных САУ технологическими объектами с безынерционными и динамическими регуляторами состояния:



1. Разработана методика количественной оценки возможностей САУ по компенсации параметрических возмущений при сохранении устойчивости, отличающаяся использованием двухфакторных сечений пространства внутренних параметров системы, позволяющих оценить предельные величины отклонений параметров от начального значения, а также запасы устойчивости.

2. Предложено использовать линейные регуляторы состояния, основанные на введении гибких обратных связей по координатам состояния объекта и его выходной координате, а также на оптимизации передаточной функции регуляторов «входа-выхода» для улучшения робастных свойств и помехоустойчивости синтезируемых САУ.

3. Разработаны методы модального параметрического синтеза модернизированных безынерционных и динамических регуляторов состояния, позволяющие учесть введение новых структурных элементов и обеспечить заданные показатели точности и быстродействия при повышении робастных свойств САУ.

4. Разработаны методы параметрической коррекции регуляторов состояния, позволяющие осуществить перевод САУ из «зоны риска» в «зону робастности», и методы упрощения (редукции) регуляторов при выводе САУ на границу указанных зон, обеспечивающие сохранение робастных свойств при улучшении других показателей качества создаваемых систем (помехоустойчивости, простоты реализации и др.).

### **Обоснованность и достоверность результатов**

Проведенное исследование можно охарактеризовать как научно обоснованное и завершенное, обеспечивающее базу для дальнейшего развития. Обоснованность результатов работы обеспечивается корректным применением методов теории пространства состояний и модального управления, операционного исчисления, аппарата передаточных функций и структурных схем. Достоверность подтверждена проведением соответствующих исследований синтезированных систем управления методом имитационного моделирования на признанных практиками моделях технологического оборудования.

Основные положения диссертации Аполонского В.В. хорошо освещены в открытой печати, докладывались и обсуждались на шести международных

и всероссийских научно-технических конференциях. Автореферат достаточно полно раскрывает основное содержание диссертации.

**Практическая ценность** работы определяется следующим:

1. Выполнена программная реализация методов параметрического синтеза управляющих устройств робастных САУ в виде безынерционных регуляторов состояния и динамических регуляторов «входа-выхода», в том числе полиномиальных регуляторов и регуляторов с асимптотическими наблюдателями состояния, позволяющая автоматизировать и ускорить расчет параметров регуляторов указанных типов.

Соответствующие программные комплексы «Sputnik» для расчета полиномиальных регуляторов и регуляторов состояния, «Skyeyes» для определения областей устойчивости САУ и программа «Синтез модальных регуляторов с гибкими обратными связями» для разработки систем управления зарегистрированы в государственном Реестре программ для ЭВМ.

2. Выполнена аппаратно-программная реализация экспериментального компьютеризированного стенда, позволяющего реализовать комплексные исследования электромеханических систем управления и выполнить всестороннюю оценку показателей их качества и робастных свойств.

Для автоматической настройки безынерционных и динамических регуляторов состояния разработана компьютерная программа «AutoTuner», зарегистрированная в государственном Реестре программ для ЭВМ.

**Замечания по диссертационной работе**

1. В предложенном методе коррекции неблагоприятных параметров регулятора не учитывается возможное ухудшение качества управления системой.

2. Предложенный метод построения областей устойчивости не отражает степени влияния изменения исследуемых параметров на качество управления САУ.



3. В работе рассматривается одновременное влияние лишь одного - двух параметров объекта или регулятора на робастные свойства системы, тогда как подвергаться изменению могут больше двух параметров.

4. В работе не рассматривается помехоустойчивость системы при введении дополнительных гибких обратных связей в структуру регулятора состояния и дополнительных производных в структуру полиномиального регулятора «входа-выхода».

5. В работе некорректно используется термин «нестационарная система», поскольку не приводятся функции изменения параметров объекта от времени.

### **Заключение**

Несмотря на высказанные замечания, диссертационная работа Аполонского В.В. на тему «Методы структурно-параметрического синтеза робастных систем управления состоянием линеаризуемых динамических объектов» на соискание ученой степени кандидата технических наук представляет собой научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований решены задачи, имеющие важное значение для развития промышленности, прежде всего для обновления и замены существующего оборудования.

Основные положения подкреплены теоретическими и экспериментальными исследованиями, отраженными в виде графиков и рисунков. Каждая глава и диссертация в целом содержат выводы по достигнутым результатам. Основные этапы, выводы и результаты приведены в автореферате.

Основные материалы работы полностью отражены в научных публикациях, представленных соискателем ученой степени.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Диссертация соответствует требованиям, предъявляемым ВАК России к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, в том числе пункту 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842 (с изменениями от 21.04.2016 г. №335), а её автор Аполонский Владимир Викторович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата

технических наук по специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами».

Диссертационная работа Аполонского Владимира Викторовича и отзыв обсуждены и одобрены на заседании кафедры электротехники и прецизионных электромеханических систем ГБАОУ ВО «Санкт - Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики» 15 ноября 2016 г., протокол № 11.

Директор мегафакультета компьютерных технологий и управления  
ГБАОУ ВО «Санкт - Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»  
профессор, доктор технических наук  
(812) 232-03-16  
[bobtsov@mail.ru](mailto:bobtsov@mail.ru)



Бобцов Алексей Алексеевич

Заведующий кафедрой электротехники и прецизионных электромеханических систем  
ГБАОУ ВО «Санкт - Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»  
доцент, кандидат технических наук  
(812) 233-83-36  
[tomasov@ets.ifmo.ru](mailto:tomasov@ets.ifmo.ru)



Томасов Валентин Сергеевич

Подпись  
удостоверен  
Начальник  
Университета



*Томасов ВС*

21 ноября 2016 года