

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и инновациям

Пермского национального

исследовательского

политехнического университета

доктор технических наук, профессор

Коротаев В.Н.

» сентября 2019 г.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования

«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

Диссертационная работа Титова Ю.К. *«Адаптивные нечеткие устройства систем управления с гарантированной устойчивостью»* выполнена на кафедре «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета.

В период подготовки диссертации соискатель Титов Юрий Константинович работал в АО «ОДК-СТАР» в должности начальника сектора отдела КО-4 (по настоящее время).

В 1982 году Титов Ю.К. окончил Пермский политехнический институт по специальности «Автоматика и телемеханика». В период с 01 октября 2012 года по 30 сентября 2015 года был прикреплен соискателем ученой степени кандидата наук в Пермском национальном исследовательском политехническом университете.

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент Хижняков Юрий Николаевич, работает профессором кафедры "Автоматика и телемеханика" Пермского национального исследовательского политехнического университета.

По итогам обсуждения диссертационной работы *«Адаптивные нечеткие устройства систем управления с гарантированной устойчивостью»* принято следующее заключение.

1. Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации, заключается в следующем:

- разработал новый метод проектирования адаптивных нечетких регуляторов для систем управления с учетом требований к встроенным системам реального времени;

- создал оригинальный метод синтеза адаптивных фильтров с целью улучшения качества управления с учетом изменения инерционности объекта управления в разных режимах работы;

- разработал метод, обеспечивающий надежность функционирования устройств систем управления с гарантированной устойчивостью на основе применения адаптивных нечетких регуляторов и адаптивных фильтров;

- внедрил результаты исследования, разработанные методы, алгоритмы и программы в процессы проектирования и реализации, с целью повышения надежности функционирования, устройств систем автоматического управления воздушно-реактивными двигателями различного назначения и в учебный процесс Пермского национального исследовательского политехнического университета.

2. Научная новизна диссертационного исследования заключается в разработке теоретической и технической базы для решения важной проблемы – повышения качественных и эксплуатационных показателей элементов и устройств систем автоматического управления, что представлено совокупностью следующих результатов:

- разработан оригинальный метод анализа и синтеза нечетких регуляторов управления двигателем, которые преобразует четкую информацию в нечеткую, отличающийся тем, что применяется адаптивный алгоритм, отвечающий требованиям, предъявляемым к бортовым встроенным системам реального времени;

- создан новый метод анализа и синтеза адаптивных фильтров, оригинальность которого заключается в том, что для улучшения фильтрующих свойств замкнутой системы управления учитывается количественное изменение инерционности объекта управления в разных режимах работы;

- предложен метод обеспечения надежности функционирования систем управления недетерминированными объектами, отличающийся тем, что обеспечивается гарантированный запас устойчивости, основанный на применении условного критерия устойчивости;

– разработаны и доведены до практической реализации и внедрения методы анализа и синтеза элементов и устройств систем управления, разработаны алгоритмы и программы их реализующие, которые позволяют *улучшить показатели* качества управления и повысить надежность функционирования элементов и устройств систем управления.

3. Степень достоверности результатов проведенных исследований

Достоверность научных положений, выводов и практических рекомендаций, предложенных в работе Титова Ю.К., обеспечивается корректным теоретическим обоснованием приведенных утверждений и положений.

Адекватность предложенных моделей обеспечивается применением современных апробированных методов аналитического и имитационного моделирования, разработанного программного инструментария, и подтверждается соответствием сделанных выводов теоретическим и практическим результатам, полученным для устройств систем управления.

Достоверность и соответствие расчетных и экспериментальных оценок подтверждается результатами практического внедрения предлагаемых моделей, методов, алгоритмов и программ элементов и устройств систем управления, разработанных при непосредственном участии автора.

4. Практическая значимость научных результатов заключается в использовании устройств систем управления, полученных на основании предложенных в работе методов, обеспечивающих достижение нового качества управления, надежности функционирования при отсутствии математического описания объекта управления, в условиях неопределенности изменения характеристик объекта управления на основе применения адаптивных элементов систем управления и обеспечения гарантированного запаса устойчивости систем управления.

Результаты диссертационной работы по созданию адаптивных нечетких регуляторов и адаптивных фильтров, реализованные в виде методик проектирования и расчета параметров регуляторов, алгоритмов и программ использованы на предприятии АО «ОДК-СТАР» (г. Пермь) при создании систем управления ВРД.

Разработанные в диссертации научные основы создания и исследования принципов построения и функционирования адаптивных нейро-нечетких регу-

ляторов систем управления воздушно-реактивными двигателями с учетом требований систем жесткого реального времени нашли применение в дисциплине «Алгоритмы нечеткого, нейронного и нейро-нечеткого управления в системах реального времени» программы магистратуры ПНИПУ (г. Пермь) по направлению подготовки «Управление в технических системах».

В ходе работы над диссертацией автором получено 10 патентов России на изобретения.

Список патентов:

1. Титов Ю.К., Дудкин Ю.П., Гладких В.А., Фомин Г.В., Остапенко С.В., Шарифуллин Ю.Г. Патент РФ на изобретение № 2392468 «Способ управления расходом топлива на запуске газотурбинного двигателя»/ Заявка: 2008117244/06, 29.04.2008; дата подачи заявки: 29.04.2008; дата публикации заявки: 10.11.2009 Бюл. № 31, опубликовано: 20.06.2010 Бюл. № 17.
2. Титов Ю.К., Дудкин Ю.П., Гладких В.А., Фомин Г.В. Патент РФ на изобретение № 2329388 «Способ защиты газотурбинного двигателя» / Заявка: 2011100598/06, 05.10.2006; дата подачи заявки: 05.10.2006; опубликовано: 20.07.2008 Бюл. № 20.
3. Титов Ю.К., Савенков Ю.С., Саженов А.Н. Патент РФ на изобретение №2618171 «Способ управления авиационным газотурбинным двигателем на взлетном режиме при пожаре»/ Заявка: 2015146867, 30.10.2015; дата подачи заявки: 30.10.2015; опубликовано: 02.05.2017 Бюл. № 13.
4. Титов Ю. К., Дудкин Ю. П., Гладких В. А., Фомин Г.В., Остапенко С.В. Патент РФ на изобретение № 2468229 «Способ контроля системы управления газотурбинным двигателем» / Заявка: 2010146104/06, 11.11.2010; дата подачи заявки: 11.11.2010; опубликовано: 27.11.2012 Бюл. № 33.
5. Титов Ю. К., Дудкин Ю. П., Гладких В. А., Фомин Г. В. Патент РФ на изобретение № 2472974 «Способ защиты газотурбинного

- двигателя» / Заявка: 2011100598/06, 11.01.2011; дата подачи заявки: 11.01.2011; дата публикации заявки: 20.07.2012 Бюл. № 20; опубликовано: 20.01.2013 Бюл. № 2.
6. Титов Ю. К., Дудкин Ю. П., Гладких В. А., Фомин Г. В. Патент РФ на изобретение № 2472957 «Способ управления газотурбинным двигателем» / Заявка: 2010154327/06, 29.12.2010; дата подачи заявки: 29.12.2010; дата публикации заявки: 10.07.2012 Бюл. № 19; опубликовано: 20.01.2013 Бюл. № 2.
7. Титов Ю. К., Дудкин Ю. П., Гладких В. А., Фомин Г. В. Патент РФ на изобретение № 2474713 «Способ защиты газотурбинного двигателя» / Заявка: 2010154324/06, 29.12.2010; дата подачи заявки: 29.12.2010; дата публикации заявки: 10.07.2012 Бюл. № 19; опубликовано: 10.02.2013 Бюл. № 4.
8. Титов Ю.К., Алексеев П.И., Гладких В.А., Дудкин Ю.П., Фомин Г.В., Остапенко С. В., Мельников В. Н., Кононыхин В. М. Патент РФ на изобретение № 2482024 «Способ управления силовой установкой вертолета» / Заявка: 2010154326/11, 29.12.2010; дата подачи заявки: 29.12.2010; опубликовано: 20.05.2013 Бюл. № 14.
9. Титов Ю. К., Гладких В. А., Дудкин Ю. П., Фомин Г.В., Остапенко С.В. Патент РФ на изобретение № 2474712 «Способ управления расходом топлива в газотурбинный двигатель» / Заявка: 2010154325/06, 29.12.2010; дата подачи заявки: 29.12.2010; опубликовано: 10.02.2013 Бюл. № 4.
10. Титов Ю. К., Гладких В. А., Дудкин Ю. П., Фомин Г. В. Патент РФ на изобретение № 2480601 «Способ управления запуском газотурбинного двигателя» / Заявка: 2011106704/06, 22.02.2011; дата подачи заявки: 22.02.2011; дата публикации заявки: 27.08.2012 Бюл. № 24; опубликовано: 27.04.2013 Бюл. № 12.

5. Ценность научных работ и полнота изложения материала

По теме диссертационной работы соискателем опубликовано 31 научных работ, в том числе 5 – в ведущих рецензируемых научных изданиях, 2 – в изданиях, индексируемых в международной базе цитирования Scopus, 10 патентов России на изобретения, а также 14 публикаций в других изданиях, в том числе материалы конференций.

Основные положения и результаты работы отражены в следующих научных публикациях в изданиях, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий:

1. Титов, Ю.К. Нечеткое управление частотой вращения свободной турбины газотурбинного двигателя / Ю.П. Дудкин, Ю.К. Титов, Р.Г. Филиппенков, Ю.Н. Хижняков // Вестник Московского авиационного института. – 2010. – Т. 17. – № 6. – С. 55-60.

В работе приводятся результаты разработки регулятора частоты вращения свободной турбины газотурбинного двигателя, основанного на принципах нечеткого управления. Протекающие в системе процессы исследованы методом математического моделирования с использованием Matlab-Simulink.

2. Титов, Ю.К. Разработка адаптивного нейро-нечеткого регулятора частоты вращения вентилятора ТРДД / Ю.К. Титов, Р.Г. Филиппенков, Ю.Н. Хижняков, А.А. Южаков // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2013. – № 2. – С. 47-50.

В статье рассмотрены вопросы анализа алгоритмов адаптации формального нейрона, проведен выбор вариантов построения терм-множеств для контура управления дозатором, проведены исследования адаптивного нейро-нечеткого регулятора с целью удовлетворения динамики приемистости и устойчивости управления объекта с переменными коэффициентами.

3. Титов, Ю.К. Нейронечеткий регулятор частоты вращения силовой турбины ТВД на базе Anfis-сети / Ю.К. Титов, Р.Г. Филиппенков, Ю.Н. Хижняков // Мехатроника, автоматизация, управление. № 11., 2013. – С. 20-23.

Статья посвящена проблеме оптимизации параметров нейро-нечеткого регулятора частоты вращения силовой турбины турбовального двигателя на базе ANFIS-сети в среде Matlab-Simulink. Проведен сравнительный анализ работы классического регулятора и нейро-нечеткого регулятора.

4. Титов, Ю.К. Адаптивное управление авиационным двигателем в условиях неопределенности / Ю.П. Дудкин, Ю.К. Титов, Н.Н. Матушкин, Ю.Н. Хижняков, А.А. Южаков // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. № 4. 2013. – С. 240-246.

В данной статье соискатель привел результаты рассмотрения вопроса адаптивного управления авиационным двигателем при отсутствии его математического описания с применением нейронной технологии на примерах регулирования температуры газов за турбиной низкого давления и регулирования частоты вращения ротора вентилятора. Показано, что оба параметра авиационного двигателя как в статике, так и в динамике отвечают требованиям технической эксплуатации.

5. Титов, Ю.К. Проектирование адаптивного нечеткого регулятора положения дозатора ВРД / Ю.Н. Хижняков, А.А. Южаков, Ю.К. Титов // Электротехника, № 11. 2018. – С. 6-11.

В работе представлены результаты разработки и практической реализации системы управления расходом топлива в камере сгорания воздушнореактивного двигателя, которое осуществляется дозирующим устройством (дозатором). Дозирующее устройство приводится в движение гидроцилиндром, который управляется золотниковым усилителем электромеханического устройства. Регулирование расхода топлива в камеру сгорания заключается в позиционировании с заданной точностью дозатора. В работе, для управления дозатором, спроектирован адаптивный астатический нечеткий регулятор положения дозатора, в котором адаптацию фаззификатора предложено выполнять блоком адаптации методом последовательного обучения с помощью рекуррентной формулы. Для преобразования нечеткой информации в четкую дефаззификацию предложено осуществляется методом центроида. Контур управления дозатором входит составной частью в контуры управления параметрами воздушнореактивного двигателя.

6. Titov, Yu.K. A way to increase the quality of the control loops of an aircraft engine / Yu.K. Titov, Yu.N. Khizhayakov, A.A. Yuzhakov // Russian Electrical Engineering. – 2013. – Vol. 84. – No 11. – P. 622-625 (Scopus).

В статье рассмотрен способ введения гарантированного запаса устойчивости в контурах управления авиационными двигателями. Также предложены способы определения эффекта запаздывания авиационного двигателя для корректировки фильтрующих свойств контуров управления с помощью теории чувствительности.

7. Titov, Yu.K. A Way to Design an Adaptive Fuzzy Controller for the Dispenser Position of an Air-Breathing Engine / Yu.N. Khizhayakov, A.A. Yuzhakov, Yu.K. Titov // Russian Electrical Engineering. – 2018. – Vol. 89. – No 11. – P. 621-626 (Scopus).

В статье рассмотрены элементы системы управления расходом топлива в камеру сгорания воздушнореактивного двигателя. Предложен адаптивный астатический нечеткий регулятор положения дозатора, состоящий из фаззификатора, блока для корректировки степени принадлежности фаззификатора, дефаззификатора и интегратора. Фаззификатор реализован из набора линейных терм (отрицательная малая, отрицательная средняя, нормальная, положительная малая, положительная средняя). Для коррекции степеней принадлежности фаззификатора последние дополнительно умножаются на синапсы, настраиваемые блоком адаптации с элементом сравнения и встроенным сумматором. Предложено выполнять процедуру адаптации путем пошагового обучения с помощью рекуррентной формулы. Для преобразования нечеткой информации в четкую информацию реализован дефаззификатор, в котором предложено использовать пять унимодальных функций принадлежности.

6. Соответствие содержания диссертации специальности, по которой она рекомендуется к защите.

По поставленной цели, задачам исследования и основному содержанию диссертационная работа Титова Ю.К. соответствует формуле научной специальности **05.13.05** – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления: посвящена совершенствованию теоретической и технической базы элементов и устройств распределенных информационно-управляемых систем. Диссертационная работа соответствует следующим пунктам паспорта научной специальности **05.13.05: п. 3** «Разработка принципиально новых методов анализа и синтеза элементов и устройств вычислительной техники и систем управления с целью улучшения их технических характеристик», **п. 4** «Разработка научных подходов, методов, алгоритмов и программ, обеспечивающих надежность, контроль и диагностику функционирования элементов и устройств вычислительной техники и систем управления».

7. Соответствие диссертационной работы требованиям, установленным п. 14 «Положения о присуждении ученых степеней»

Соискатель Титов Ю.К., в тексте диссертационной работы корректно ссылается на авторов и(или) источники заимствования материалов, в том числе при использовании результатов научных работ, выполненных им лично или в соавторстве.

По итогам заседания принято следующее заключение:

Диссертационная работа Титова Ю.К. выполнена на высоком уровне, имеет теоретическое и практическое значение и по актуальности, содержанию, научному уровню и полученным теоретическим и практическим результатам удовлетворяет требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842: является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные теоретические, технические и технологические решения, внедрение которых позволит повысить качественные и эксплуатационные показатели элементов и устройств систем управления за счет применения предложенных моделей, методов, алгоритмов и программ.

Диссертационная работа Титова Юрия Константиновича *«Адаптивные нечеткие устройства систем управления с гарантированной устойчивостью»* рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления.

Заключение обсуждено и принято на заседании кафедры «Автоматика и телемеханика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» 14 октября 2019 г. Результаты голосования: присутствовало 25 чел., «за» – 25 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет.

Заведующий кафедрой
«Автоматика и телемеханика»
доктор технических наук,
профессор

 / Александр Анатольевич Южаков

Контактная информация об организации:

Адрес: 614990, Пермский край, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29

Телефон/факс: +7 (342) 219-80-67, 212-39-27

E-mail: rector@pstu.ru