

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке

Пермского национального исследовательского
политехнического университета,
доктор физико-математических наук, доцент

Швейкин А.И.

« 18 » апреля 2023 г.

М.п.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования

«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

Диссертация «Адаптивная групповая логико-динамическая система автоматического управления газотурбинного двигателя на базе нечеткого подхода» выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» на кафедре «Автоматика и телемеханика».

В 2019 году соискатель Сторожев Сергей Александрович окончил магистратуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пермского национального исследовательского политехнического университета» по направлению 27.04.04 Управление в технических системах. С 2019 г. по настоящее время обучается в аспирантуре «Пермского национального исследовательского политехнического университета» по направлению подготовки 27.06.01-Управление в технических системах.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Южаков Александр Анатольевич, заведующий кафедрой «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета.

По итогам обсуждения представленной работы принято следующее заключение.

Представленная Сторожевым Сергеем Александровичем диссертация посвящена разработке моделей, методов и алгоритмов улучшения качества управления технологическими объектами.

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

- проведен анализ принципов построения логико-динамических систем автоматического управления (САУ) подачей топлива в камеру сгорания газотурбинного двигателя (ГТД) с селективным выбором контуров;

- разработано алгоритмическое обеспечение логико-динамических САУ в виде аналитической и имитационной моделей и программной реализации элементов выбора минимума и максимума на базе нечеткой логики;

- предложен метод создания специального математического и программного обеспечения логико-динамических САУ в виде селективных групповых регуляторов на базе нечеткого подхода;

- разработано алгоритмическое обеспечение логико-динамических САУ в виде аналитической и имитационной моделей и программной реализации селективного нечеткого группового регулятора контуров логико-динамической САУ подачей топлива в камеру сгорания ГТД;

- создано алгоритмическое обеспечение логико-динамических САУ в виде аналитической и имитационной моделей и программной реализации селективного адаптивного нечеткого группового регулятора контуров логико-динамической САУ подачей топлива в камеру сгорания ГТД;

- внедрены метод создания селективных групповых регуляторов на базе нечеткой логики и их алгоритмическое обеспечение.

2. Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

- созданы элементы выбора минимального и максимального значений на базе нечеткой логики взамен элементов, основанных на многозначной логике, отличающиеся тем, что они позволяют учитывать одновременно несколько входных значений при формировании выхода с помощью метода среднего взвешенного, что позволяет осуществлять постепенное переключение контуров управления, тем самым устраняя забросы параметров ГТД;

- предложен метод создания селективных групповых регуляторов. Он отличается тем, что для создания селективных групповых регуляторов используются элементы выбора минимального и максимального значений на базе нечеткой логики взамен элементов на базе многозначной логики. Что позволило учитывать сразу несколько значений контуров при формировании управляющего воздействия;

- разработан селективный нечеткий групповой регулятор контуров логико-динамической САУ подачей топлива в камеру сгорания ГТД, который, в отличие от селектора, позволяет учитывать управляющее воздействие сразу нескольких контуров управления, что позволяет повысить качество управления (уменьшить перерегулирование и время переходного процесса);

- разработан селективный адаптивный нечеткий групповой регулятор контуров логико-динамической САУ подачей топлива в камеру сгорания ГТД, который, в отличие от селектора и селективного нечеткого группового

регулятора, позволяет учитывать изменяющиеся условия эксплуатации и, следовательно, повысить ресурс ГТД.

3. Степень достоверности результатов проведенных исследований подтверждается их соответствием результатам, представленным в научных работах других исследователей, а также сопоставлением полученных теоретических выводов, результатов экспериментов, полученных при помощи моделирования, и результатов внедрения.

4. Практическая значимость исследования:

Предложенный инструментарий селективных групповых регуляторов в виде моделей, метода, алгоритмического обеспечения реализован и внедрен в составе перспективной САУ ГТД повышенной тяги на ОАО «ОДК-СТАР» (г. Пермь). По показателям целевой функции качества управления ГТД отмечено, что внедрение результатов работы позволило улучшить качество управления ГТД в идеальных условиях, в условиях влияния слабых флуктуационных и импульсных помех, в условиях деградации САУ ГТД и при отказе контуров-ограничителей на 3.90% по сравнению с селектором;

Теоретические результаты работы внедрены в учебный процесс кафедры «Автоматика и телемеханика» (ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»).

5. Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем:

Результаты диссертационного исследования изложены в 14 публикациях, из них 4 статьи – индексированы в международной базе цитирования Scopus, 4 статьи – в изданиях, включенных в перечень рецензируемых научных изданий, 5 – в других изданиях, получено одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Научные статьи, опубликованные в журналах, рекомендованных ВАК и приравненных к ним:

1. Сторожев, С.А. Адаптивный виртуальный измеритель вредных веществ в камере сгорания ГТД с применением нечеткой технологии / С.А. Сторожев, Д.М. Абдуллин, Ю.Н. Хижняков, В.С. Никулин // Труды МАИ. – 2021. - № 116. – URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=121086>.

В данной работе представлен алгоритмическое обеспечение логико-динамических САУ. Были разработаны аналитическая и имитационная модели блока адаптации. Показан практический пример использования при решении задачи адаптации к изменяющимся условиям эксплуатации. (Вклад соискателя 30 %).

2. Сторожев, С.А. Новый метод адаптации регулятора состояний с применением нечеткой логики / С.А. Сторожев, Ю.Н. Хижняков// Труды МАИ. – 2021. - № 118. – URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=158255>.

В данной работе представлен метод создания специального математического и программного обеспечения логико-динамических САУ. С.А.

Сторожев представил новый метод создания селективных групповых регуляторов, учитывающий применение нечеткой логики. Показан пример использования данного метода при создании селективного адаптивного нечеткого группового регулятора. (Вклад соискателя 40 %).

3. Сторожев, С.А. Виртуальный адаптивный векторно-матричный измеритель окислителя камеры сгорания газотурбинного двигателя / С.А. Сторожев, Ю.Н. Хижняков, В.С. Никулин // Труды МАИ. – 2021. - № 121. – URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=162668>.

В данной работе представлен алгоритмическое обеспечение логико-динамических САУ. Было разработано программное обеспечение блока адаптации. Соискателем были проведены эксперименты, результаты которых показали преимущества разработанного программного обеспечения.

Показан практический пример использования при решении задачи адаптации к изменяющимся условиям эксплуатации. (Вклад соискателя 40 %).

4. Сторожев С.А. Адаптация нечеткого группового регулятора к изменяющимся условиям эксплуатации // Управление большими системами. Выпуск 100. М.: ИПУ РАН, 2022. С.174-193.

В данной работе представлено алгоритмическое обеспечение и метод синтеза логико-динамических САУ в виде аналитической и имитационной моделей и программной реализации адаптивного нечеткого селективного группового регулятора контуров логико-динамической САУ подачей топлива в камеру сгорания ГТД. Проанализированы существующие алгоритмы, используемые в логико-динамических САУ и показаны их недостатки. Обоснован выбор программных средств для проведения эксперимента. Соискателем были проведены эксперименты, результаты которых показали преимущества разработанных модели и алгоритма.

5. Сторожев, С.А. Нейронечеткое управление выбросами вредных веществ авиационного газотурбинного двигателя / С.А. Сторожев, А.А. Южаков, Ю.Н. Хижняков [и др.] // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2020. - Т. 21. - № 6. – С. 348-355. (*Scopus*).

В данной работе представлен метод создания специального математического и программного обеспечения логико-динамических САУ в виде селективных групповых регуляторов. Разработанная методика позволяет создавать селективные групповые регуляторы с помощью применения нечеткой логики в элементах выбора минимума и максимума. Соискателем были проведены эксперименты, позволяющие сделать вывод об эффективности разработанного метода по сравнению с существующими. (Вклад соискателя 30 %).

6. Сторожев, С.А. Селективное управление газотурбинным двигателем / С.А. Сторожев, А.А. Южаков, Ю.Н. Хижняков, В.С. Никулин // Электротехника. – 2020. - № 11. – С. 18-21. (*Scopus*).

В данной работе представлено алгоритмическое обеспечение логико-динамических САУ в виде аналитической и имитационной моделей адаптивного нечеткого селективного группового регулятора контуров логико-динамической САУ подачей топлива в камеру сгорания ГТД. Проанализированы существующие алгоритмы, используемые в логико-динамических САУ (селекторы) и показаны

их недостатки. Обоснован выбор программных средств для проведения эксперимента. Соискателем была построена модель логико-динамической САУ подачи топлива в камеру сгорания ГТД в инженерном математическом комплексе MATLAB Simulink. **(Вклад соискателя 30 %).**

7. Storozhev, S. Gas Turbine Engine Combustion Chamber Pollutant Meter Using Neural Technology / S. Storozhev, Yu. Khizhnyakov, V. Nikulin // Proceedings of the 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus), 26-29 Jan., 2021. P. 934-936. **(Scopus).**

*В данной работе представлено алгоритмическое обеспечение логико-динамических САУ в виде аналитической и имитационной моделей и программной реализации блока адаптации. Показан практический пример использования при решении задачи адаптации к изменяющимся условиям эксплуатации. **(Вклад соискателя 30 %).***

8. Storozhev, S. Fuzzy Adaptive Control of a Stochastic Non-deterministic Object / S. Storozhev, A. Yuzhakov, Yu. Khizhnyakov, V. Nikulin // Proceedings of the 2022 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus), 25-28 Jan., 2022. P. 675-679. **(Scopus).**

*В данной работе представлено алгоритмическое обеспечение логико-динамических САУ в виде программного обеспечения адаптивного нечеткого селективного группового регулятора контуров логико-динамической САУ подачи топлива в камеру сгорания ГТД. Соискателем была произведена оценка эксперимента, которая доказывает преимущества разработанного алгоритма. **(Вклад соискателя 30 %).***

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ, полученные по тематике диссертационной работы:

9. Групповой регулятор на базе нечеткой логики: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2022617353, РФ / С.А. Сторожев, А.А. Южаков, Ю.Н. Хижняков, В.С. Никулин. Опубл. 20.04.2022 г.

Публикации в других изданиях:

10. Сторожев, С.А. Методика проектирования нейронного ПИД-регулятора для управления оборотами газотурбинного двигателя на различных режимах полета / С.А. Сторожев, Ю.Н. Хижняков, В.С. Никулин, Д.М. Абдуллин // XLVI Международная молодежная научная конференция "Гагаринские чтения – 2020", М. - С. 275-276.

*В данной работе представлен алгоритмическое обеспечение логико-динамических САУ. Показан практический пример использования при решении задачи многорежимного управления газотурбинным двигателем. **(Вклад соискателя 25 %).***

11. Сторожев, С.А. Метод переключения регуляторов контуров САУ ГТД / С.А. Сторожев, А.А. Южаков // II Международная конференция "Математическое моделирование", 21-22 июля 2021 г., М. - С. 117-118.

В данной работе представлено алгоритмическое обеспечение и метод синтеза логико-динамических САУ в виде аналитической и имитационной моделей селективного группового регулятора контуров логико-динамической САУ подачи топлива в камеру сгорания ГТД. Соискателем были проведены

эксперименты, результаты которых показали преимущества разработанных модели и алгоритма. **(Вклад соискателя 40 %).**

12. Сторожев, С.А. Нечеткий регулятор состояний / С.А. Сторожев, А.А. Южаков, Ю.Н. Хижняков, В.С. Никулин // Международная конференция "Интеллектуальные системы в науке и технике", 12-18 октября 2020 г., Пермь. - С. 240-246.

*В данной работе представлен метод создания специального математического и программного обеспечения логико-динамических САУ в виде селективных групповых регуляторов. Соискателем был проведен анализ результатов экспериментов. **(Вклад соискателя 25 %).***

13. Сторожев, С.А. Адаптивное двухстороннее мультиагентное управление газотурбинного двигателя / С.А. Сторожев, А.А. Южаков, Ю.Н. Хижняков, В.С. Никулин // Международная конференция "Интеллектуальные системы в науке и технике", 12-18 октября 2020 г., Пермь. - С. 233-240.

*В данной работе представлено алгоритмическое обеспечение логико-динамических САУ в виде программного обеспечения адаптивного нечеткого селективного группового регулятора контуров логико-динамической САУ подачей топлива в камеру сгорания ГТД. Соискателем был проведен эксперимент и оценка результатов по целевой функции, которая доказывает преимущества разработанного алгоритма. **(Вклад соискателя 25 %).***

14. Сторожев, С.А. Групповое управление переопределенными объектами на базе нечеткой логики / С.А. Сторожев, А.А. Южаков // XVIII Всероссийская школа-конференция молодых ученых "УПРАВЛЕНИЕ БОЛЬШИМИ СИСТЕМАМИ", 5-8 сентября 2022 г., Челябинск. – С. 186-194.

*В данной работе представлено алгоритмическое обеспечение и метод синтеза логико-динамических САУ в виде аналитической и имитационной моделей нечеткого селективного группового регулятора контуров логико-динамической САУ подачей топлива в камеру сгорания ГТД. Проанализированы существующие алгоритмы, использующиеся в логико-динамических САУ и показаны их недостатки. **(Вклад соискателя 60 %).***

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

Представленная Сторожевым Сергеем Александровичем диссертационная работа является прикладным научным исследованием в области повышения надежности вычислительных систем и их элементов и имеет фундаментальное и прикладное значение для развития данного направления науки.

Указанная область исследования соответствует пунктам **5, 12** паспорта научной специальности 2.3.3 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами:

п. 5. Научные основы, алгоритмическое обеспечение и методы анализа и синтеза систем автоматизированного управления технологическими объектами.

п. 12. Методы создания специального математического и программного обеспечения, пакетов прикладных программ и типовых модулей функциональных

и обеспечивающих подсистем АСУТП, АСУП, АСТПП и др., включая управление исполнительными механизмами в реальном времени.

7. Соответствие диссертационной работы требованиям, «Положения о присуждении ученых степеней», «Порядка присуждения ученых степеней в ПНИПУ».


Диссертационная работа Сторожева Сергея Александровича отвечает требованиям, установленным п. 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.: автор, Сторожев Сергей Александрович, корректно ссылается в тексте диссертации на авторов и (или) источники заимствования материалов, в том числе при использовании результатов научных работ, опубликованных лично или в соавторстве.

Диссертация «Адаптивная групповая логико-динамическая система автоматического управления газотурбинного двигателя на базе нечеткого подхода» **Сторожева Сергея Александровича** рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.3.3 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Заключение принято на заседании кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета «17» апреля 2023г. (протокол № 11).

Присутствовало на заседании 26 чел. Результаты голосования: «за» – 26 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет.

Заместитель заведующего кафедрой
«Автоматика и телемеханика»,
доктор технических наук, доцент


/ Фрейман В.И./