

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Агапова Александра Андреевича «Синтез интеллектуальных алгоритмов управления транспортными системами с использованием квазиоптимальных законов и нечеткого логического вывода», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.9.8 – Интеллектуальные транспортные системы

Диссертация Агапова А.А. состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и приложений.

### **1. Актуальность темы диссертационного исследования**

Наиболее убедительным аргументом в пользу использования интеллектуальных алгоритмов управления транспортными системами является то, что классические контроллеры требуют знания управляемой системы в виде набора алгебраических и дифференциальных уравнений, которые аналитически связывают входные и выходные данные. Однако эти модели сложны, содержат параметры, которые трудно измерить или которые могут существенно меняться в процессе эксплуатации. Актуальные «точки роста» здесь – синтез алгоритмов управления, в которых используются методы искусственного интеллекта, такие как нечеткая логика, нейронные сети, машинное обучение, эволюционные вычисления и метаэвристики. Основная проблема – в повышение эффективности систем управления транспортными системами за счет синтезированных интеллектуальных алгоритмов.

Существующее разнообразие нелинейных объектов не дает возможности разработать единственный универсальный метод синтеза алгоритмов управления транспортными системами, который был бы одинаково эффективен во всех возможных случаях. В связи с этим работы по созданию новых алгоритмов синтеза управления транспортными системами не теряют своей актуальности. В диссертации рассматриваются и исследуются актуальные вопросы синтеза интеллектуальных алгоритмов управления динамическими системами с использованием квазиоптимальных законов на основе условия максимума функции обобщенной мощности и нечеткого логического вывода, а также предложены

алгоритмы управления, обеспечивающих повышение быстродействия в условиях априорно неизвестных возмущений и параметров системы.

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

В диссертации обоснована авторская гипотеза: эффективным решением задачи синтеза интеллектуальных алгоритмов является совместное применение квазиоптимальных законов на основе условия максимума функции обобщенной мощности в совокупности с нечетким логическим выводом. В рамках достижения цели и решения поставленных задач автор применял ряд продуктивных методологических платформ и инструментов, причем решение каждой последующей задачи опирается на результаты предыдущих этапов исследования, что обуславливает их взаимосвязанность и взаимозависимость, комплексность осмысления и описания предмета исследования.

Для подтверждения теоретических положений автором были проведены эксперименты, связанные с моделированием поведения БПЛА в условиях априорной неточности измерения угла крена, моделированием движения пассажирского поезда с локомотивом ЭП20. Обоснованность основных результатов, выдвинутых соискателем на защите, основывается на согласованности данных эксперимента и научных выводов, на положениях отраженных в статьях.

Обоснованность научных положений диссертационной работы подтверждается также привлечением современных научных публикаций по тематике диссертации, как отечественных, так и зарубежных авторов. Основные положения, выносимые диссертантом для публичной защиты, прошли успешную апробацию в рамках научных конференций российского и международного уровней.

В целом содержание диссертации изложено математически и стилистически грамотно, раскрывает тему и свидетельствует о достаточно высокой степени ее разработанности и обоснованности.

## **3. Соответствие диссертации паспорту научной специальности**

Научные положения, выводы и рекомендации диссертации Агапова А.А. охватывают решение сформулированных задач и соответствуют пп. 1, 6 и 7 паспорта научной специальности 2.9.8. Интеллектуальные транспортные системы (технические науки).

#### **4. Научная новизна диссертационной работы**

К числу основных научных результатов, определяющих научную новизну диссертационного исследования, относятся следующие:

- быстродействующий алгоритм, робастный к изменению параметров нелинейной динамической системы, использующий квазиоптимальные законы и условия максимума функции обобщенной мощности;

- интеллектуальный алгоритм на основе условия максимума функции обобщенной мощности и нечеткого логического вывода Такаги-Сугено, позволяющий эффективно управлять угловым движением транспортной системы типа квадрокоптер по показателю быстродействия в сравнении с конкурирующими решениями;

- интеллектуальный алгоритм автоматического управления скоростью электровоза, позволяющий получить выигрыш по показателю быстродействия достижения заданной скорости электровоза нового поколения с асинхронным тяговым двигателем в различных режимах работы локомотива в сравнении с известным решением.

Таким образом, диссертационная работа обладает рядом новых научных результатов, полученных автором лично.

#### **5. Оценка достоверности полученных результатов**

Автору удалось достаточно полно реализовать свой замысел на реальных примерах синтеза интеллектуальных алгоритмов управления для динамических нелинейных систем управления в условиях внешних возмущений. С использованием полученных алгоритмов построена интеллектуальная система управления беспилотной транспортной системой типа квадрокоптер и разработана система автоматического управления скоростью электровоза с асинхронным тяговым двигателем. Достоверность полученных результатов подтверждается положительными заключениями экспертов, включая заключения на отчет по исследованиям, финансируемым РФФИ «Аспиранты» и грантом ФГБОУ ВО РГУПС.

Кроме того, о достоверности полученных результатов свидетельствует их широкие публикации в реферируемых журналах, неоднократное обсуждение на различных конференциях и симпозиумах, одобрение специалистов в области

интеллектуальных транспортных систем. Имеются акты реализации разработанных решений в НИР, НИОКТР, учебном процессе.

## **6. Подтверждение опубликования основных результатов диссертационной работы**

Основные результаты и положения диссертационной работы достаточно полно отражены в 32 научных публикациях, среди которых 10 статей – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ; 5 статей – в изданиях, индексируемых в библиографической базе Scopus; 17 статей – в материалах всероссийских и международных конференций. Разработанные алгоритмы реализованы программно, имеются 3 свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ. Имеются ссылки на авторов и источники заимствования материалов.

## **7. Соответствие содержания автореферата диссертационной работы**

Содержание автореферата соответствует тексту диссертации и удовлетворяет требованиям ВАК, так как отражает в достаточной степени все основные положения, результаты и выводы диссертационной работы, новизну и значимость научного исследования, показывает структуру диссертационной работы и позволяет составить о ней полное и ясное представление.

## **8. Замечания по диссертационной работе**

1. На стр. 25 выбор нечеткого вывода Такаги-Сугено выглядит не вполне обоснованным. Утверждается, что он наиболее распространенный и представлен в среде Matlab. Однако это утверждение относится, например, и к выводу по Мамдани. Логический вывод Такаги-Сугено сложнее при формировании логических правил (необходимо подобрать коэффициенты функции целевой переменной), чем логический вывод Мамдани. К тому же в последние годы гораздо более популярной является адаптивная нейронечеткая система вывода Джанга, нежели Такаги-Сугено, поскольку результаты, полученные с ее помощью, более устойчивы.

2. Автор утверждает (п. 1.3), что представлена «математическая постановка задачи синтеза интеллектуальных алгоритмов управления», предполагающая использование нечеткого логического вывода. Однако в постановке задачи отсутствуют нечеткие множества, нечеткие лингвистические переменные и нечеткие операции.

3. Один из ключевых моментов работы транспортной системы управления связан с настройкой/контролем параметров алгоритмов управления, т. е. с поиском способа автоматической корректировки параметров во время выполнения алгоритма. Автор ссылается (стр. 46 и стр. 68) на зарегистрированные программы для ЭВМ, представленные в Приложении А1 и А2 для объекта типа «обратный маятник на тележке» и для многорежимного нелинейного алгоритма. В соответствующих разделах диссертации (п. 2.2 и п. 3.3) необходимо было представить вычислительную процедуру корректировки параметров, оптимизации параметров функций принадлежности и нечетких правил Такаги-Сугено, оценить трудоемкость этой процедуры, поскольку известны эффективные способы оптимизации этих параметров с использованием метаэвристических алгоритмов, таких как оптимизатор роя частиц (*PSO*), генетический (*GA*) и муравьиный (*ACO*) алгоритмы.

4. Управление угловым движением беспилотного летательного аппарата в сложных условиях, включая системные неопределенности, неизвестный шум и/или помехи, является сложной задачей. Предлагаемый алгоритм управления сравнивается с классическим законом управления типа ПИД-регулятор. Однако подходы на основе нейронных сетей более эффективны, особенно когда динамика системы полностью или частично неизвестна. Кроме того, нейроконтроллер может обеспечивать стабильность системы на этапе обучения и компенсировать производительность системы при возникновении сбоя в системе.

## **9. Заключение по диссертационной работе**

Диссертационная работа Агапова А. А. является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований, применяя модели и методы преобразования в знания пространственных и экспертных данных, решена задача повышения эффективности управления транспортными системами за счет синтезированных интеллектуальных алгоритмов на основе применения научно обоснованного подхода квазиоптимального синтеза и нечеткого логического вывода.

Научные результаты диссертации достаточно полно отражены в публикациях, в том числе в изданиях, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты

диссертационных работ на соискание ученой степени кандидата технических наук. В диссертационной работе для публикаций, выполненных в соавторстве, определен личный вклад соискателя в решение поставленных задач.

Автореферат соответствует результатам диссертации и отражает ее основные положения и выводы.

Диссертационная работа Агапова А. А. изложена последовательно, написана хорошим научно-техническим языком, и является законченной научно-исследовательской работой, выполненной на актуальную тему.

Диссертационная работа отвечает критериям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор, Агапов А. А., заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.9.8. Интеллектуальные транспортные системы (технические науки).

Официальный оппонент,  
канд. техн. наук, профессор  
Института компьютерных  
технологий  
и информационной безопасности  
ФГБОУ ВО  
Южный федеральный университет



Родзин Сергей Иванович

«01» ноября 2023 г.

*Согласен на обработку моих персональных данных*

Адрес: 347922, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44,  
ФГБОУ ВО «Южный федеральный университет»

Электронная почта: [srodzin@sfedu.ru](mailto:srodzin@sfedu.ru)

Телефон: (+7) 928-144-33-60

Подпись проф. Родзина С. И. заверяю

Директор Института компьютерных технологий

и информационной безопасности ЮФУ



 / Г. Е. Веселов /