

## СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

**Диссертационный совет:** Д 212.125.12

**Соискатель:** Тюменцев Юрий Владимирович

**Тема диссертации:** Нейросетевое моделирование адаптивных динамических систем

**Специальность:** 05 .13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника) (технические науки)

**Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:** На заседании 22 декабря 2016 года диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствующую критериям, установленным Положением о присуждении учёных степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, и принял решение присудить Тюменцеву Юрию Владимировичу учёную степень доктора технических наук.

**Присутствовали:** *председатель диссертационного совета В.В. Малышев, заместитель председателя диссертационного совета М.Н. Красильщиков, ученый секретарь диссертационного совета А.В. Старков, члены диссертационного совета:* В.Т. Бобронников, В.С. Брусов, Л.В. Вишнякова, В.Н. Евдокименков, А.И. Кибзун, М.С. Константинов, В.П. Махров, С.Н. Падалко, В.Н. Почукаев, Ю.Н. Разумный, В.В. Родченко, С.И. Рыбников, К.В. Сыпало, В.Е. Усачов, Г.Ф. Хахулин, М.М. Хрусталеv, А.В. Шаронов.

Ученый секретарь диссертационного совета

Д 212. 125.12, к.т.н.

Старков А.В.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.12

на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт

(национальный исследовательский университет)»

Министерства образования и науки Российской Федерации (ФГБОУ ВО МАИ)

**по диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 22.12.2016 г., протокол № 23

О присуждении **Тюменцеву Юрию Владимировичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Нейросетевое моделирование адаптивных динамических систем» по специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника) (технические науки)» принята к защите 21 сентября 2016 года, протокол № 12, диссертационным советом Д 212.125.12 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (ФГБУ ВО МАИ), 125993, Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, 4, приказ о создании совета № 105/нк. от 11.04.2012 г.

**Соискатель** Тюменцев Юрий Владимирович 1947 года рождения, в 1971 году окончил с отличием Московский авиационный институт им. С. Орджоникидзе (МАИ) по специальности «Динамика полета и управление летательных аппаратов» с присуждением квалификации «инженер-механик».

В 1981 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов» на спецтему в Московском авиационном институте им. С. Орджоникидзе (диплом кандидата наук ТН № 050549 от 16 декабря 1981 г.).

**В период подготовки докторской диссертации** соискатель Тюменцев Юрий Владимирович работал в ФГБУ ВО МАИ на кафедре 106 «Динамика и управление ЛА» в должности ведущего научного сотрудника.

**Научный консультант** – доктор технических наук, профессор кафедры № 106 «Динамика и управление ЛА» факультета «Авиационная техника» ФГБУ ВО МАИ **Брусов Владимир Сергеевич**.

**Официальные оппоненты:**

1. **Крыжановский Борис Владимирович** – гражданин Российской Федерации, член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, руководитель Центра оптико-нейронных технологий Научно-исследовательского института системного анализа (ЦОНТ НИИСИ РАН) Российской Академии наук.

2. **Васильев Александр Николаевич** – гражданин Российской Федерации, доктор технических наук, профессор Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

3. **Харьков Виталий Петрович** – гражданин Российской Федерации, доктор технических наук, профессор, советник Генерального директора ООО «Экспериментальная мастерская НаукаСофт».

**Все оппоненты дали положительные отзывы о диссертации.**

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» (ФГУП «ЦАГИ»), г. Жуковский Московской области, дало **положительное заключение**, которое было заслушано и одобрено 24 ноября 2016 года на заседании научно-технического совета НИО-15 (протокол № 7 заседания от 24 ноября 2016 г.), подписано начальником НИО-15 научно-исследовательского комплекса «Безопасность полетов» кандидатом технических наук, доцентом С.Г. Баженовым, заместителем начальника НИО-15 доктором технических наук, доцентом А.Г. Бюшгенсом, начальником отдела, доктором технических наук, доцентом Ю.В. Дубовым и утверждено 1 декабря 2016 г. Первым заместителем Генерального директора ФГУП ЦАГИ, кандидатом технических наук В.Л. Сухановым. В за-

ключении указано, что диссертация Тюменцева Ю.В. представляет собой самостоятельную законченную научно-исследовательскую работу на актуальную тему, связанную с решением крупной научной проблемы. Новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют большое теоретическое и практическое значение. Верификация соответствующих моделей и методов выполнена в обширной серии вычислительных экспериментов, результаты которых подтверждают эффективность предлагаемого подхода. Работа отвечает критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемых к докторским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)».

Также в отзыве даются рекомендации по практическому использованию и развитию результатов работы. В частности, рекомендуется интенсифицировать работы по приложению полученных методов и средств к решению задач идентификации аэродинамических характеристик (АДХ) для беспилотных ЛА, особенно малоразмерных, для которых задача нахождения АДХ по данным летного эксперимента особенно актуальна. Полученные результаты могут быть рекомендованы для использования в ГосНИИ ГА, ЛИИ, МНПК Авионика, МИЭА, ГосНИИ АС, а также в других организациях, занимающихся моделированием движения ЛА, разработкой систем управления ЛА, а также определением АДХ ЛА по результатам летных испытаний. Кроме того, необходимо шире внедрять в учебный процесс для студентов авиационных специальностей нейросетевое моделирование динамических систем, в том числе модели и методы, полученные в диссертации, как эффективный инструмент анализа, синтеза и идентификации систем.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации.** Диссертационная работа Тюменцева Ю.В. базируется на использовании и развитии задела из следующих трех научно-технических областей: 1) нейросетевые технологии обработки данных; 2) математическое моделирование управляемых динамических систем; 3) решение задач анализа движения, синтеза управления и идентификации

характеристик летательных аппаратов. С учетом этого осуществлялся выбор ведущей организации и официальных оппонентов по диссертации.

ФГУП «ЦАГИ» является ведущей организацией авиастроительной отрасли России, осуществляющей фундаментальные и прикладные исследования в дисциплинах, связанных с созданием перспективных летательных аппаратов различных классов, включая проблемы математического моделирования управляемого полета, решение задач анализа, синтеза и идентификации ЛА. Кроме того, данная организация обладает опытом использования нейросетевых технологий для решения прикладных задач, в частности, задач компактного представления АДХ ЛА, полученных из эксперимента.

Крыжановский Борис Владимирович, член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, руководитель профильной организации в области нейросетевых технологий обработки данных (Центр оптико-нейронных технологий НИИ системного анализа РАН). Он является автором более 150 научных работ, в том числе более 80 по тематике искусственных нейронных сетей, включая работы по динамическим нейронным сетям, являющимся основным математическим аппаратом, используемым в диссертации.

Васильев Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Он является автором более 100 научных работ, включая 3 монографии. Его научные интересы связаны с математическим моделированием динамических систем, включая методы, основанные на использовании искусственных нейронных сетей.

Харьков Виталий Петрович, доктор технических наук, профессор, советник Генерального директора ООО «Экспериментальная мастерская НаукаСофт». Он является автором более 80 научных работ, включая 4 монографии. Его научные интересы связаны с задачами управления полетом, включая адаптивное управление, а также с идентификацией характеристик ЛА.

Такой подбор официальных оппонентов позволяет получить квалифицированную оценку достижений соискателя во всех трех научно-технических областях, упомянутых выше.

**Основные результаты диссертационной работы** изложены в монографии, 9 статьях в изданиях, индексируемых в международной реферативной базе данных и системе цитирования (Перечень МБД) Scopus, 23 статьях, опубликованных в научных журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий ВАК РФ (Перечень рецензируемых журналов). Всего по теме диссертации соискатель имеет 86 опубликованных работ.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации (в скобках указаны номера позиций в подготовленных ВАК РФ Перечне МБД по состоянию на 01.09.2016 и Перечне рецензируемых научных изданий по состоянию на 14.12.2016):

Монография:

1. *Брусов В.С., Тюменцев Ю.В.* Нейросетевое моделирование движения летательных аппаратов. – М.: Изд-во МАИ, 2016. – 192 с.  
ISBN 978–5–4316–0315–0.

Статьи в изданиях, индексируемых в МБД Scopus по состоянию на 01.09.2016:

2. *Кондратьев А.И., Тюменцев Ю.В.* Применение нейронных сетей для синтеза алгоритмов управления полетом – 1. Нейросетевой метод обратной динамики для управления полетом самолета // Известия ВУЗов. Авиационная техника. – 2013, № 2. – с.23–30. ISSN 0579–2975. (Scopus, № 188 в Перечне МБД)

3. *Кондратьев А.И., Тюменцев Ю.В.* Применение нейронных сетей для синтеза алгоритмов управления полетом – 2. Адаптивная настройка нейросетевого закона управления // Известия ВУЗов. Авиационная техника. – 2013, № 3. – с.34–39. ISSN 0579–2975. (Scopus, № 188 в Перечне МБД)

4. *Prostov Yu.S., Tiumentsev Yu.V.* A hysteresis micro ensemble as a basic element of an adaptive neural net // Optical Memory and Neural Networks (Information Optics). – 2015, Vol.24, No.2. – pp.116–122. ISSN 1060–992X. (Scopus, № 149 в Перечне МБД)

5. *Ефремов А.В., Кошеленко А.В., Тяглик М.С., Тюменцев Ю.В., Тянь Вэнь Цзянь.* Математическое моделирование характеристик управляющих действий летчика

при исследовании задач ручного управления // Известия ВУЗов. Авиационная техника. – 2015, No.2. – с.34–40. ISSN 0579–2975. (Scopus, № 188 в Перечне МБД)

6. *Egorchev M.V., Tiumentsev Yu.V.* Learning of semi-empirical neural network model of aircraft three-axis rotational motion // Optical Memory and Neural Networks (Information Optics). – 2015, Vol.24, No.3. – pp.210–217. ISSN 1060–992X. (Scopus, № 149 в Перечне МБД)

7. *Kozlov D.S., Tiumentsev Yu.V.* Neural network based semi-empirical models for dynamical systems described by differential-algebraic equations // Optical Memory and Neural Networks (Information Optics). – 2015, Vol.24, No.4. – pp.279–287. ISSN 1060–992X. (Scopus, № 149 в Перечне МБД)

Статьи в рецензируемых журналах из перечня ВАК РФ

по состоянию на 14.12.2016:

8. *Морозов Н.И., Тюменцев Ю.В., Яковенко А.В.* Корректировка динамических свойств объекта управления с использованием искусственных нейронных сетей // Вестник Московского авиационного института. – 2002, том 9, № 1. – с.73–94. ISSN 0869--6101. (№ 214 в Перечне рецензируемых журналов)

9. *Тюменцев Ю.В.* Интеллектуальные автономные системы // Авиакосмическое приборостроение. – 2004, № 10. – с.2–14. ISSN 2073–0020. (№ 1909 в Перечне рецензируемых журналов)

10. *Тюменцев Ю.В.* Интеллектуальное управление движением летательных аппаратов с использованием средств мягких и полумягких вычислений // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2006, № 4. – с.9–20. ISSN 1810–7206. (№ 194 в Перечне рецензируемых журналов)

11. *Морозов Н.И., Тюменцев Ю.В.* Возможности формирования интеллектуальных законов управления на основе средств мягких и полумягких вычислений // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2006, № 5. – с.8–21. ISSN 1810–7206. (№ 194 в Перечне рецензируемых журналов)

12. Брусов В.С., Тюменцев Ю.В. Синтез оптимального ансамбля нейроконтроллеров для многорежимного летательного аппарата // Вестник Московского авиационного института. – 2006. – том 13, № 2. – с.67–78. ISSN 0869–6101. (№ 214 в Перечне рецензируемых журналов)

13. Ефремов А.В., Оглоблин А.В., Тань В., Тюменцев Ю.В. Нейросетевая модель управляющих действий летчика // Вестник Московского авиационного института. – 2007. – том 14, № 2. – с.53–66. ISSN 0869–6101. (№ 214 в Перечне рецензируемых журналов)

14. Ефремов А.В., Тань В., Тюменцев Ю.В. Оценка пилотажных свойств самолета с применением нейросетевой модели предсказания характеристик управляющих действий летчика // Вестник Московского авиационного института. – 2008. – том 15, № 1. – с.92–108. ISSN 0869–6101. (№ 214 в Перечне рецензируемых журналов)

15. Кондратьев А.И., Тюменцев Ю.В. Нейросетевое моделирование управляемого движения летательных аппаратов // Вестник Московского авиационного института. – 2010, том 17, № 4. – с.5–11. ISSN 0869–6101. (№ 214 в Перечне рецензируемых журналов)

16. Козлов Д.С., Тюменцев Ю.В. Применение неоднородных NARX-сетей для обнаружения отказных ситуаций // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2012. №9. – с.13–22. ISSN 1999–8554. (№ 942 в Перечне рецензируемых журналов)

17. Козлов Д.С., Тюменцев Ю.В. Нейросетевые методы обнаружения отказов датчиков и приводов летательного аппарата // Электронный журнал «Труды МАИ». – 2012, № 52. – 16 с. ISSN 1727–6942. (№ 1846 в Перечне рецензируемых журналов). Статья доступна по ссылке:

<http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=29421>

18. Егорчев М.В., Козлов Д.С., Тюменцев Ю.В., Чернышев А.В. Нейросетевые полумпирические модели управляемых динамических систем // Вестник компью-



терных и информационных технологий. – 2013, № 9. – с.3–10. ISSN 1810–7206.  
(№ 194 в Перечне рецензируемых журналов)

19. *Простов Ю.С., Тюменцев Ю.В.* Нейросетевой механизм адаптации при решении кусочно-постоянной задачи анализа независимых компонент // Электронный журнал «Труды МАИ». – 2014, № 78. – 20 с. ISSN 1727–6942.

(№ 1846 в Перечне рецензируемых журналов). Статья доступна по ссылке: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=53557>

20. *Егорчев М.В., Козлов Д.С., Тюменцев Ю.В.* Идентификация аэродинамических характеристики летательного аппарата: нейросетевой полуэмпирический подход // Вестник Московского авиационного института. – 2014. – том 21, № 4. – с.13–24. ISSN 0869--6101. (№ 214 в Перечне рецензируемых журналов)

21. *Егорчев М.В., Козлов Д.С., Тюменцев Ю.В.* Моделирование продольного углового движения самолета: сопоставление теоретического, эмпирического и полуэмпирического подходов // Научный вестник МГТУ ГА. – 2015, № 211 (1). – с.116–123. ISSN 2079–0619 (№ 921 в Перечне рецензируемых журналов)

22. *Простов Ю.С., Тюменцев Ю.В.* Нейросетевая модель конечного автомата на основе гистерезисных микроансамблей // Вестник Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ». – 2015, том 4, № 5. – с.447–453. ISSN 0579–2975. (№ 256 в Перечне рецензируемых журналов)

**На диссертацию и автореферат поступили следующие отзывы:**

**1. ФГУП «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» (ФГУП «ЦАГИ») (ведущая организация) Отзыв положительный.**

Отзыв подписали: Баженов С.Г, кандидат технических наук, доцент, начальник НИО-15 Научно-исследовательского комплекса «Безопасность полетов»; Бюшгенс А.Г., доктор технических наук, доцент, заместитель начальника НИО-15; Дубов Ю.В., начальник отдела, доктор технических наук, доцент. Отзыв утвердил Суханов В.Л., Первый заместитель Генерального директора ФГУП «ЦАГИ».

Замечания:

1. Нет подробного алгоритмического описания для нахождения значений функций коэффициентов аэродинамических сил и моментов по параметрам движения ЛА; дается только краткое описание общей идеи для такого алгоритма. Значения этих функций важны для задач анализа устойчивости и управляемости ЛА и синтеза системы управления.
2. Не рассмотрен вопрос влияния работы системы управления на эффективность идентификации АДХ.
3. Недостаточно глубоко рассмотрена проблема применения обученной на математической модели НС для ЛА, динамические свойства которого отличаются от модельных.
4. Отсутствуют оценки эффективности применения для формирования нового типа математических моделей ДС (полуэмпирических НС-моделей) параллельных вычислений, которые при современном уровне развития вычислительной техники являются действенным средством построения НС-моделей.

**2. Крыжановский Борис Владимирович, член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, Руководитель Центра оптико-нейронных технологий Федерального научного центра НИИ системного анализа РАН (официальный оппонент). Отзыв положительный.**

Подпись Крыжановского Б.В. заверена начальником отдела кадров ФНЦ НИИСИ РАН Полах Ж.А.

Замечания:

- 1) Инкрементное обучение является перспективным инструментом корректировки НС-моделей, позволяющим наращивать возможности модели, не прибегая к ее полному переобучению. По этой причине данный подход заслуживает более подробного рассмотрения, чем это имеет место в диссертации.
- 2) Вставочные нейроны и подсети позволяют ввести механизмы адаптивности внутрь НС-модели, тогда как традиционные механизмы адаптации являются внешними по отношению к модели или закону управления. Оба подхода (внут-

ренние и внешние механизмы адаптации) имеют как достоинства, так и недостатки. Сопоставление и сравнительный анализ механизмов адаптации с этой точки зрения в диссертации отсутствует, что не позволяет обоснованно принять решение в пользу одного из этих механизмов при решении конкретных прикладных задач.

3) Один из важных этапов преобразования исходной теоретической модели в ее НС-представление, а именно, преобразование модели ДС с непрерывным временем в модель с дискретным временем, дается слишком сжато и не позволяет почувствовать специфику этого процесса.

4) Показано, что полуэмпирические НС-модели управляемых ДС по точности превосходят традиционные динамические НС-модели типа NARX. Для полного представления о точности полуэмпирической НС-модели следовало бы сравнить ее с более продвинутыми моделями, например, с сетями глубокого обучения.

**3. Васильев Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (официальный оппонент). Отзыв положительный.**

Подпись Васильева А.Н. удостоверена Николаевой М.А., ведущим специалистом по кадрам Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

Замечания:

1) Рассмотрение НС-моделей традиционного типа проводится, в основном, на примере моделей типа NARX (нелинейная авторегрессия с внешним входом) и не дается их сопоставление с моделями типа NARMAX, учитывающих неконтролируемые внешние возмущающие воздействия уже на этапе синтеза модели ДС.

2) В качестве динамической НС-модели традиционного вида (типа «черный ящик») рассматривается сеть типа NARX и, в меньшей степени, NARMAX. Отсутствует сопоставление с рекуррентными НС-моделями ДС других видов.

3) При преобразовании исходной теоретической модели в виде системы обыкновенных дифференциальных уравнений в НС-структуру отсутствует анализ влия-

ния вида разностной схемы, отвечающей тому или иному методу интегрирования ОДУ, на свойства (точность, устойчивость) получаемой НС-модели.

4) Отсутствует обзор и анализ доступной литературы по теме диссертации, а встречающиеся иногда комментарии не всегда сделаны корректно: например, п.3.1 стр.144 (о моделях типа «черный ящик»). Список литературы предпочтительней упорядочить по алфавиту.

**4. Харьков Виталий Петрович, доктор технических наук, профессор, советник Генерального директора ООО «Экспериментальная мастерская Наука-Софт» (официальный оппонент). Отзыв положительный.**

Подпись Харькова В.П. заверена начальником отдела по работе с личным составом Максимовой О.Ю.

Замечания:

1) В диссертации недостаточно четко сформулирована проблема, решению которой она посвящена. Вследствие этого достаточно сложно за полученными результатами увидеть единую проблему. Моделирование адаптивных систем управления, что внесено в название темы диссертации, также не отражает ни содержание диссертации, ни решаемую проблему.

2) Предлагаемые адаптивные алгоритмы управления, сочетающие в себе совокупность различных известных подходов с НС-моделированием, проработаны недостаточно глубоко. Отсутствуют как области параметрической неопределённости их применения, так и сравнительный анализ целесообразности использования какого-то конкретного метода адаптивного управления.

3) Изложенный НС-подход к моделированию движения ЛА с адаптивным управлением представляет собой скрытую форму идентификации и сравнивать одни результаты моделирования с другими, полученными, по так называемым, «плохим» моделям не совсем корректно.

4) Реконфигурация системы управления на основе идентификации предполагает наличие определённого временного интервала, в течение которого достигается сходимость процесса идентификации. Не оговорено время обучения нейросети

при различных отказах и повреждениях, ни время развития аварийной ситуации, при которой любое управление не способно ликвидировать возникшую деградацию.

**5. Акционерное общество «Концерн воздушно-космической обороны «Алмаз-Антей» (АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей»)) (отзыв на автореферат). Отзыв положительный.**

Отзыв подписал Росляков И.А., кандидат технических наук, Начальник управления инновационного развития АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей». Отзыв утвердил Созинов П.А., доктор технических наук, Генеральный конструктор АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей».

В качестве **замечания** по автореферату следует указать на слишком сжатое изложение процесса получения полуэмпирической нейросетевой модели управляемой динамической системы из ее исходной теоретической модели в виде обыкновенных дифференциальных уравнений, что не позволяет понять специфику данного процесса, а также возможности варьирования его элементов в ситуациях работы со сложными объектами моделирования, когда стандартных элементов становится недостаточно.

**6. Государственный научный центр ФГУП «Государственный научно-исследовательский центр авиационных систем» (ГосНИИ АС) (отзыв на автореферат). Отзыв положительный.**

Отзыв подписал Корсун О.Н., доктор технических наук, профессор, начальник лаборатории ФГУП «ГосНИИ АС». Подпись Корсуна О.Н. заверил Мужичек С.М., Ученый секретарь ФГУП «ГосНИИ АС», доктор технических наук, профессор.

Замечание:

Командный сигнал, воздействующий на приводы органов управления в вычислительном эксперименте по получению обучающих данных, вызывает в ряде экспериментов излишне энергичное изменение угла атаки ЛА, что может привести к перегрузкам, превышающим их разрушающие значения. Представляется целесо-

образным вместо одного эксперимента с такими воздействиями на органы управления провести несколько экспериментов с ограничениями на эти воздействия и с последующим объединением получаемых результатов в одном обучающем наборе, что обеспечит требуемую его информативность.

**7. Государственный научный центр АО «Летно-исследовательский институт им. М.М. Громова» (АО ЛИИ им. М.М. Громова) (отзыв на автореферат). Отзыв положительный.**

Отзыв подписал Поплавский Б.К., доктор технических наук, профессор, начальник лаборатории ГНЦ АО «ЛИИ им. М.М. Громова». Отзыв утвердил Первый заместитель генерального директора по науке—начальник НИЦ АО «ЛИИ им. М.М. Громова» В.В. Цыплаков.

Замечание:

При решении задачи идентификации аэродинамических характеристик ЛА не дано сравнение результатов автора с результатами, которые могут быть получены другими методами, не приведены алгоритмы определения производных аэродинамических коэффициентов по различным переменным состояниям и управления. В автореферате упоминается о том, что имеется алгоритм получения этих производных, основанный на использовании функционального представления коэффициентов сил и моментов, полученного в диссертации. Однако этот важный для практики вопрос освещен в автореферате недостаточно.

**8. ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации» (ФГУП ГосНИИ ГА) (отзыв на автореферат). Отзыв положительный.**

Отзыв подписала Масленникова Г.Е., доктор технических наук, начальник отдела исследований изменений летных характеристик воздушных судов в процессе эксплуатации ГосНИИ ГА. Отзыв утвердил Заместитель генерального директора ГосНИИ ГА, кандидат технических наук Громов М.С.

Замечания:

1) В задаче идентификации аэродинамических характеристик летательного аппарата, имеющей важное значение для успешного формирования модели движения ЛА, из шести коэффициентов аэродинамических сил и моментов рассмотрены пять, коэффициенту аэродинамического сопротивления (суммы аэродинамического сопротивления и тяги) не уделено достаточного внимания, а именно нахождение зависимости для этой величины представляет собой традиционно сложную проблему, кроме того, задача создания адаптивных алгоритмов управления на случай отказа двигателя, является одной из наиболее актуальных.

2) Для анализа свойств ЛА важным инструментом является совокупность значений производных коэффициентов аэродинамических сил и моментов по переменным, характеризующим состояния и управления ЛА. Алгоритм получения этих производных, основанный на использовании функционального представления коэффициентов сил и моментов, полученного в диссертации, изложен недостаточно полно и четко, что не позволяет в полной мере оценить, насколько работоспособным является этот алгоритм и как он работает в условиях возмущенного движения с большими угловыми и линейными ускорениями.

**9. ОАО «Московский научно-производственный комплекс «Авионика» им. О.В. Успенского» (ОАО МНПК «Авионика») (отзыв на автореферат). Отзыв положительный.**

Отзыв подписали Кулабухов В.С., главный конструктор ТН-17 ОАО «Московский научно-производственный комплекс «Авионика» им. О.В. Успенского», кандидат технических наук, доцент, Действительный член Академии навигации и управления движением; Бронников А.М., заместитель главного конструктора ТН-17 ОАО «Московский научно-производственный комплекс «Авионика» им. О.В. Успенского», доктор технических наук, доцент. Подписи Кулабухова В.С. и Бронникова А.М. заверены начальником отдела кадров ОАО МНПК «Авионика» О.Б. Прибыловой. Отзыв утвердил Заместитель управляющего директора–Главный конструктор ОАО МНПК «Авионика» кандидат технических наук Р.Р. Абдулин.

Замечания:

1) Диссертация относится к известной области проблем идентификации математических моделей динамических систем, в которой накоплен обширный теоретический и практический опыт, в том числе, опыт построения и идентификации нейросетевых моделей (см., например, Цыпкин Я.З. Информационная теория идентификации. – М.: Наука. Физматлит, 1995. – 336 с.). Вместе с тем, из текста автореферата неясно, проводился ли соответствующий анализ предметной области исследований и сравнивались ли полученные результаты с результатами других авторов в рассматриваемой области.

2) В тексте автореферата ни разу не упоминается понятие реального времени функционирования динамической системы. В связи с этим непонятно, относятся ли полученные автором результаты к стадии предварительного проектирования систем управления, либо к стадии их непосредственного применения в реальном времени полёта. Если предполагается адаптация моделей в реальном времени полёта, то в автореферате недостаёт материалов, характеризующих время текущей идентификации их структур и параметров.

3) Одной из ключевых проблем идентификации вообще и нейросетевой идентификации в частности является проблема состоятельности или сходимости оценок параметров или моделей. Из автореферата не ясно, как автором решается данная проблема.

**10. ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет гражданской авиации» (МГТУ ГА) (отзыв на автореферат). Отзыв положительный.**

Отзыв подписал Ципенко В.Г., Заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Аэродинамика, конструкция и прочность ЛА» МГТУ ГА. Отзыв утвердил Проректор МГТУ ГА по научной работе, доктор технических наук, профессор Воробьев В.В.

Замечания:



1) Материал автореферата не дает возможности понять, каким образом осуществляется структурная корректировка формируемой модели в ситуациях, когда одной параметрической корректировки оказывается недостаточно.

2) Предложенные методы применяются к решению задач синтеза управления движением ЛА применительно к нескольким схемам адаптивного управления, однако отсутствует сравнительный анализ эффективности привлекаемых схем.

**11. ПАО Информационные телекоммуникационные технологии (ПАО «Интелтех»)** (отзыв на автореферат). **Отзыв положительный.**

Отзыв подписал Дорогов А.Ю., доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник ПАО «Интелтех», профессор кафедры автоматики и процессов управления Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ». Отзыв утвердил Первый заместитель генерального директора ПАО «Интелтех» по научной работе, кандидат военных наук И.А. Кулешов.

Замечания:

1. Для построения структуры нейросетевой модели предлагается использовать порождающий подход, основанный на иерархическом представлении линейной функции в виде линейной комбинации базисных функций. Из автореферата не ясно как осуществить выбор набора базисных функций и реализовать процедуру последовательной декомпозиции?

2. В принятой процедуре структурного синтеза на основе порождающего подхода, структура модульной нейронной сети зависит от выбора базисных функций, что не позволяет стратифицировать нейросетевую модель по уровням параметрического и структурного представлений. Невозможность стратификации нивелирует ценность структурного описания нейросетевой модели.

3. Обучающий набор для нейросетевых моделей предлагается формировать на основе гармонических тестовых возмущающих сигналов. В автореферате не раскрыто, почему такое решение является оптимальным по информативности в задаче обучения?

4. В автореферате не раскрыт механизм сегментации обучающего набора и редукции процедуры обучения к последовательности задач на подмножествах обучающего набора.

**12. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (отзыв на автореферат). Отзыв положительный.**

Отзыв подписал Станкевич Л.А., кандидат технических наук, профессор кафедры «Системный анализ и управление» Института компьютерных наук и технологий Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Подпись Станкевича Л.А. удостоверена Николаевой М.А., ведущим специалистом по кадрам Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

Замечания:

1. В кратком описании содержания третьей главы сделан акцент на использования в качестве базовой модели управляемой динамической системы нейросетевой рекуррентной слоистой нелинейной авторегрессионной сети. Делается вывод о том, что такие сети плохо работают при больших размерностях задач и далее в пятой главе для преодоления этого недостатка вводятся полуэмпирические сетевые модели. Возникает вопрос о конкуренции применению таких моделей со стороны глубоких рекуррентных нейронных сетей, которые недавно предложены именно для решения динамических задач большой размерности.

2. Из автореферата непонятно, в чем заключается структурная корректировка, являющаяся одним из важных элементов процесса формирования полуэмпирической нейросетевой модели.

**13. ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет» (отзыв на автореферат). Отзыв положительный.**

Отзыв подписал Аверченков В.И., Заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», заведующий кафедрой «Компьютерные технологии и системы».

Подпись Аверченкова В.И. заверена начальником отдела кадров ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет» Вишняковой М.Н.

Замечания:

1) Процесс преобразования исходной теоретической модели в виде системы обыкновенных дифференциальных уравнений в ее нейросетевое представление в значительной степени определяет то, насколько точной будет формируемая модель, а в ряде случаев и то, удастся ли вообще получить работоспособную модель. Данный процесс описывается слишком сжато и не позволяет в должной степени понять его специфику.

2) Один из определяющих элементов процесса формирования полуэмпирической модели состоит в преобразовании исходной модели с непрерывным временем в модель с дискретным временем. Вид разностной схемы, используемой при таком преобразовании, непосредственно влияет на свойства получаемой в итоге полуэмпирической модели (точность, устойчивость). Анализ такого влияния в работе уделено недостаточное внимание.

**14. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН (ГАО РАН) (отзыв на автореферат). Отзыв положительный.**

Отзыв подписал Макаренко Н.Г., доктор физико-математических наук, заведующий сектором математического моделирования нелинейных процессов в гелио/геофизике ГАО РАН. Подпись Макаренко Н.Г. удостоверена Ученым секретарем ГАО РАН Борисевич Т.Н., кандидатом физико-математических наук.

Замечания:

1) Не приведено доказательство сходимости сегментированного алгоритма обучения полуэмпирических нейросетевых моделей, играющего важную роль в предлагаемом подходе.

2) В работе в качестве традиционных динамических нейросетевых моделей, с которыми ведется сопоставление полуэмпирических моделей, используются модели типа NARX (нелинейная авторегрессия с внешними входами), однако развернутое обоснование такого выбора отсутствует.

**15. НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (НИИЯФ МГУ) (отзыв на автореферат). Отзыв положительный.**

Отзыв подписал Доленко С.А., кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией адаптивных методов обработки данных НИИЯФ МГУ. Подпись Доленко С.А. удостоверена Ученым секретарем НИИЯФ МГУ доктором физико-математических наук, профессором Страховой С.И.

Замечание:

Трудности, возникающие при обучении динамических нейросетевых моделей, связаны не только со сложным рельефом функции ошибки сети. Существенное влияние оказывают также потенциально возможная бифуркация динамики сети, а также проблема долговременных зависимостей, которым в работе уделено недостаточное внимание.

**В дискуссии приняли участие:**

Фамилия, имя, отчество	Ученая степень, шифр специальности
Вишнякова Л.В.	д.т.н., 05.13.18
Бобронников В.Т.	д.т.н., 05.13.01
Евдокименков В.Н.	д.т.н., 05.13.01
Малышев В.В.	д.т.н., 05.07.09
Ефремов А.В.	д.т.н., 05.07.09
Почукаев В.Н.	д.т.н., 05.13.01
Корсун О.Н.	д.т.н., 20.02.16

Диссертационный совет отмечает, что **наиболее существенные научные результаты, полученные лично соискателем, могут быть сформулированы следующим образом:**

- разработан подход к гибриднему нейросетевому моделированию динамических систем и основанный на нем класс нейросетевых моделей полуэмпирического типа, объединяющий теоретические знания об объекте моделирования и экспериментальные данные о его поведении;
- на основе средств нейросетевого моделирования динамических систем разработан подход к решению задач адаптивного управления и моделирования движения летательных аппаратов;
- в рамках подхода к гибриднему нейросетевому моделированию динамических систем разработано унифицированное структурное описание нейросетевых моделей, обеспечивающее единообразное представление всех видов статических и динамических сетей, позволяющее автоматизировать процесс синтеза нейросетевых моделей;
- разработан композиционный подход к синтезу статических и динамических нейросетевых моделей, основанный на интерпретации нейросетевой модели как разложения по обобщенному функциональному базису;
- разработаны алгоритмы формирования гибридных нейросетевых моделей полуэмпирического типа, а также алгоритмы их структурной корректировки и параметрической настройки;
- разработаны методы и алгоритмы получения обучающих данных для нейросетевых моделей динамических систем;
- для динамических систем разработан подход к решению задачи идентификации их характеристик как нелинейных функций многих переменных, на этой основе предложен и развит новый подход к идентификации аэродинамических характеристик (АДХ) ЛА;
- сформирована типология динамических систем, обеспечивающая единый контекст для решения задач анализа поведения, синтеза управления и идентификации характеристик при создании перспективных технических систем различных классов.

**Новизна полученных результатов** заключается в том, что в диссертационной работе Ю.В. Тюменцева крупная научно-техническая проблема, состоящая в

формировании подхода к математическому и компьютерному моделированию адаптивных динамических систем, решена с привлечением методов и средств нейросетевых технологий. При решении данной проблемы сделан существенный вклад в три научно-технические области.

Во-первых, это вклад в область нейросетевых технологий, являющихся эффективным инструментом изучения нелинейных динамических систем, как неуправляемых, так и управляемых. Этот вклад выразился в том, что введено представление нейронной сети как порождающей системы, позволяющей унифицировать математическое представление нейронных сетей, как статических (без обратных связей), так и динамических (с обратными связями), что, в свою очередь, дает возможность автоматизировать трудоемкий процесс формирования НС-моделей под заданный комплекс требований к ним.

Во-вторых, это вклад в математическое моделирование динамических систем. А именно, в рамках порождающего подхода к формированию нейронных сетей введен и развит новый класс математических моделей динамических систем (полуэмпирические нейросетевые модели), представляющих собой модели гибридного типа, эффективно объединяющие теоретические знания об объекте моделирования и экспериментальные данные о его поведении. Этот класс моделей позволил объединить положительные и компенсировать отрицательные черты традиционных математических моделей, а именно, моделей движения динамических систем в виде дифференциальных уравнений и традиционных нейросетевых моделей типа «черный ящик». Данный класс моделей (они относятся к типу «серый ящик») позволяет получать точные и быстродействующие модели ДС, обладающие свойством адаптивности, что представляется весьма важным при использовании таких моделей в составе систем управления ЛА, особенно в ситуациях, когда у объекта управления изменились динамические свойства и требуется восстановить адекватность модели объекту моделирования.

В-третьих, это вклад в идентификацию характеристик динамических систем. А именно, средствами полуэмпирического нейросетевого моделирования решена задача идентификации характеристик динамических систем, в частности

АДХ ЛА. В отличие от подхода, доминирующего в практике решения задач идентификации АДХ, основанного на линеаризованном представлении аэродинамических сил и моментов, в диссертации предложен и реализован подход, при котором коэффициенты сил и моментов восстанавливаются на основе экспериментальных данных о поведении ЛА как нелинейные функции многих переменных во всей области определения этих переменных. Такого рода восстановление, осуществляемое в процессе формирования полуэмпирической модели, дает возможность определять АДХ с высокой точностью. Из полученного функционального представления АДХ при необходимости могут быть получены значения производных аэродинамических сил и моментов по различным параметрам полета, являющиеся результатом решения задачи идентификации при традиционном подходе. Аналогичным образом можно решать задачи идентификации не только для АДХ, но и для других характеристик динамических систем.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для теории и практики** состоит в том, что предложенный в диссертации класс нейросетевых моделей динамических систем, а также методы синтеза и параметрической настройки таких моделей открывают новые возможности для решения задач управления поведением сложных технических систем, включая их высокоавтоматизированные и роботизированные варианты, в условиях неопределенности. Роботизация ЛА, осуществляемая на этой основе, позволяет существенно повысить их эффективность при решении сложных целевых задач, а также выживаемость в неблагоприятных условиях. Полученные результаты могут быть использованы разработчиками перспективных ЛА при формировании алгоритмов адаптивного и интеллектуального управления их поведением, а также анализа их поведения и решения задач идентификации характеристик.

**Результаты диссертационной работы были использованы** в деятельности Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» (ФГУП «ЦАГИ») при выполнении НИР в рамках научно-технических программ, связанных с обеспечением безопасности полета летательных аппаратов (НИР «Задел»,

«Безопасность XXI век», «Безопасность 2011», «Рубикон»), выполнявшихся в 2009–2015 гг. в интересах разработки изделий RRJ и МС-21, а также при выполнении ОКР «Шарнир» для синтеза законов управления и стабилизации движения моделей самолетов при их испытаниях в аэродинамических трубах и идентификации характеристик по результатам экспериментов.

Материалы, полученные при выполнении диссертационной работы, внедрены в учебный процесс МАИ. Изданы два учебных пособия по тематике нейросетевого моделирования (2012 г.), подготовлены и в течение ряда лет читаются курсы лекций: «Оптимальные и адаптивные системы управления ЛА» (с 2008 г. по н.в.), «Компьютерные и информационные технологии в динамике полета» (с 2006 г. по н.в.) – кафедра 106 «Динамика и управление летательных аппаратов» факультета «Авиационная техника»; спецкурс «Нейроинформатика» (с 2011 г. по н.в.) – кафедра 806 «Вычислительная математика и программирование» факультета «Прикладная математика и физика».

По результатам выполнения диссертационной работы получено 5 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ (по одному в 2011 и 2012 гг., три в 2015 г.).

Результаты использования диссертационной работы подтверждаются соответствующими документами, которые имеются в деле.

**Рекомендации по практическому использованию результатов работы.** Полученные результаты могут быть рекомендованы для использования в ГосНИИ ГА, ЛИИ, МНПК Авионика, МИЭА, ГосНИИ АС, а также в других организациях, занимающихся разработкой систем управления движением ЛА, а также определением АДХ ЛА по результатам летных испытаний.

Необходимо шире внедрять в учебный процесс для студентов авиационных специальностей НС-моделирование ДС, в том числе модели и методы, полученные в диссертации, как эффективный инструмент анализа, синтеза и идентификации систем.

**Оценка достоверности результатов исследования.** Научные результаты получены в диссертации с привлечением методов системного анализа, математи-



ческого и компьютерного моделирования, вычислительной математики и нейросетевого моделирования. Эти методы, корректно используемые в диссертации, адекватны решаемой проблеме, что позволяет говорить об обоснованности полученных результатов. Достоверность этих результатов подтверждается данными обширного цикла вычислительных экспериментов, а также сопоставлением их с имеющимися данными физических экспериментов. Диссертация целостно охватывает основные вопросы рассматриваемой научно-технической задачи. Изложение полученных результатов логически связано. Использованная методологическая база соответствует современным воззрениям на процессы решения задач анализа, синтеза и идентификации технических систем.

**Диссертационная работа решает актуальную научно-техническую задачу** наделения свойством адаптивности системы управления ЛА за счет обеспечения оперативной изменчивости закона управления движением ЛА и модели летательного аппарата как объекта управления, что позволяет существенно повысить безопасность полета, а также выживаемость ЛА при летных происшествиях.

Изложенные в диссертационной работе **результаты являются новыми научно обоснованными техническими решениями**, имеющими существенное значение для развития авиационной техники страны в части повышения эффективности использования и безопасности полетов летательных аппаратов за счет повышения точности моделирования движения ЛА, обеспечения оперативной корректировки моделей движения ЛА непосредственно в ходе его полета, а также обеспечения отказоустойчивости управления с помощью механизмов адаптации.

**В диссертационной работе отсутствуют недостоверные сведения** об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты, представленные в диссертации.

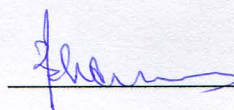
На заседании 22 декабря 2016 г. диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, и принял реше-

ние присудить Тюменцеву Юрию Владимировичу ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 7 докторов наук по специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)», участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 20, против – 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного совета


Д 212.125.12, д.т.н., профессор



Малышев В.В.

Ученый секретарь диссертационного совета

Д 212.125.12, к.т.н.



Старков А.В.