

## УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и инновациям  
«Саратовского государственного  
технического университета  
имени Гагарина Ю.А.»



д.х.н., профессор

«6» ноября 2024 г.

И.Г. Остроумов

## О Т З Ы В

ведущей организации на диссертационную работу

**Чан Минь Хая**

на тему *«Статистическая идентификация аэродинамических характеристик и параметров беспилотного летательного аппарата в условиях неопределенности»*

на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки)

### Актуальность темы работы

Диссертационная работа посвящена решению задачи статистической идентификации аэродинамических характеристик и параметров беспилотного летательного аппарата в условиях неопределенности. В работе рассматривается два вида неопределенностей: многофакторная неопределенность (природного и/или искусственного происхождения) среды, в которой функционирует БПЛА, и многокритериальная неопределенность, связанная с принятием проектных решений, поскольку БПЛА имеют множество разнородных взаимосвязанных проектных параметров (масса, габариты, тяга двигательной установки, скорость полета, дальность полета, высота полета, полезная нагрузка, точность наведения по цели и др.). Главным требованием при проектировании таких систем БПЛА является выбор проектного решения, которое наиболее полно отвечало не только требованиям проектного задания, но и обеспечивало выполнение целевой (функциональной) задачи. Использо-

ние телеметрической информации летно-технических (полигонных) испытаний позволяет скорректировать исходные математические модели БПЛА и адаптировать их к особенностям проектируемого БПЛА.

Целью диссертационной работы является повышение эффективности принятия проектных решений и сокращение финансовых и временных затрат натурных испытаний на этапах разработки новых образцов беспилотных летательных аппаратов и их модификации за счет применения статистических оценок полноты аэродинамических характеристик в условиях неопределенности по экспериментальным данным.

Поэтому тема работы Чан Минь Хая, направленная на повышение эффективности принятия проектных решений и сокращение финансовых и временных затрат натурных испытаний путем создания методики статистическая идентификация аэродинамических характеристик и параметров беспилотного летательного аппарата в условиях неопределенности является *актуальной* и имеет важное научно-практическое значение.

### **Научная новизна работы**

#### **В диссертации получены следующие новые результаты:**

1. Методика статистического анализа экспериментальных данных телеметрии, отличающаяся наличием процедуры восстановления структуры аппроксимирующего полинома модели БПЛА, и позволяющая на основе критериев регулярности и несмещенности восстановить (синтезировать) проектно-функциональные связи между проектными параметрами и критериальными оценками аэродинамической модели БПЛА, что сокращает финансовые и временные при проектировании БПЛА.

2. Методика идентификации аэродинамических характеристик разрабатываемого БПЛА, отличающаяся наличием процедуры статистической оценки полноты экспериментальной (аппроксимирующей) модели, позволяющая на основе сформированного векторного критерия качества в условиях многокритериальной и многофакторной неопределенности определить, насколько построенная аппроксимирующая модель объясняет закономерности, содержащиеся в статистической выборке данных телеметрии, что оптимизирует проектные параметры и повышает эффективность принятия проектных решений.

3. Аэродинамическая модель БПЛА, которая отличается тем, что формируется на основе не только статистических, но и основных физических параметров и критериев. Модель позволяет реализовать структурно-параметрический выбор (оптимизацию) конструкции БПЛА и программно синтезировать наиболее эффективные проектные решения по векторному критерию, учитывающему величину промаха БПЛА, требование по углу подлета к цели, скорость подлета к цели, что сокращает финансовые и временные затраты на аэродинамическую продувку в аэродинамической трубе и натурные испытания при разработке новых образцов БПЛА и их модификации.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что результаты диссертационной работы Чан Минь Хая являются новыми и имеют важное научное и практическое значение.

**Теоретическая значимость результатов** заключается в дальнейшем развитии методов системного анализа и статистического синтеза структурно-параметрических проектных решений применительно к системам БПЛА в целях разработки аэродинамических характеристик новых образцов БПЛА.

**Практическая значимость** работы состоит в том, что на основе разработанных моделей и алгоритмов синтеза аэродинамических характеристик БПЛА по экспериментальным данным построен программный комплекс разработки аэродинамических характеристик новых образцов БПЛА, функционирующих в условиях неопределенности среды, по экспериментальным данным, с помощью которого сокращаются финансовые и временные затраты на аэродинамическую продувку в аэродинамической трубе и натурные испытания при разработке новых образцов БПЛА и их модификации.

Практическая ценность исследований подтверждается актами внедрения результатов диссертационных исследований Военного института автоматизации производства (Военного научно-технического института) Социалистической республики Вьетнам Министерства обороны Социалистической Республики Вьетнам» и «Ракетный институт при Военном научно-технологическом институте Министерства обороны Социалистической Республики Вьетнам». Отдельные полученные результаты диссертационного исследования были применены и реализованы в прикладных НИР и в научных проектах Пензенского государственного университета.

**Достоверность и обоснованность результатов исследований, выводов и рекомендаций работы обеспечивается** учетом теоретических и мето-

дологических положений российских и зарубежных практик; корректным применением известных методов идентификации характеристик сложных технических систем; методов статистической оценки параметров и полноты моделей по экспериментальным данным; методов системного анализа и теории управления при разработке моделей и алгоритмов статистической оценки аэродинамических характеристик новых образцов при поиске их экстремальных значений, а также корректностью принятых допущений, ограничений и начальных условий.

Достоверность научных результатов подтверждается практикой разработки аэродинамических характеристик новых образцов БПЛА различных типов, функционирующих в условиях неопределенности, а также работоспособностью методического инструментария при разработке предложений по улучшению характеристик

#### **Рекомендации по использованию результатов диссертации**

Результаты решения сформулированной научной задачи целесообразно использовать в дальнейшем при:

- формировании обликочных характеристик новых образцов БПЛА по их аэродинамическим возможностям;
- разработке нормативных документов и конструкторской документации, включая проектную документацию на проектируемый БПЛА;
- экспертизе проектных материалов на создание (модернизацию) новых прототипов и образцов БПЛА, а также в процессе научно-технического сопровождения проектно-поисковых, научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

#### **Общие сведения о работе и содержание диссертации**

Рассматриваемая диссертационная работа является законченной научно-квалификационной работой, состоящей из введения, трех глав, заключения, списка используемой литературы, двух приложений. Основная часть изложена на 135 страницах машинописного текста, содержит 21 рисунок, 37 таблиц. Библиографический список содержит 112 наименований. Приложения к диссертации занимают 24 страницы.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, определены объект и предмет исследования. Сформулированы цель и задачи. Показана научная новизна и практическая значимость основных результатов.

**В первой главе** проведен анализ существующих методов и подходов к решению задач идентификации характеристик сложных технических систем в условиях неопределенности по экспериментальным данным; представлена классификация БПЛА и выбран в качестве объекта исследования класс дозвуковых (менее 1 Мах) БПЛА; изложены критерии качества аэродинамических моделей БПЛА; исследованы траекторная модель БПЛА и аэродинамическая модель БПЛА для оценки полноты аэродинамических характеристик БПЛА, сформулирована постановка задачи оценки полноты аэродинамических характеристик БПЛА по экспериментальным данным.

**Во второй главе** представлена предложенная автором методика статистического анализа структурно-параметрических проектных связей аэродинамических характеристик БПЛА. Для разрабатываемого БПЛА помимо основных проектных условий и ограничений, включая требование минимизации величины промаха, характерны такие требования, как равенство угла подлета к цели  $90^0$ , и максимальная скорость подлета к ней.

**В третьей главе** представлены аэродинамическая модель и алгоритмы статистических оценок полноты аэродинамических характеристик БПЛА в условиях неопределенности среды по экспериментальным данным. Аэродинамическая модель восстанавливается по экспериментальным данным в классе линейных полиномов. Там же представлено численное решение задачи идентификации характеристик БПЛА на основе оценки полноты модели БПЛА по экспериментальным данным и описан программный комплекс статистического синтеза аэродинамической модели БПЛА по экспериментальным данным.

В заключении сформулированы основные результаты работы, приведены рекомендации по дальнейшим исследованиям в направлении повышения качества принятия классификационных решений.

В приложениях приведен программно-методический комплекс и специальное программное обеспечение на языке комплекс Compact Visual Fortran 6.5 (Приложения 1), акты о внедрении результатов диссертационной работы (Приложение 2).

Диссертация написана грамотно, на хорошем научном уровне.

Тема и содержание диссертационной работы соответствуют специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки).

Автореферат по содержанию соответствует тексту диссертации, отражает ее основные положения и выводы, дает представление об актуальности темы, поставленной цели, задачах, необходимых для достижения поставленной цели, объекте, предмете и методах исследования, научной новизне, теоретической и практической ценности, реализации, апробации, кратком содержании и результатах работы.

Основное содержание диссертации достаточно полно отражено в 17-и научных изданиях, в том числе, в пяти рецензируемых изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Министерства образования и науки Российской Федерации, две статьи, индексируемые в международных базах данных Scopus и Web of Science, десять статей в трудах конференций и изданиях, включенных в базу РИНЦ.

### **Замечания по диссертационной работе**

По диссертационной работе можно отметить следующие недостатки:

1. В первой главе диссертационной работы, на стр. 11, автор приводит классификацию БПЛА, но акцент при этом делает, в основном, на их военное назначение. Применение БПЛА в гражданских областях народного хозяйства описано не достаточно подробно.

2. Из 112 источников списка литературы не более 10 публикаций за последние 5 лет, и, в основном, это публикации автора диссертации. Больше года назад утвержден Национальный проект РФ «Беспилотные авиационные системы», который дал дополнительный толчок развитию этой отрасли народного хозяйства, и, как следствие, публикационной активности в этом направлении. Наличие этих источников в диссертационной работе более убедительно бы демонстрировало современное состояние в сфере производства и проектирования БПЛА и актуальность темы диссертации.

3. На стр. 23 автор диссертации предлагает следующее: «Для идентификации БПЛА используется модель объекта, описывающая соотношения между входными и выходными сигналами. При этом понимается модель объекта как оператор, связывающий параметры состояния объекта с его значениями наблюдаемых входов». Было бы уместно, для понимания, ранее в тексте или сразу конкретизировать, что в диссертации понимается под термином «идентификация», который имеет достаточно широкое трактование.

4. На стр. 30 автор делает ряд допущений при формировании траекторной модели БПЛА, часть из которых требуют дополнительного объяснения или обоснования. В частности, «метод погони», используемый при наведении БПЛА на цель, а также отсутствие учета в модели ветровых воздействий атмосферы и изменения аэродинамических коэффициентов во время полета.

5. В диссертации отсутствует рисунок, который есть на стр. 9 в автореферате (рис.2), поясняющий порядок формирования аэродинамической модели БПЛА и методику идентификации ее параметров по экспериментальным данным. Диссертация менее ограничена по своему объему чем автореферат, его наличие только улучшило бы работу.

6. На стр. 74 диссертации на рисунке 3.1 автор приводит Программно-методический комплекс моделирования БПЛА, а в автореферате на рисунке 4. (стр. 18) он имеет название программного комплекса статистического синтеза аэродинамической модели БПЛА.

7. В диссертации присутствуют некоторые грамматические ошибки и стилистические неточности.

Отмеченные недостатки принципиально не влияют на общую положительную оценку рассматриваемой диссертационной работы, не носят принципиального характера и не снижают в целом ее высокую научную и практическую значимость.

## **Заключение**

Диссертация Чан Минь Хая на тему «Статистическая идентификация аэродинамических характеристик и параметров беспилотного летательного аппарата в условиях неопределенности» является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной задачи повышение эффективности принятия проектных решений и сокращение финансовых и временных затрат натурных испытаний на этапах разработки новых образцов беспилотных летательных аппаратов и их модификации за счет применения статистических оценок полноты аэродинамических характеристик в условиях неопределенности по экспериментальным данным, что имеет важное значение для развития методологии синтеза систем БПЛА.

Диссертация соответствует требованиям п. 9, 11, 13, 14 Положения о порядке присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 (с изменениями и

дополнениями), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

Автор работы, Чан Минь Хай, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки).

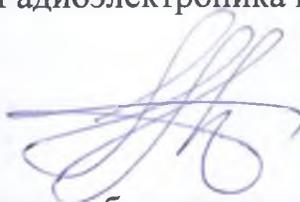
Диссертация обсуждена, отзыв одобрен «5» ноября 2024 г. (протокол № 4) на совместном заседании кафедр «Прикладные информационные технологии» и «Радиоэлектроника и телекоммуникации» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.».

Заведующий кафедрой «Прикладные информационные технологии», к.т.н., доцент



О.А. Горопова

Заведующий кафедрой «Радиоэлектроника и телекоммуникации», д.т.н., профессор



А.А. Львов

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Адрес: 410054, г. Саратов, улица Политехническая, д. 77

Контактные телефоны: (8452) 99-88-11

Адрес электронной почты: [rectorat@sstu.ru](mailto:rectorat@sstu.ru)

Веб-сайт: <https://www.sstu.ru/>