

О Т З Ы В

оппонента профессора Тутнова И.А. на диссертационную работу

Чан Минь Хай

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

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

Актуальность темы работы

Реализация инновационных проектов в сфере проектирования, создания и новых разработок технологий производства, эксплуатации беспилотных авиационных систем (БПЛА) и их элементов для текущего момента является приоритетным для многих стран мира. В первую очередь это будут проекты БПЛА, системы управления безопасного, надежного функционирования БПЛА; устройства автоматизированной навигации и диагностики технического состояния БПЛА; аварийного предупреждения их разрушения и гибели и пр. Беспилотные летательные аппараты приобретают все возрастающее значение в различных отраслях национального хозяйства многих стран, их транспортной системы, системы национальной безопасности и специального, военного назначения. Это обстоятельство определяет своевременность и существенную необходимость приоритетного развития нового научного направления - мониторинг и прогнозная идентификация аэродинамических характеристик и параметров БПЛА в условиях воздействия многомерных, многоуровневых опасных факторов неопределенности. Совершенно очевидно, что одной из важных задач этого научного направления является создание и верификация методических инструментов и получения новых важных результатов в области статистической идентификация

аэродинамических характеристик и параметров БПЛА на фактического поведения этих аппаратов в реальной практике их применения. В России свое развитие это направление особо чувствительно получило после утверждения Национального проекта РФ «Беспилотные авиационные системы», Стратегии развития беспилотной авиации Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2035 года, а также после принятия к исполнению ряда других Постановлений правительства, распоряжений и указов Президента РФ и других правовых директивных документов.

Диссертационная работа посвящена решению задачи статистической идентификации аэродинамических характеристик и параметров беспилотного летательного аппарата в условиях неопределенности. При разработке, создании и эксплуатации БПЛА одной из основных проблем является наличие множество плохо контролируемых и диагностируемых, неконтролируемых факторов опасности, в которых они функционируют. В первую очередь это такие факторы: резко изменяющиеся погодные условия, плохие ориентиры и не явные цели полета БПЛА, координаты и траектория, скорость движения БПЛА в условиях внешнего динамического воздействия и много другое. Кроме того, поскольку БПЛА проектируют по совокупности разнородных взаимосвязанных проектных параметров, то в задаче проектирование присутствует многокритериальная неопределенность, связанная с принятием проектных решений из-за скудности исходной правдивой информации. Например, ввиду пока еще не достаточного точного статистического анализа экспериментальных данных телеметрии поведения БПЛА на разных этапах его жизненного цикла. Поэтому необходимость улучшения методического аппарата для анализа данных телеметрии БПЛА представляется важной научной задачей национального уровня значимости.

В России к концу текущего десятилетия количество беспилотной техники отечественного происхождения, должно вырасти более чем в пять раз. Поэтому важно не только создавать и активно внедрять собственные передовые инновационные проекты, но готовить для этого креативных

специалистов высшей квалификации. Поэтому представленная тема диссертации, план выполнения диссертационных исследований и ее результаты актуальны в дополнительном аспекте по созданию системы непрерывной подготовки и аттестации специалистов в сфере разработки и производства, эксплуатации беспилотных авиационных систем и их элементов, а также в сфере безопасности эксплуатации БПЛА с малой максимальной взлетной массой до 30 килограммов. Актуальность данного аспекта подтверждается постановлением Правительства РФ от 21 марта 2024 г. № 348.

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

Поэтому тема работы Чан Минь Хай, 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 национального уровня.

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 правильно моделировать и анализировать (синтезировать) проектно-функциональные связи между проектными параметрами и критериальными оценками качества

аэродинамической имитационной модели БПЛА, что сокращает финансовые и временные затраты 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 Хай 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 беспилотным авиационным системам в целях разработки аэродинамических характеристик новых образцов БПЛА.

Практическая значимость работы состоит в том, что на основе разработанных соискателем новых оригинальных моделей и алгоритмов синтеза аэродинамических характеристик БПЛА, которые были достаточно

полно верифицированы на базе новых с малой погрешностью матриц экспериментальных данных создан программный комплекс для ЭВМ и компьютерных сетей для целей разработки новых инновационных проектов БПЛА применительно к системному анализу и имитационному моделированию аэродинамических характеристик для новых образцов БПЛА, функционирующих в условиях неопределенности среды. Данный комплекс позволит в будущем по его данным имитационного вычислительного эксперимента, существенно уменьшить финансовые и временные и иные затраты на аэродинамическую продувку беспилотных авиационных систем в аэродинамической трубе и натурные испытания при разработке новых перспективных 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 методологических 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 БПЛА при поиске их экстремальных значений, а также корректностью принятых допущений, ограничений и начальных условий. Вместе с этим достоверность и полезность полученных соискателем

результатов обеспечивается его личной программой (системой) управления качеством выполненных диссертационных исследований, включая их системное планирование, выполнение и верификацию результатов. Например, путем сравнения новых данных с известными ранее решениями, количественной оценки возможных погрешностей.

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

Рекомендации по использованию результатов диссертации

Результаты решения сформулированной научной задачи соискателя, по моему мнению, будет целесообразно и полезно использовать в дальнейшем при:

- формировании опубликованных технических условий и планируемых характеристик новых перспективных образцов БПЛА, в первую очередь по их аэродинамическим возможностям для достижения конечной цели инновационного проекта беспилотных авиационных систем в текущий момент и на перспективу;

- разработке нормативных документов и конструкторской документации, включая проектную документацию на создаваемый образец БПЛА;

- экспертизе качества проектных материалов на создание (модернизацию) новых имитационных моделей, прототипов и образцов БПЛА, а также в процессе научно-технического сопровождения проектно-поисковых, научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

- при создании специализированных образовательных программ и методических пособий подготовки специалистов в сфере разработки и производства беспилотных авиационных систем и (или) их элементов, а также в сфере эксплуатации беспилотных воздушных судов с максимальной взлетной массой 30 килограммов и менее, а также для аттестации и

контроля достигнутого уровня квалификации специалистов данного профиля.

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 достаточно подробно и логически верно представлена предложенная автором оригинальная 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° , и максимальная скорость подлета к ней.

В третьей главе представлены имитационная 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 перспективным исследованиям в направлении повышения качества будущих инновационных проектов в сфере разработки и производства беспилотных авиационных систем и их элементов, а также в сфере эксплуатации беспилотных воздушных судов с максимальной взлетной массой 30 килограммов и менее, и принятия технических и квалификационных решений в области.

В приложениях приведен программно-методический комплекс и специальное программное обеспечение на языке комплекс Compact Visual Fortran 6.5 (Приложение 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. Текст автореферата логически ясен и хорошо оформлен.

Основное содержание диссертации достаточно полно отражено в 17-и научных изданиях, в том числе, в пяти рецензируемых изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, две статьи,

индексированные в международных базах данных Scopus и Web of Science, десять статей в трудах конференций и изданиях, включенных в базу РИНЦ.

Замечания и рекомендации по диссертационной работе

По диссертационной работе можно отметить следующие недостатки:

1. В первой главе диссертационной работы, которая носит, в том числе, обзорный характер, было бы полезно уделить больше внимание понятию телеметрии летно-технических испытаний БПЛА, как технологии получения информации о критичных параметрах для анализа и улучшения будущей конструкции беспилотных авиационных систем, особенно для условий воздействия многомерных факторов неопределенности окружающего мира. Данные телеметрии имеют изменчивую погрешность измерения, которая, как фактор влияния, может негативно влиять на качество результатов в процедуре идентификации.

2. В тексте диссертации говорится о структурно-параметрическом синтезе, структурно-параметрической оптимизации и структурно-параметрической идентификации. Создается впечатление, что это для автора работы являются эти понятийные определения синонимами. Было бы уместно, для однозначного понимания, в тексте конкретизировать, что в диссертации понимается под терминами «синтез», «оптимизация», «идентификация».

3. В автореферате было бы логично, соискателю кратко показать численное обоснование его вывода о сокращении финансовых и временных затрат от 10 до 30 % при выполнении инновационных проектов в сфере создания новых образцов БПЛА.

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 Хай 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 национального уровня значимости для безопасности нашей страны и окружающего мира, оригинальная завершенная логически и по факту разработка свода принципиально новых методов анализа и синтеза элементов систем управления состоянием БПЛА, с целью улучшения технических характеристик этих элементов и их служебных показателей, существенного повышение эффективности принятия проектных и технических решений, важных для будущей авиационной техники. В том числе инновационных решений, необходимых для будущего сокращения финансовых и временных затрат на ведение натурных испытаний на этапах разработки новых образцов беспилотных авиационных систем и их модификации, за счет применения статистических оценок полноты аэродинамических характеристик в условиях неопределенности по экспериментальным данным. Последнее имеет принципиальное важное значение для развития методологии проектирования беспилотных авиационных систем, а также других автоматизированных систем. Например, для исследования морских акваторий, охраны объектов морского базирования, исследования недр и подземных объектов, в том числе подземных хранилищ газа, ликвидации чрезвычайных ситуаций в условиях полной неопределенности развития различных природных и техногенных аварий, спасения людей при природных явлениях чрезвычайного и пожароопасного характера.

Существенным научным достижением в диссертационном исследовании Чан Минь Хай при формировании модели БПЛА является, что использует несколько оригинальных математических моделей, отражающих разные свойства и характеристики БПЛА, которые подразделяются на две классификационные группы: летно-технические модели и модели надежности. Это открывает перспективу для имитационных расчетов БПЛА

аэродинамических характеристик в условиях неопределенности по экспериментальным данным, что имеет важное значение для развития методологии синтеза систем БПЛА.

Диссертация соответствует требованиям п. 9 Положения о порядке присуждения 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).

Начальник лаборатории старения и продления
ресурса ядерных энергетических установок,
Национальный исследовательский центр
«Курчатовский институт»,
123182, Москва, пл. академика Курчатова, д. 1
д.т.н., профессор, специальность 05.13.01. Системный анализ, управление и
обработка информации (технические науки)

Тутнов Игорь Александрович

1 ноября 2024 г.

Телефон: 8 (499) 196-97-97

E-mail: Tutnov_IA@nrcki.ru

Подпись Тутнова И.А. заверяю



Борисов К.Е. – главный ученый секретарь
НИИ «Курчатовский институт»