

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию Приходько Станислава Юрьевича на тему

«Методика оценивания эффективной тяги газотурбинных двигателей в летных испытаниях»,

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов»

Представленная на защиту работа посвящена традиционному, но остающемуся **актуальным вопросу** – быстрой расчетной методике оценки эффективной тяги силовой установки в составе авиационного комплекса в условиях полета и, в частности, при летных испытаниях.

Проблема заключается в том, что в процессе лётных испытаний самолётов, когда выявляются трудности с достижением ими ряда заявленных лётно-технических характеристик (ЛТХ), остро встаёт вопрос о соотношении тяги и сопротивления самолёта. Далеко не всегда имеется достаточное препарирование силовой установки, позволяющее осуществить непосредственное определение тяги в полёте. Получение надёжных расчётно-экспериментальных оценок полётных значений тяги и удельного расхода топлива затрудняется также тем, что в последние годы разработчики двигателя с целью экономии средств стремятся уменьшить объём испытаний двигателя на высотных стендах или совсем исключить такие испытания. Поэтому с целью повышения достоверности расчётных значений тяги целесообразно сопровождать лётные испытания самолёта, в которых подтверждаются основные ЛТХ, расчётом основных данных двигателя с использованием аэродинамических характеристик самолёта. Полезность таких оценок особенно возрастает в случае конфликтных ситуаций при определении причин невыполнения определённых требований Заказчика к основным лётным данным. Источником недоразумений здесь может быть неучёт того обстоятельства, что любые потери эффективной тяги можно относить как к самолёту, уменьшая соответствующим образом его аэродинамическое качество, так и к двигателю, увеличивая, например, при расчёте топливной эффективности удельный расход топлива относительно проектного значения.

Целью диссертационной работы Приходько С.Ю. являлось разработка методики совместной идентификации сил эффективной тяги силовой установки и аэродинамического сопротивления с применением алгоритма получения отдельных оценок сил эффективной тяги силовой установки в эксплуатационной области режимов полета, а также оценка точности результатов расчетов параметров полета летательного аппарата, полученных на пилотажном стенде и в ходе летных испытаний.

Задачи, решаемые автором в процессе реализации поставленной цели, включали:

- Анализ существующих методов оценивания эффективной тяги двигателя.
- Разработка методического аппарата идентификации эффективной тяги двигателя по данным натурного эксперимента.
- Верификация разработанной методики по результатам моделирования на пилотажном стенде и по данным летных испытаний.

На защиту выносятся:

- Методика совместной идентификации сил эффективной тяги силовой установки и аэродинамического сопротивления летательного аппарата.
- Результаты оценки точности предложенных методов идентификации эффективной тяги силовой установки.

Научная новизна работы включает:

1. Новый метод совместной идентификации сил эффективной тяги силовой установки и аэродинамического сопротивления.
2. Новый метод оценивания приращений эффективной тяги при изменении режима работы двигателя.
3. Результаты совместной идентификации эффективной тяги силовой установки и аэродинамического сопротивления, полученные с использованием предложенных методов, включающие оценку точности этих результатов.

Представленная диссертация состоит из введения, 3-х разделов, заключения, списка литературы, содержащего 70 использованных источников и 4-х приложений (всего 135 листов).

Первый раздел работы, посвященный анализу существующих подходов к оцениванию силы тяги силовой установки летательного аппарата на этапе летных испытаний, содержит:

- общую характеристику области и предмета исследований, сопровождающуюся пояснением сложности решаемой задачи, связанной прежде всего с тем, что в летном эксперименте оценивается сумма сил тяги и сопротивления, и для определения каждой из этих составляющих принимаются различные допущения, от правильности которых, в конечном итоге, зависит результаты оценки либо тяги двигателя, либо сопротивления летательного аппарата;
- анализ существующих отечественных и зарубежных методик определения тяги газотурбинных двигателей, базирующихся, прежде всего, на стендовых испытаниях, с кратким описанием способов расчета тяги по данным измерений и возникающих при этом проблем и погрешностей;
- краткое описание разработанного в ФГУП «ЦИАМ им. П.И.Баранова» программного комплекса ДСД (Диалоговая система «Двигатель») для газодинамического моделирования характеристик газотурбинного двигателя;
- анализ теоретических подходов к отдельному определению тяги двигателя и аэродинамического сопротивления по данным летных испытаний, основанных на использовании режимов испытаний, для которых обеспечивается линейная независимость векторов тяги и аэродинамических сил, с указанием их основных недостатков, связанных с математической некорректностью и сложностью решаемой математической задачи;
- перечень основных направлений исследований, содержащихся в диссертации, включающих:
 - определение условий идентифицируемости в задаче о совместном определении тяги силовой установки и аэродинамического сопротивления летательного аппарата;
 - разработку алгоритма отдельного определения сил тяги силовой установки и аэродинамического сопротивления, устойчивого к погрешностям («шумам») измерений;
 - разработку метода оценки приращения тяги силовой установки при изменении режима работы двигателей;

- разработка тестовых полетных маневров, обеспечивающих линейную независимость векторов тяги и аэродинамического сопротивления летательного аппарата на участке идентификации;
- оценку работоспособности предложенной методики и ее устойчивости к погрешностям стендового моделирования и данным летных испытаний.

Второй раздел работы, посвященный разработке методов отдельного определения тяги силовой установки и аэродинамического сопротивления летательного аппарата, содержит:

- математический вывод необходимых условий совместной идентифицируемости тяги и сопротивления при различных предположениях об их изменении на базовом («скользящем» в терминологии автора) интервале изменения параметров, характеризующем рассматриваемый диапазон режимов полета/работы двигателя, и требования к условиям совместной идентификации, включающие:
 - необходимость рассмотрения режимов полета, в которых меняется скоростной напор;
 - обеспечение существенного изменения скоростного напора при постоянстве тяги или ее линейном изменении на участке обработки при постоянном режиме работы двигателей;
 - необходимость использования газодинамической модели двигателя при определении конкретных параметров, характеризующих работу двигателя в рассматриваемом диапазоне режимов его работы;
- описание способа преобразования модели объекта к виду, удобному для идентификации по данным летного эксперимента с использованием полусвязной системы координат;
- описание алгоритма отдельного определения тяги силовой установки и аэродинамического сопротивления, устойчивого к погрешностям («шумам») измерений;
- описание метода оценки приращений эффективной тяги при изменении режима работы двигателей;
- методику выполнения летных экспериментов по идентификации эффективной тяги силовой установки, основанную на:

- широком использовании неустановившихся (нестационарных) режимов полета в сочетании с квазистационарными и традиционными установившимися (стационарными) режимами;
- тщательной подготовке программы летных испытаний и условий для ее выполнения.

Третий раздел работы, посвященный анализу результатов, получаемых с использованием заимствованных и созданных при выполнении работы алгоритмов, содержит:

- примеры характеристик двигателя типового ТРДДФ, полученных с использованием программного комплекса «ДСД», разработанного в ФГУП «ЦИАМ им. П.И.Баранова», позволяющие оценить влияние условий полета и регулирующих параметров на тягу двигателя;
- результаты оценок величин погрешностей идентификации тяги и аэродинамического сопротивления, полученных при использовании характеристик двигателя, полученных по его газодинамической модели;
- результаты верификации алгоритма оценки эффективной тяги силовой установки в условиях воздействия задаваемых погрешностей («шумов») измерений на примере данных летных испытаний самолета МиГ-АТ;
- результаты верификации приращений эффективной тяги силовой установки при изменении режима работы двигателей относительно установившегося значения.

Приложения к основному тексту диссертации содержат:

- требования, предъявляемые к системе измерения и регистрации параметров авиационного комплекса при проведении летных испытаний (Приложение А);
- методические рекомендации летному составу по выполнению тестовых маневров, обеспечивающих идентификацию абсолютного значения эффективной тяги силовой установки (Приложение Б);
- методические указания по выполнению обработки полетных данных при помощи метода «максимума правдоподобия» (Приложение В);
- копия акта о внедрении/реализации результатов исследования в ГЛИЦ им. В.П.Чкалова (Приложение Г).

Основными результатами работы являются:

1. Обоснование целесообразности и возможности отдельной оценки эффективной тяги двигателя и аэродинамического сопротивления летательного аппарата и формулирование требований при которых решение этой задачи возможно.
2. Алгоритм решения поставленной задачи на основе метода «максимума правдоподобия», устойчивый к погрешностям («шумам») измерения полетных данных.
3. Метод оценки приращения эффективной тяги силовой установки, непосредственно использующий значения основных полетных показателей (перегрузки, воздушная скорость, высота, угол атаки и т.д.).
4. Результаты верификации разработанных алгоритмов и методов, демонстрирующих работоспособность и правильность принятых о принятых подходов при отдельной оценке эффективной тяги двигателя и аэродинамического сопротивления самолета на примере реальных данных летных испытаний самолета МиГ-АТ.
5. Методика выполнения летных экспериментов по идентификации эффективной тяги силовой установки с использованием разработанных алгоритмов и методов.

Основные практические аспекты результатов выполненных в работе исследований реализованы в ГЛИЦ им. В.П.Чкалова при:

- разработке учебно-методических материалов для слушателей Центра подготовки летчиков-испытателей;
- создании комплекса математических моделей для исследования динамических характеристик самолетов;
- совершенствовании методического обеспечения испытаний авиационных комплексов при получении их летно-технических характеристик;
- разработке новых методов летных испытаний по оценке боевой эффективности новых авиационных комплексов.

Основываясь на анализе содержания диссертации, хотелось бы высказать ряд замечаний:

- Методы и способы определения эффективной тяги силовой установки, рассматриваемые в диссертационной работе служат не «...для устранения недостатков...» традиционных способов определения тяги двигателя (например, по результатам стендовых испытаний и/или с использованием современных расчетных методов), как указано во введении на страницах 4 и 5, а могут дополнять эти способы при проведении летных испытаний,

причем актуальность рассматриваемых в работе методов будет возрастать в случае конфликтных ситуаций при определении причин невыполнения требований Заказчика к основным лётным данным самолета.

- Очевидным достоинством рассматриваемых в работе методов является то, что они имеют дело именно с эффективной тягой двигателя, понимаемой как усилие в узлах крепления силовой установки к планеру, однако используемая в разделе 2 работы математическая связь этой эффективной тяги с выходным и входным импульсами двигателя, носит более сложный, чем указано в формула (2.46) характер.
- Одним из основных требований при проведении идентификации с использованием предлагаемых в работе методов и алгоритмом является постоянство эффективной тяги, однако на графиках раздела 3.3, иллюстрирующих рассматриваемые участки полетных маневров можно выявить зоны, где одновременно растет угол атаки, перегрузка n_y и воздушная скорость, что возможно только при разгоне самолета, т.е. при увеличении эффективной тяги силовой установки.
- Восприятию содержания диссертации мешает использование автором ряда терминов, непривычных для восприятия, например, «оценивание», «раздельные оценки/оценивание», «максимум правдоподобия», а также отсутствие четкой понятной схемы сил, действующих на силовую установку и летательный аппарат при его движении по траектории полета.

В целом диссертация Приходько Станислава Юрьевича на тему **«Методика оценивания эффективной тяги газотурбинных двигателей в летных испытаниях»** является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований содержится решение научной задачи, имеющей важное значение для развития теории и практики проведения летных испытаний авиационных комплексов.

Отмеченные недостатки не снижают общего высокого уровня диссертации, выполненной на актуальную тему и имеющей научную и практическую ценность.

Автореферат диссертации соответствует ее содержанию и отражает основные научные результаты, полученные при её выполнении.

Основные научные результаты диссертационного исследования Приходько Станислава Юрьевича достаточно подробно опубликованы, в том числе, и в рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных

Высшей аттестационной комиссией. Практические аспекты проведенных исследований приняты к внедрению в деятельность ГЛИЦ им. В.П.Чкалова, что подтверждается соответствующим документом.

С учетом вышесказанного, можно сделать вывод о том, что диссертация Приходько Станислава Юрьевича на тему **«Методика оценивания эффективной тяги газотурбинных двигателей в летных испытаниях»** соответствует требованиям, предъявляемым пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 № 842 (в редакции постановления Правительства Российской Федерации от 21.04.2016 № 335), а автор диссертации, Приходько Станислава Юрьевича, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов»

Официальный оппонент:

Кандидат физико – математических наук, старший научный сотрудник, начальник отдела моделирования ГТД и информационной поддержки разработок ФГУП «Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова»,

Макаров Владимир Евгеньевич

6 ноября 2018 года

Подпись руки Макарова В.Е. заверяю,
ученый секретарь ФГУП «Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова»,



Джамай Екатерина Викторовна

Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова»

Адрес: 111116, Россия, Москва, ул. Авиамоторная, 2,

Телефон +7(495) 362-40-25

Адрес электронной почты: vmakarov@ciam.ru