

ОТЗЫВ официального оппонента

доктора технических наук, старшего научного сотрудника Лещенко Игоря Алексеевича на диссертационную работу Аландаря Артема Дмитриевича «Методика формирования технического облика силовой установки сверхзвукового пассажирского самолета», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

В настоящее время как за рубежом, так и в России активно ведутся работы в обеспечение создания сверхзвуковых пассажирских самолетов (СПС) нового поколения. С учетом опыта разработки и коммерческой эксплуатации СПС первого поколения (Ту-144 и Concorde), эти работы ведутся, в первую очередь, с акцентом на современных требованиях по безопасности, экономической эффективности и экологичности гражданской авиационной техники. Большинство научно-исследовательских программ рассматривают СПС с уменьшенной по сравнению с первым поколением крейсерской скоростью на уровне $M_{\text{крейс}} = 1,6 \dots 1,8$ и взлетной массой $G_{\text{взл}} = 50 \dots 80$ т.

Ключевым звеном, определяющим успешность любой программы разработки СПС нового поколения, является создание для него маршевой силовой установки (СУ). Силовая установка должна обеспечивать, с одной стороны, достаточно высокий уровень удельной тяги при низком значении километрового расхода топлива на сверхзвуковом крейсерском режиме, и, с другой стороны, низкие уровни шума СПС на местности при взлете и посадке. На сегодняшний день нормы по шуму на местности для СПС не установлены, и ИКАО рекомендует в качестве целевых применять требования, предъявляемые к дозвуковым самолетам гражданской авиации, что существенно усложняет задачу выбора параметров СУ для СПС.

Диссертация Аландаря Артема Дмитриевича направлена на разработку методики формирования предварительного технического облика СУ СПС, позволяющей учитывать требования к СУ по тяге на ключевых режимах полета, а также по скорости истечения реактивной струи из сопла на этапах взлета. В основе методики лежит использование разработанной автором математической модели силовой установки, состоящей из воздухозаборника, ТРДД и реактивного сопла, которая позволяет увязать их параметры для расчетного режима работы СУ в условиях сверхзвукового крейсерского полета, а также выполнять расчет эффективных характеристик СУ. При увязке решается задача согласования воздухозаборника с двигателем по расходу воздуха. Модель СУ учитывает особенности ее компоновки на планере, характерные для современных проектов СПС, такие как верхнее расположение воздухозаборника на крыле, сложная форма входного сечения воздухозаборника, а также плоское реактивное сопло с односторонним расширением потока. Инженерная методика расчета характеристик воздухозаборника адаптирована под работу с учетом вышеописанных особенностей. Наличие математической модели, позволяющей определить тягово-экономические характеристики СУ СПС, является абсолютно необходимым условием для проектирования такой СУ, поэтому рассматриваемая диссертационная работа Аландаря А.Д. является **актуальной**.

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ

27.08.2025 г.

Соискатель сформулировал следующие задачи диссертационной работы: анализ научно-технического задела и основных проблем формирования технического облика СУ СПС нового поколения, разработка математической модели СУ СПС, позволяющей выполнять расчет ее эффективных характеристик с учетом конструктивно-схемных особенностей ее элементов, расчетное исследование влияния проектных параметров СУ СПС на ее технический облик и тягово-экономические характеристики, разработка методики формирования технического облика маршевой СУ СПС с использованием разработанной математической модели, апробация разработанной модели в системе более высокого уровня по отношению к СУ: «летательный аппарат – силовая установка». Указанные задачи поставлены грамотно и обоснованно.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений и списка литературы. Структура диссертации отражает сформулированные автором задачи исследования. Общий объем работы составляет 155 страниц, в том числе 120 рисунков, 5 таблиц и 256 литературных источников. Диссертация написана грамотно, оформлена аккуратно и в соответствии с требованиями ГОСТ. Автореферат отражает основное содержание диссертации, а также ключевые идеи, результаты и выводы, изложенные в ней.

Во введении изложена и обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель, задачи, научная новизна и практическая значимость работы, представлены основные положения диссертации, выносимые на защиту.

Глава 1 посвящена анализу состояния проблемы формирования технического облика СУ СПС, в ней рассмотрены как проекты СПС первого поколения, так и современные. В качестве основного препятствия на пути создания СПС нового поколения выдвигается проблема разработки СУ, обеспечивающей высокие летно-технические характеристики самолета и низкие уровни шума самолета на местности при взлете и посадке. Обоснованно предлагается выполнять формирование технического облика СУ СПС на основе вновь проектируемого ТРДД со смешением потоков без форсажной камеры с традиционной архитектурой лопаточных машин. При этом делается акцент на необходимости определения термодинамического облика ТРДД с учетом заданного значения скорости истечения реактивной струи из сопла и окружной скорости на кромке рабочих лопаток вентилятора на взлетных режимах, так как эти параметры в наибольшей степени определяют вклад СУ в общий шум СПС.

Глава 2 содержит результаты разработки автором математической модели для расчета параметров и характеристик СУ, состоящей из воздухозаборника, ТРДД и реактивного сопла применительно к перспективному СПС. Рассмотрена компоновка, у которой воздухозаборники располагаются на верхней поверхности планера в угловой зоне между крылом и фюзеляжем, двигатели интегрированы в планер, а плоские реактивные сопла расположены в едином пакете в хвостовой части планера. Выбор такого объекта моделирования является обоснованным, поскольку большая часть современных проектов СПС имеют схожее расположение СУ. При разработке инженерной математической модели сверхзвукового воздухозаборника автором учтены такие факторы, как отличие местных параметров воздуха перед воздухозаборником от параметров невозмущенного потока, влияние сложной геометрической формы элементов воздухозаборника на течение в нем, а также наличие пограничного слоя на поверхностях торможения. Соискателем представлено

сравнение результатов расчетов параметров ВЗ, получаемых с помощью разработанной математической модели, с результатами трехмерного численного моделирования обтекания воздухозаборника с шестиугольной формой входа, а также с результатами испытаний классического плоского воздухозаборника, полученными другими авторами. Соответствующие ссылки на авторов в работе имеются. Представлено описание используемой автором поэлементной нелинейной одномерной математической модели турбореактивного двухконтурного двигателя, основанной на решении системы уравнений, описывающих совместную работу элементов двигателя. Показаны алгоритмы работы инженерной математической модели сверхзвукового плоского реактивного сопла с односторонним расширением потока. Представлена процедура согласования воздухозаборника и двигателя в системе силовой установки.

Глава 3 содержит результаты выполненных автором расчетных исследований параметров и характеристик СУ, а также описание разработанной методики формирования технического облика СУ СПС. Приведено описание алгоритма, позволяющего выполнять завязку ТРДД с учетом требований по тяге на максимальном крейсерском режиме и режиме отрыва от взлетно-посадочной полосы, а также заданных ограничений по температуре воздуха на выходе из компрессора на сверхзвуковом крейсерском режиме и скорости истечения реактивной струи из сопла в конце взлета. Работоспособность данного алгоритма подтверждена результатами расчетных исследований влияния параметров двигателя на технический облик и эффективные характеристики СУ СПС. Продемонстрирована возможность обоснованного применения регулируемого или нерегулируемого воздухозаборника на основе соотношения расхода воздуха через двигатель на максимальном и крейсерском режимах. На основе результатов расчета эффективных характеристик СУ автором обоснована рекомендация по применению для двигателя СПС реактивного сопла с регулируемым критическим сечением. Работа методики формирования технического облика СУ СПС с учетом заданных экологических ограничений продемонстрирована на примере двух ТРДД, отличающихся заданным значением скорости реактивной струи в конце взлета.

Глава 4 посвящена демонстрации возможностей разработанной методики в системе летательного аппарата. Рассмотрена задача оценки дальности полета СПС с несколькими вариантами СУ, отличающимися скоростью реактивной струи в конце взлета, стартовой тяговооруженностью и способами регулирования входного и выходного устройств. Автором сформулирован вывод о необходимости выбора повышенной степени двухконтурности и некоторого переразмеривания двигателя по взлетной тяге для увеличения дальности полета СПС при низких значениях скорости истечения струи из сопла.

В заключении обозначены основные выводы и ключевые результаты диссертации.

В диссертационной работе автором грамотно использованы ключевые положения теории воздушно-реактивных двигателей, методы математического моделирования и подходы системного анализа. Разработанные новые математические модели и алгоритмы верифицированы путем сравнения с методами более высокого уровня, а также с открыто опубликованными научными и литературными данными. Также в диссертации подробно описаны принятые при проведении расчетов допущения и упрощения, корректно и уместно приведены ссылки на работы других авторов, а результаты, полученные совместно с другими авторами, отмечены отдельно. Все это в совокупности подчеркивает **достоверность**

и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в работе.

Представленные в диссертации результаты обладают **научной новизной и практической значимостью**. Модель, объединяющая поэлементную нелинейную термодинамическую модель ТРДД и достаточно сложную инженерную методику расчета характеристик сверхзвукового входного устройства сложной формы, несомненно, является новой для отрасли. Разработанные автором математическая модель и методика позволяют оперативно сформировать предварительный технический облик СУ с учетом ключевых для СПС ограничений, заданных из соображений обеспечения работоспособности двигателя на длительном сверхзвуковом крейсерском этапе полета, а также по соображениям минимизации вклада СУ в шум СПС при взлете и посадке. Результаты работы могут применяться в ходе разработки силовых установок перспективных СПС.

Следует выделить следующие замечания к диссертационной работе:

1. В главе 2 представлен алгоритм моделирования реактивного сопла с односторонним расширением, но во всей работе нет ни одного упоминания про конкретную величину внутренних потерь тяги сопла, определяемую с помощью этой методики. В этой связи трудно оценить эффект от применения этой методики в системе математической модели СУ СГС.

2. В главе 2 не приведены основания, почему методика согласования воздухозаборника и двигателя по расходу воздуха на нерасчетных режимах основана на итерационном подходе. Такая процедура может быть реализована более рационально путем включения параметра, описывающего положение рабочей точки на характеристике входного устройства, в состав переменных системы уравнений двигателя.

3. В главе 3 в основе работы методики лежит задание в качестве граничного условия постоянной величины тяги двигателя на расчетном крейсерском режиме полета. При решении практических задач такой подход требует корректировки с учетом того, что тяга, потребная для выполнения горизонтального установившегося полета на сверхзвуковом крейсерском режиме, в свою очередь может существенно зависеть от площади миделя силовой установки, влияющей на аэродинамическое сопротивление ее и фюзеляжа.

4. В главе 4 при моделировании работы СУ в составе СПС подход с применением постоянного коэффициента массы для учета размеров входного и выходного устройств представляется слишком упрощенным и способным исказить значения получаемых показателей ЛТХ, особенно для двигателей с большими значениями степени двухконтурности.

Следует отметить, что указанные замечания не снижают научную и практическую ценность проведенных исследований и общую положительную оценку диссертационной работы.

Основные результаты диссертации в полной мере отражены в 6 статьях, опубликованных в изданиях из рекомендованного ВАК РФ перечня, 5 статьях, опубликованных в изданиях, индексируемых базой данных Scopus, и 23 публикациях в сборниках международных и всероссийских конференций, симпозиумов, форумов и т.д. Также у автора диссертации имеется свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «HINT1D», созданной по результатам разработки математической модели сверхзвукового воздухозаборника.

На основе вышесказанного можно заключить, что диссертация Аландаря Артема Дмитриевича «Методика формирования технического облика силовой установки сверхзвукового пассажирского самолета» является завершенной научно-квалификационной работой, отвечает требованиям, установленным п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Аландарь Артем Дмитриевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Согласен на сбор, обработку, хранение и размещение в сети «Интернет» моих персональных данных, связанных с защитой указанной диссертации.

Официальный оппонент:
доктор технических наук,
старший научный сотрудник,
начальник бригады ПАО «ОДК-Сатурн»


(подпись)

Лещенко И.А.

«14» 08 2025 г.

Подпись руки Лещенко И.А. заверяю

Начальник отдела кадров
ПАО «ОДК-Сатурн»


(подпись)

Воронцовская Т.С.

Публичное акционерное общество «ОДК-Сатурн»

Почтовый адрес: 152903, Ярославская обл., г. Рыбинск, проспект Ленина, д. 163

Тел.: +7 (4855) 328-100

Адрес электронной почты: saturn@uec-saturn.ru

С отзывом ознакомлен
Арт. А.Д. Аландарь
27.08.2025г.