

Педагогическая школа теории рабочих процессов и испытания газотурбинных двигателей Самарского университета

В.А. Григорьев¹, В.С. Кузьмичёв¹, С.В. Лукачёв¹, В.Н. Матвеев¹

¹Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, Самара, Россия

Поступила в редакцию 17.07.2018

Аннотация

Приведена краткая история формирования педагогической школы теории рабочих процессов и испытания газотурбинных двигателей Самарского университета. Рассмотрены особенности и преимущества курсов теории газотурбинных двигателей, теории и расчета лопаточных машин, теории рабочих процессов камер сгорания и испытания авиационных двигателей.

Ключевые слова: педагогическая школа, газотурбинные двигатели, теория и испытания.

Key words: pedagogical school, gas turbine engines, theory and test.

Развитие авиационного транспорта и военной авиационной техники напрямую связано с совершенствованием силовых установок самолётов и вертолётов. Известно, что эффективность летательных аппаратов более чем наполовину определяется эффективностью их силовых установок, которые в основном базируются на газотурбинных двигателях (ГТД).

Развитие ГТД идет по пути улучшения термодинамических параметров рабочего процесса (сбалансированного роста температуры газа перед турбиной и степени повышения давления), схемно-конструктивного совершенствования, повышения показателей эффективности использования ГТД на борту летательного аппарата.

Расширение диапазона применения двигателей как по скорости, высоте и дальности полета, так и по условиям эксплуатации (температуре и давлению окружающего воздуха, влажности, наличию пыли, порывов ветра, повышенной турбулентности атмосферы), постоянно услож-

няют процесс создания ГТД и определяют необходимость сложнейшего комплекса доводочных работ, итогом которых является сертификация двигателя.

Даже такое, весьма краткое, перечисление современных требований, предъявляемых к авиационным двигателям, наглядно показывает сложность вопросов, которые необходимо решать в настоящее время инженерам-двигателестроителям.

Создание современного авиационного двигателя – это комплексный процесс, сочетающий применение новейших достижений в области газовой динамики и термодинамики, процессов горения и теплообмена, конструкционной прочности, управления и диагностики, материаловедения и производственных технологий. Практическая реализация такого сложнейшего процесса не возможна без соответствующего кадрового обеспечения.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва (Самарский университет) был создан в 1942 году как Куйбышевский

авиационный институт с целью подготовки инженеров – специалистов самолёто- и моторостроителей, крайне необходимых для производства военной авиации в период Великой отечественной войны. Его первые десятилетия существования можно охарактеризовать как время становления и формирования первых педагогических и научных школ.

Начало формирования педагогической школы теории рабочих процессов и испытания газотурбинных двигателей Куйбышевского авиационного института (ныне Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королёва) относится к середине 50-х годов прошлого столетия. У ее истоков стоял профессор Дорофеев Виталий Митрофанович – первый заведующий кафедрой теории двигателей летательных аппаратов, тогда кафедры теплотехники и теории авиадвигателей. Под его руководством и при непосредственном участии был впервые разработан в Куйбышевском авиационном институте курс теории воздушно-реактивных двигателей (ВРД), в состав которого помимо непосредственно теории двигателей входили разделы по теории и расчету авиационных лопаточных машин и испытанию ВРД.

В дальнейшем разделы непосредственно по теории и расчету ВРД (газотурбинных двигателей) были выделены в отдельный курс и усовершенствованы профессорами В.Г. Масловым, В.В. Кулагиним, В.А. Григорьевым, В.С. Кузьмичевым, доктором А.Ю. Ткаченко.

Курс теории газотурбинных двигателей имеет большое значение в формировании авиационных специалистов-моторостроителей. Поэтому в нашей стране, начиная с 50-х годов прошлого столетия, была издана целая серия учебной литературы по этой дисциплине, в частности, такие учебники, как [1-9], которые играют важную роль при подготовке квалифицированных кадров для работы в области проектирования, доводки и эксплуатации авиационных двигателей. В этих изданиях каждый тип двигателя рассматривает-

ся отдельно, а за основу принят самый простой тип двигателя – одновальный турбореактивный двигатель. Такой принцип изложения материала сложился исторически и имеет определенные преимущества. Однако он не свободен и от недостатков, таких, например, как неизбежные повторения, недостаточная полнота освещения двухконтурных турбореактивных двигателей, которые получили наиболее широкое распространение и определяют качественно новый этап развития авиационных силовых установок.

Поэтому в Самарском университете разработан и апробирован в учебном процессе методически новый подход. Он изложен, начиная с 1975 года, в серии учебных пособий и учебников В.В. Кулагина и на сегодняшний день представлен в 4-ом издании учебника «Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок» [10, 11]. Заключается новый подход в том, что теория газотурбинных двигателей различных типов излагается обобщенно. При этом за основу принят турбореактивный двухконтурный двигатель (ТРДД) как наиболее общий тип двигателя. Одноконтурные турбореактивные и турбовинтовые двигатели описаны как частные случаи двухконтурных, а одновальные – как частные случаи двухвальных. При таком обобщенном методическом подходе для всех типов двигателей были введены ряд единых понятий.

В качестве полезной работы тепловой машины принято не приращение кинетической энергии рабочего тела, а разность между подведенной и отведенной теплотой (как в термодинамике). Это позволило упростить изложение и сделать вывод о том, что три основных типа двигателей: одноконтурный турбореактивный, двухконтурный турбореактивный, турбовинтовой (турбовинтовентиляторный) и турбовальный как тепловые машины не отличаются один от другого.

Для оценки эффективности преобразования механической энергии в полезную работу передвижения летательного



В.А. Григорьев



В.С. Кузьмичёв



С.В. Лукачёв



В.Н. Матвеев

аппарата введено новое понятие – КПД двигателя. Это позволило получить для трех основных типов ГТД обобщенные формулы удельной тяги и других критериев эффективности двигателей и математически строго рассмотреть одновалвные турбореактивные и турбовинтовые двигатели как частные случаи ТРДД.

Отличительной особенностью курса теории ГТД является его четкое разделение на изучение рабочего процесса проектируемого и выполненного двигателя. Основное внимание уделяется термогазодинамическому анализу зависимостей удельных параметров проектируемого двигателя и основных технических данных выполненного двигателя от различных факторов. Такой анализ позволяет, в конечном счете, понять поведение двигателя в различных условиях его эксплуатации. Поэтому разработаны как методы такого анализа, так и соответствующая организация учебного процесса для освоения этих методов и усвоения теории ГТД.

Для проектируемого двигателя зависимости удельных параметров: удельной тяги – $P_{уд}$ и удельного расхода топлива – $C_{уд}$ от параметров рабочего процесса (суммарной степени повышения давления – π_{Σ}^{\wedge} , температуры на входе в турбину – T_r^* , степени двухконтурности – m) анализируются двумя методами: методом работы цикла (методом Б.С. Стечкина) и в последовательности, принятой в проектно-термогазодинамическом расчете.

Анализ характеристик выполненного двигателя, то есть зависимости тяги, удельного расхода топлива и других параметров от внешних условий и режима работы намного сложнее, так как при этом изменяется, как правило, положение рабочих точек на характеристике компрессора, а, следовательно, и параметры рабочего процесса. Таким образом, надо определить, например, зависимость тяги не от одного (как в проектно-термогазодинамическом расчете), а от всех параметров одновременно.

Для составления методики определения характеристик выполненного двига-

теля проводится общий анализ уравнений совместной работы узлов ТРДД. От совместной работы узлов осуществляется переход к линиям совместной работы, а от них – к универсальным (обобщенным) характеристикам двигателя.

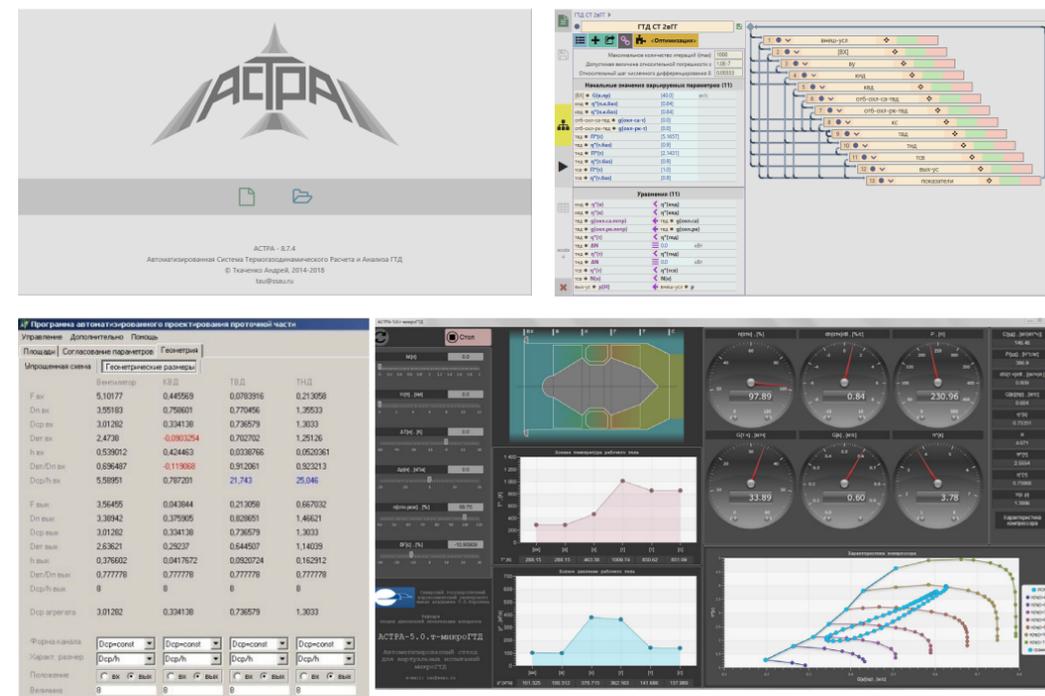
При разработке такой методики было показано, что по обобщенным характеристикам легко получить основные закономерности изменения положения рабочих точек на характеристиках компрессоров и целого ряда приведенных параметров двигателя. Такой подход получил название А-метод анализа характеристик ГТД.

Анализ характеристик недостаточно выполнить одним методом, так как это обычно не позволяет получить однозначный вывод об изменении удельных параметров и основных данных двигателя. Необходимо подтвердить полученный вывод другим методом анализа, поскольку совпадение результатов, полученных различными методами, является критерием правильности проведенного анализа. Поэтому разработан и второй метод анализа (Б-метод), в котором за основу принята методика расчета характеристик выполненного двигателя. Изложение и освоение студентами методов проектно-термогазодинамического расчета и определения его характеристик является основной задачей курса теории ГТД.

С 2000 года совершенствование методологии изложения курса теории ГТД интенсифицировалось благодаря разработке и внедрению в учебный процесс автоматизированной САЕ-системы термогазодинамического анализа газотурбинных двигателей – АСТРА (см. рис. 1).

С ее помощью в настоящее время выполняется курсовая работа «Основные закономерности изменения удельных параметров и проектный термогазодинамический расчет ГТД» и самостоятельная работа «Совместная работа узлов и характеристики ГТД». Особенно важно, что с помощью системы АСТРА удалось сформировать и апробировать методики самостоятельного изучения разделов дисциплины, в том числе в процессе вы-

Рис. 1. Заставки разделов программного комплекса АСТРА



полнения компьютеризированных лабораторных работ.

На рубеже 50-х годов в авиационных вузах страны в рамках курсов по теории ГТД были сформированы разделы, посвященные теории рабочего процесса и расчету авиационных лопаточных машин – компрессоров и турбин [2, 3, 12]. В дальнейшем эти разделы трансформировались в самостоятельную учебную дисциплину [13, 14].

Курс теории и расчета лопаточных машин в Куйбышевском авиационном институте – Самарском университете развивался на базе соответствующих глав курса лекций В.М. Дорофеева по теории ВРД. Активное участие в этом принимали как преподаватели института профессора А.С. Наталевич, Б.М. Аронов, Н.Т. Тихонов, В.Н. Матвеев, доценты Н.Ф. Мусаткин, А.Н. Белоусов, В.М. Радько, О.В. Батурин, так и работники двигателестроительных конструкторских бюро города Самары Е.Д. Стенькин, З.Р. Гуревич, Б.И. Мамаев, А.В. Юрин.

По дисциплине теории и расчету авиационных лопаточных машин в Самарском университете выпущено два издания курса лекций [15], учебник [16] и целая серия учебных пособий для выполнения курсовой работы, проведения практических занятий и лабораторных работ (в частности, [17-19]).

Методическая особенность этой дисциплины заключается в применении взаимосвязанных нульмерных, одномерных, двумерных и трехмерных моделей потока при изучении рабочего процесса турбомашин и их проектировании. В рамках этих моделей рассматриваются схемы и принципы действия ступеней турбомашин, применение основных уравнений сохранения к моделям потока газа в лопаточных машинах, различные виды потерь и этапы проектирования компрессоров и турбин.

Для проведения лабораторных работ созданы стенды для экспериментального определения характеристик малоразмерных лопаточных венцов, компрессоров

и турбин (см. рис. 2). Незначительные потребные энергетические затраты и обеспечение полной безопасности при проведении испытаний дает возможность студентам выполнять фактически самостоятельно лабораторные работы, разбиваясь на группы в 3-4 человека.

В последние десять лет по дисциплине теории и расчету лопаточных машин разработана методика обучения и выпущен целый ряд методических пособий по численному моделированию рабочего процесса турбомашин.

Еще одной отличительной особенностью подготовки специалистов в области газотурбинных двигателей в Самарском университете является комплексный системный проект, выполняемый бригадами студентов на протяжении нескольких семестров в рамках ряда специальных дисциплин с использованием современных информационных технологий. Этот сквозной курсовой проект начинается в рамках дисциплины теории двигателей в шестом семестре с термодинамического расчета газотурбинного двигателя и выбора его рациональной схемы с помощью автоматизированной системы АСТРА. В следующем семестре по дисциплине теории и расчету лопаточных машин осуществляется газодинамическое проектирование основных элементов проточной части двигателя – компрессора и турби-

ны, формируются численные трехмерные модели рабочего процесса в этих узлах двигателя на основе CFD пакета Ansys (см. рис. 3).

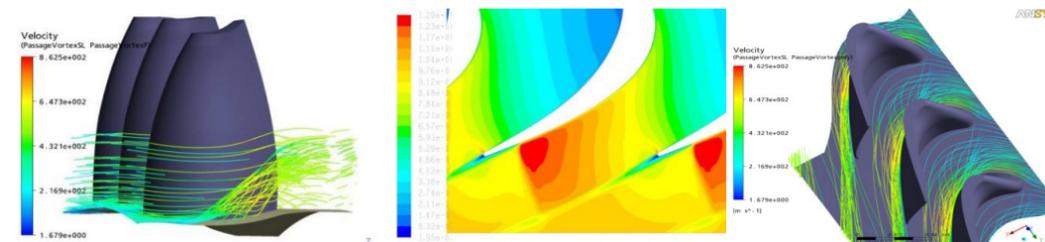
В дальнейшем, в рамках дисциплин кафедры конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов, выполняются прочностные расчеты основных элементов двигателя (лопаток, дисков, валов) с использованием универсального программного комплекса Ansys Mechanical. Завершается проект в девятом-десятом семестрах проектированием основных систем двигателя и его конструкторской проработкой в автоматизированной системе NX.

Без понимания закономерностей течения рабочего тела в проточной части ГТД невозможен анализ и совершенствование конструкции двигателя с целью повышения его эффективности. Предметом, позволяющим освоить студенту эти законы, является механика жидкости и газа. Эта и родственные ей дисциплины – термодинамика и теплопередача – изучаются на кафедре теплотехники и тепловых двигателей, где профессорами А.П. Меркуловым, А.С. Наталевичем и доцентом В.Т. Шестаковым создана профильная научная школа. В настоящее время это направление, обеспечивающее фундаментальную подготовку студентов в области гидроаэромеханики, возглавляет профессор

Рис. 2. Лаборатория лопаточных машин



Рис. 3. Численная модель рабочего процесса в лопаточном венце турбины



В.В. Бирюк, при непосредственном участии которого была создана соответствующая методическая и лабораторная база.

Курс теории рабочего процесса камер сгорания ВРД первоначально представлял собой раздел дисциплины теории двигателей. Его внедрению в учебный процесс в начале 80-х годов способствовал ректор Куйбышевского авиационного института, профессор В.П. Лукачѳв.

В дальнейшем, с середины 90-х годов, благодаря развитию в нашем вузе научного направления по энергетике и экологии двигателей, этот раздел был выделен в отдельную дисциплину «Энергетика и экология авиационных двигателей и энергетических установок». Курс лекций по этой дисциплине, в котором изучались различные аспекты образования вредных веществ в топливосжигающих устройствах и их воздействие на окружающую среду, начал читать на кафедре теории двигателей летательных аппаратов профессор Ю.А. Кныш.

В это же время на кафедре теплотехники и тепловых двигателей под руководством заведующего кафедрой С.В. Лукачѳва была открыта новая специальность «Двигатели внутреннего сгорания». В рамках этой специальности доцентом С.Г. Матвеевым был подготовлен курс лекций «Горение». В нем рассматривалась теория горения, рабочий процесс камер сгорания различных типов и их математическое описание. Впоследствии на базе этого курса была подготовлена дисциплина «Физико-химические основы процессов горения», которая изучается студентами и в настоящее время. Она включает

фундаментальные основы теории горения углеводородных топлив и ее приложения к решению практических технических задач, в частности, образование различных загрязняющих атмосферу веществ, в том числе такого канцерогенно активного вещества, как бензапирен.

С начала 2000-х годов доцентом А.А. Диденко подготовлены курсы «Камеры сгорания ГТД» и «Рабочие процессы горелочных устройств и камер сгорания». Целью этих дисциплин является освоение студентами классических методов проектирования камер сгорания и их элементов. Приобретаемые знания закрепляются при выполнении курсовой работы по проектированию камер сгорания.

Рост сложности проектируемой техники вызвал потребность в использовании при проектировании и доводке ГТД и их камер сгорания компьютерных технологий. В связи с этим в начале 2010-х годов доцентом М.Ю. Орловым был подготовлен курс лекций, а ассистентом С.С. Матвеевым – цикл лабораторных работ по дисциплине «Численные методы моделирования рабочих процессов», модифицированной в дальнейшем при активном участии доктора технических наук А.М. Ланского в дисциплину «Моделирование процессов в камере сгорания». В рамках данной дисциплины студенты осваивают основы моделирования рабочего процесса камер сгорания, занимаются расчетами рабочего процесса камер сгорания в составе газогенератора.

В настоящее время проводится комплексное обучение студентов разных специальностей и направлений подготов-

ки по дисциплинам, связанным с проектированием камер сгорания, горелочных устройств и моделированием их рабочего процесса. Эти дисциплины сформированы и продолжают интенсивно совершенствоваться благодаря усилиям профессора С.В. Лукачёва, доцентов С.Г. Матвеева, М.Ю. Орлова, А.А. Диденко, старшего преподавателя И.В. Четет, ассистентов С.С. Матвеева и И.А. Зубрилина.

Курсы, связанные с изучением рабочего процесса камер сгорания, обеспечены соответствующим методическим материалом, основой которого являются две монографии [20, 21] и ряд учебных пособий, таких как [22-24]. Особенностью этих курсов является материал, посвященный организации рабочих процессов в камерах сгорания с низким уровнем выделения токсичных веществ, камерах сгорания малоразмерных газотурбинных двигателей. В рамках упомянутого выше сквозного курсового проекта по индивидуальным учебным планам реализуется моделирование рабочего процесса в камерах сгорания в программном комплексе Ansys Fluent [25] (см. рис. 4).

Основа учебной дисциплины по испытанию авиационных двигателей была заложена в 50-е годы прошлого столетия при создании учебников по теории реактивных двигателей [2, 4] под редакцией Б.С. Стечкина. Эта работа была продолжена в 1956 году В.А. Тютюновым в учебнике «Испытания турбореактивных

авиационных двигателей», а в 1961 году преподавателями Куйбышевского авиационного института В.М. Дорофеевым и В.Я. Левиным в учебнике «Испытания воздушно-реактивных двигателей». В дальнейшем курс испытаний авиационных двигателей в Самарском университете совершенствовали профессор В.Г. Маслов и В.А. Григорьев.

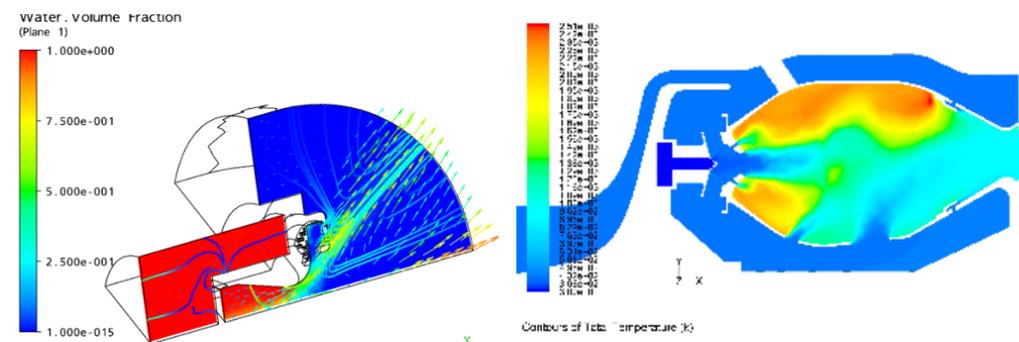
В настоящее время в Самарском университете эта дисциплина обеспечена учебником «Испытания авиационных двигателей» в двух его изданиях [26, 27], двумя изданиями учебного пособия «Основы доводки авиационных ГТД» [28, 29] и целым комплексом методических пособий к лабораторным работам по подготовке, проведению и автоматизации испытаний и научных исследований ГТД, в частности [30-32].

Основным преимуществом данной дисциплины Самарского университета является возможность проведения с запуском двигателей лабораторных работ в учебно-исследовательском комплексе университета. В его состав входят автоматизированные стенды на базе:

- малоразмерного турбореактивного двигателя ТС-12;
- малоразмерного имитатора турбовинтового двигателя ДГ-4м;
- полноразмерного двухконтурного турбореактивного двигателя АИ-25.

А также высотно-климатический стенд, предназначенный для определения характеристик малоразмерных газотурбинных

Рис. 4. Численная модель рабочего процесса в камере сгорания ГТД



двигателей в условиях, соответствующих высоте полета до 3 км и температуре на входе в двигатель от -50°C до $+50^{\circ}\text{C}$ (см. рис. 5).

Учебно-исследовательский комплекс позволяет при испытании двигателей решать задачи:

- автоматизированного измерения и регистрации термодинамических, режимных и прочностных параметров двигателей;
- автоматизированной первичной и вторичной обработки результатов измерений;
- управления режимами работы двигателей как в ручном, так и в автоматизированном режиме по заданной программе испытаний;
- непрерывного контроля и сигнализации предаварийных и аварийных значений параметров;
- обработки наиболее важной информации в темпе испытания и выдачи результатов экспресс-анализа на устройствах отображения информации (дисплеи, информационное табло, печатный протокол);
- хранения необходимой информации в базе данных.

Рис. 5. Экспериментальное оборудование для испытаний ГТД



Обязательной составляющей курса по испытанию авиационных двигателей является домашняя работа по формированию и расчету схемы испытательного стенда со всеми системами, обеспечивающими его функционирование.

По направлениям данной педагогической школы подготовлено 10 докторов и 41 кандидат технических наук.

Заключение

Таким образом, в Самарском университете в настоящее время создана и интенсивно развивается педагогическая школа теории рабочих процессов и испытания газотурбинных двигателей. В рамках педагогической школы создаются новые и совершенствуются уже реализуемые учебные дисциплины. Различные виды занятий: лекционные, лабораторные и практические, а также курсовое и дипломное проектирование обеспечиваются учебниками, учебными пособиями и иными методическими материалами. Модернизируется лабораторное и стендовое оборудование, создаются и адаптируются к учебному процессу аппаратно-программные комплексы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иноземцев, Н.В. Авиационные газотурбинные двигатели: теория и рабочий процесс / Н.В. Иноземцев. – М.: Оборонгиз, 1955. – 352 с.
2. Теория реактивных двигателей / П.К. Казанджан [и др.]. – М.: Оборонгиз, 1955. – 296 с.
3. Кулагин, И.И. Теория авиационных газотурбинных двигателей / И.И. Кулагин. – М.: Оборонгиз, 1955. – 408 с.
4. Теория реактивных двигателей (Рабочий процесс и характеристики) / Б.С. Стечкин [и др.]. – М.: Оборонгиз, 1958. – 534 с.
5. Кулагин, И.И. Теория газотурбинных реактивных двигателей / И.И. Кулагин. – М.: Машиностроение, 1969. – 479 с.
6. Теория воздушно-реактивных двигателей / В.М. Акимов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1975. – 568 с.
7. Нечаев, Ю.Н. Теория авиационных газотурбинных двигателей: В 2 ч. / Ю.Н. Нечаев, Р.М. Федоров. – М.: Машиностроение, 1978. – Ч. 2. – 334 с.
8. Теория и расчет воздушно-реактивных двигателей: учебник / В.М. Акимов [и др.]. – 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1987. – 568 с.
9. Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок: учебник / В.М. Акимов [и др.]. – 3-е изд. – М.: МАИ, 2003. – 688 с.
10. Кулагин, В.В. Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок: В 2 кн. Кн. 1. Основы теории ГТД. Рабочий процесс и термогазодинамический анализ / В.В. Кулагин, В.С. Кузьмичев. – М.: Инновационное машиностроение, 2017. – 336 с.
11. Кулагин, В.В. Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок: В 2 кн. Кн. 2. Совместная работа узлов выполненного двигателя и его характеристики / В.В. Кулагин, В.С. Кузьмичев. – М.: Инновационное машиностроение, 2017. – 280 с.
12. Теория реактивных двигателей (Лопаточные машины) / Б.С. Стечкин [и др.]. – М.: Оборонгиз, 1956. – 548 с.
13. Холшевников, К.В. Теория и расчет авиационных лопаточных машин: учебник / К.В. Холшевников. – М.: Машиностроение, 1970. – 610 с.
14. Нечаев, Ю.Н. Теория авиационных газотурбинных двигателей: В 2 ч. / Ю.Н. Нечаев, Р.М. Федоров. – М.: Машиностроение, 1977. – Ч. 1. – 312 с.
15. Тихонов, Н.Т. Теория лопаточных машин авиационных газотурбинных двигателей / Н.Т. Тихонов, Н.Ф. Мусаткин, В.Н. Матвеев. – Самара: ИПО СГАУ, 2001. – 155 с.
16. Белоусов, А.Н. Теория и расчет авиационных лопаточных машин: Учебник / А.Н. Белоусов, Н.Ф. Мусаткин, В.М. Радько. – Самара: Самарский Дом печати, 2003. – 336 с.
17. Проектный термогазодинамический расчет основных параметров авиационных лопаточных машин / А.Н. Белоусов [и др.]. – Самара: Изд-во СГАУ, 2006. – 316 с.
18. Сборник задач, упражнений и вопросов по курсу «Теория и расчет лопаточных машин» / А.Н. Белоусов [и др.]. – М.: Машиностроение, 2009. – 238 с.
19. Экспериментальное определение характеристик малоразмерных лопаточных машин / О.В. Батурин [и др.]. – Самара: СГАУ, 2006 – 128 с.
20. Проектирование авиационных газотурбинных двигателей / В.П. Данильченко [и др.]. – Самара: Изд-во СНЦ РАН, 2008. – 620с.
21. Ланский, А.М. Рабочий процесс камер сгорания малоразмерных ГТД / А.М. Ланский, С.В. Лукачев, С.Г. Матвеев. – Самара: Изд-во СНЦ РАН, 2009. – 335с.
22. Орлов, М.Ю. Моделирование процессов в камере сгорания / М.Ю. Орлов, С.В. Лукачев, С.Г. Матвеев. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2017. – 292 с.
23. Диденко, А.А. Теория и расчет камер сгорания ВРД. Тепловой и гидравлический расчеты камеры сгорания ГТД / А.А. Диденко. – Самара: Изд-во СГАУ, 2012. – 100 с.
24. Ланский, А.М. Рабочий процесс камер сгорания малоразмерных ГТД / А.М. Ланский, С.В. Лукачев, С.Г. Матвеев. – Самара: Изд-во СНЦ РАН, 2016. – 260 с.
25. Моделирование процессов в камере сгорания / С.В. Лукачев [и др.]. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2015. – 176 с.
26. Испытания авиационных двигателей / В.А. Григорьев [и др.]. – М.: Машиностроение, 2009. – 504 с.
27. Испытания авиационных двигателей / В.А. Григорьев [и др.]. – 2-е изд., доп. – М.: Инновационное машиностроение, 2016. – 542 с.
28. Григорьев, В.А. Основы доводки авиационных ГТД / В.А. Григорьев, С.П. Кузнецов, А.Н. Белоусов. – М.: Машиностроение, 2012. – 152 с.
29. Григорьев, В.А. Основы доводки авиационных ГТД / В.А. Григорьев, С.П. Кузнецов, В.Т. Шепель. – 2-е изд., доп. – М.: Инновационное машиностроение, 2017. – 191 с.
30. Григорьев, В.А. Стенды, стендовое оборудование, датчики и средства измерения при испытаниях ВРД / В.А. Григорьев, И.И. Морозов, В.Т. Анискин. – Самара: Изд-во СГАУ, 2006. – 104 с.
31. Автоматизация испытаний и научных исследований ГТД / В.А. Григорьев [и др.]. – Самара: Изд-во СГАУ, 2007. – 136 с.
32. Лабораторный практикум по теории и испытаниям ГТД / В.А. Григорьев [и др.] – Самара: Изд-во СГАУ, 2007. – 224 с.