

К 50-ЛЕТИЮ ФАКУЛЬТЕТА "АЭРОМЕХАНИКИ И ЛЕТАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ" (ФАЛТ) МОСКОВСКОГО ФИЗИКО- ТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА (МФТИ)

ГНЦ РФ ФГУП "ЦИАМ им. П.И. Баранова"

Владимир Алексеевич Скибин, д.т.н., советник генерального директора по научной работе,
Александр Николаевич Крайко, д.ф.-м.н., начальник отдела.

Кафедра "Газовая динамика, горение и теплообмен" ФАЛТ МФТИ 1. Руководители кафедры

Кафедра МФТИ была открыта в ЦИАМ в 1952 году еще до возникновения ФАЛТ при аэромеханическом факультете МФТИ. Первым её руководителем с 1952 по 1963 год был крупный специалист в области двигателей **Александр Александрович Лакштовский**. Далее кафедрой руководили **Георгий Петрович Свищев** с 1963 по 1967 год, **Горимир Горимирович Черный** с 1967 по 1971 год, **Сергей Михайлович Шляхтенко** с 1971 года по 1982 год, **Донат Алексеевич Огородников** с 1982 по 1999 год. С 2000 года кафедрой "Газовая динамика, горение и теплообмен" заведует доктор технических наук, профессор **Владимир Алексеевич Скибин**.

Олег Николаевич Фаворский. В дальнейшем эта специализация была включена в учебный план кафедры "Газовая динамика, горение и теплообмен". В течение ряда лет О.Н. Фаворский читал курс лекций по теории воздушно-реактивных двигателей студентам кафедры.

Заметную роль в научных исследованиях института сыграли, посвятившие всю жизнь ЦИАМ, первые выпускники кафедры и МФТИ: В.Я. Безменов, Я.С. Каданер, Е.А. Локштанов и Э.А. Марчик. Сейчас в ЦИАМ работают более ста выпускников кафедры. Они вносят большой вклад в работу института, возглавляя отделения, отделы и сектора, важные научные направления.



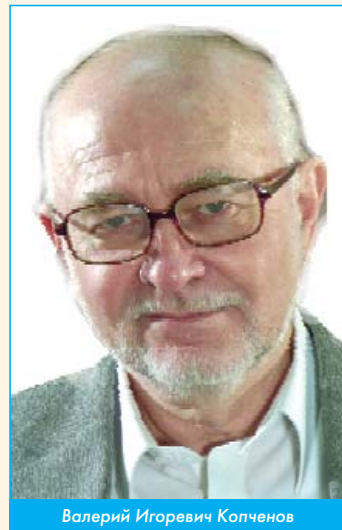
Горимир Горимирович Чёрный



Владимир Алексеевич Скибин



Олег Николаевич Фаворский



Валерий Игоревич Копченев

Особую роль в становлении кафедры сыграл выдающийся ученый-механик академик **Горимир Горимирович Чёрный**.

Начало работы кафедры связано с именами Р.С. Кинасошвили, И.А. Биргера, С.И. Гинзбурга, Ю.Ф. Дитякина, Б.А. Жесткова, И.П. Некрасова, Л.Е. Ольштейна, Ю.Н. Васильева, Г.М. Бам-Зеликовича, К.В. Холщевникова, О.Н. Фаворского и др. Значительную роль в работе кафедры сыграл основатель теории турбулентных струй **Генрих Наумович Абрамович**. Много сделали для успешной работы кафедры **Лев Иосифович Соркин** и **Александр Николаевич Секундов**. Каждый из них более 20 лет исполнял обязанности заместителя заведующего кафедрой. В настоящее время заместитель заведующего кафедрой - выпускник ФАЛТ к.ф.-м.н. доцент **Валерий Игоревич Копченев**.

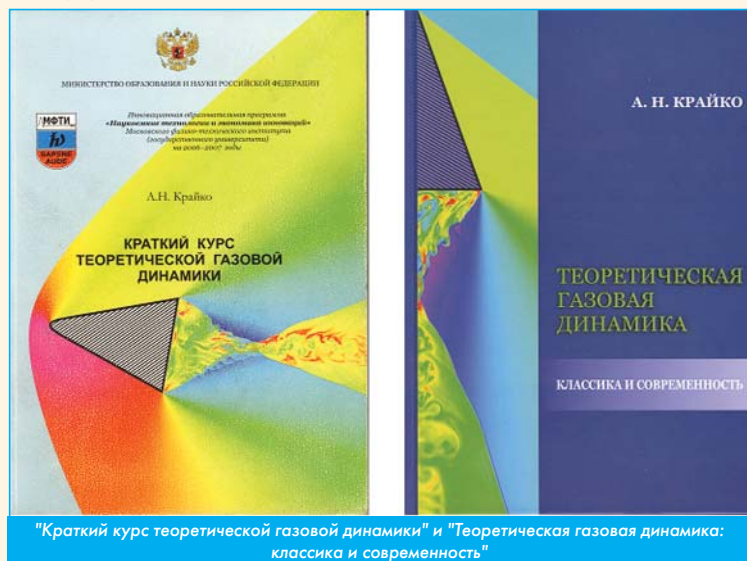
С 1973 по 1987 год при ЦИАМ для подготовки специалистов для НПО "Союз" работала еще одна кафедра ФАЛТ МФТИ "САПР авиационного двигателя", которую возглавлял специалист в области физико-технических проблем энергетики академик

2. Учебные курсы и преподаватели

К преподаванию и руководству научно-исследовательской работой студентов привлекаются ведущие специалисты ЦИАМ академик РАН, доктора и кандидаты наук. В формирование современного содержания базового цикла и направлений специализации на кафедре решающий вклад внесли профессоры **А.Н. Крайко**, **А.Б. Ватажин**, **С.Ю. Крашенинников**, **А.Н. Секундов** и **Ю.М. Темис**. Этот базовый цикл включает теоретическую и физическую газовую динамику, численные методы, теорию турбулентности, физико-химическую кинетику, теории горения и теплообмена. Важная составляющая учебного процесса - лабораторные работы, направленные на освоение техники и методик современного аэрофизического эксперимента и испытаний двигателя и его узлов. Учебный процесс на кафедре совершенствуется с учетом требований отрасли и тенденций развития авиации. Научный потенциал ЦИАМ и кафедры позволяют вести целевую подготовку специалистов для предприятий отрасли.

"Теоретическую газовую динамику" читает профессор, доктор физико-математических наук **Александр Николаевич Крайко**. Цель курса - знакомство студентов с современным состоянием теоретической газовой динамики в основном произвольного двухпараметрического идеального (невязкого и нетеплопроводного) газа, уравнениями течения в форме интегральных законов сохранения, их следствиями - дифференциальными уравнениями течения и соотношениями на поверхностях разрыва (ударных волнах и контактных разрывах). Слушатели узнают о ключевой роли характеристик при изучении одномерных нестационарных и двумерных (плоских и осесимметричных) стационарных течений, о ставших классическими задачах о поршне, распаде произвольного разрыва, сильном точечном взрыве, отражении ударной волны от оси и центра симметрии, сверхзвуковом обтекании клина и кругового конуса, с задачами о расширении и сжатии газа из покоя в покой, быстром сильном сжатии, обеспечивающем достижение "термоядерных" температур и плотностей, об обтекании конуса горячей смеси с детонационной волной Чепмена-Жуге, о разлёте в пустоту конечной массы газа, сжатого в точку и потому имеющего бесконечную энергию. Решение последней задачи в классическом и релятивистском приближениях привело к новой простой модели Большого взрыва и расширения Вселенной, которая лучше всех современных космологических теорий описывает последние наблюдательные данные.

В процессе обучения предполагается знакомство с такими понятиями и методами как автомодельность, эволюционность, линеаризация уравнений, метод характеристик, плоскость и перенормировка годографа, законы подобия, нестационарная ("поршневая") аналогия и правило гиперзвуковой стабилизации. Заключительный раздел знакомит слушателей с современными методами и достижениями в построении оптимальных аэродинамических форм.



"Краткий курс теоретической газовой динамики" и "Теоретическая газовая динамика: классика и современность"

В 2007 и 2010 гг. профессор А.Н. Крайко опубликовал учебное пособие "Краткий курс теоретической газовой динамики". М.: МФТИ, 2007. 300 с. и монографию "Теоретическая газовая динамика: классика и современность". М.: ТОРУС ПРЕСС, 2010. 440 с. Первое из них удостоено премии имени профессора Н.Е. Жуковского "За лучшее учебное пособие по теории авиации" за 2007 год.

Физическую газовую динамику читает профессор, доктор физико-математических наук, **Александр Бенцианович Ватажин**. Курс распадается на два: "**Динамика релаксирующего газа**" и "**Теория двухфазных течений**". Цель первого - ознакомление слушателей с важным разделом механики жидкости и газа, в котором рассматриваются неравновесные течения. Основное внимание уделяется общим (необходимым для понимания сути явлений и их приложений) вопросам: методологии получения макрокинетических уравнений, малым возмущениям, ударным волнам, одномерным течениям, техническим приложениям. Вспомнив понятие тер-

модинамического равновесия, студенты узнают, что такое идеально диссоциирующий газ Лайтхилла, релаксационные процессы, макрокинетические уравнения и методология их получения, поступательно-колебательная релаксация, общая система уравнений динамики релаксирующего газа, переходы к равновесному и "замороженному" пределам, изменение энтропии в неравновесных течениях, распространение малых возмущений, "замороженная" скорость звука, дисперсия и затухание возмущений, структура ударной волны в релаксирующем газе, течения в соплах и потери на неравновесность, метод мгновенного замораживания Брея, течения в газодинамических лазерах.

Цель второго курса А.Б. Ватажина - знакомство студентов с общей ситуацией в механике жидкости и газа, когда в потоке присутствуют разные фазы: газы, жидкости, пузырьки, твёрдые частицы. Вводится понятие о взаимопроникающих континуумах, движение которых описывают уравнения в интегральной и дифференциальной формах, и выполняется их замыкание. Определяются основные безразмерные параметры и связанные с ними классы двухфазных течений. Студенты узнают, что такое модель двухфазной среды из несущей (газ, жидкость) и дисперсной (частицы, капли, пузырьки) фаз, времена динамической и тепловой релаксации, основные безразмерные параметры, равновесные двухфазные среды, распространение малых возмущений в неравновесной двухфазной среде, в том числе в коротковолновом приближении, дисперсионное уравнение и характеристические скорости, режимы обтекания тел в зависимости от инерционности частиц, газодинамические способы управления концентрацией пыли.

Доцент, кандидат физико-математических наук **Валерий Игоревич Копченов** читает курс "**Моделирование течений в элементах силовой установки**". Цель курса - обучение студентов современным методам вычислительной газовой динамики, широко применяемым при математическом моделировании течений в сило-



Александр Николаевич Крайко



Александр Бенцианович Ватажин

вых установках различных летательных аппаратов. В задачи лектора входит: формирование у студентов базовых знаний о конечно-разностных схемах газовой динамики; усвоение ими основных принципов построения таких схем; овладение опытом постановки типичных задач о течениях в элементах силовой установки и приобретение практических навыков по реализации алгоритмов численного решения задач газовой динамики при использовании конечно-разностных схем, учитывающих направления распространения возмущений. В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать: теорему о сходимости решения конечно-разностной задачи к решению дифференциальной задачи; проявления свойства монотонности конечно-разностной схемы при численном решении задач для модельных уравнений переноса и газовой динамики; принципы построения монотонных схем повышенного порядка; о роли принципа минимальных производных при построении таких схем; основные элементы разностной схемы С.К. Годунова и подходы к повышению её точности; свойства

уравнений гиперболического типа, лежащие в основе расщепления потоков для численного решения уравнений газовой динамики; характерные особенности применения неявных схем для численного решения стационарных задач методом установления. Усвоившие курс В.И. Копченова могут: выполнить анализ устойчивости и монотонности разностных схем; пользоваться условием устойчивости "Куранта-Фридрихса-Леви" при анализе их применимости для уравнения переноса и для уравнений одномерной нестационарной газовой динамики; составить алгоритм решения задачи о распаде произвольного разрыва для волн любой интенсивности. Такие специалисты в полной мере владеют навыками, позволяющими сформулировать и численно решить газодинамическую задачу о течении в узлах силовой установки с адекватной постановкой граничных и начальных условий.

Профессор, доктор технических наук **Александр Николаевич Секундов** читает два курса **"Техника и методика аэрофизического эксперимента"** и **"Статистическая теория турбулентности"**. Прослушав первый из этих курсов студенты узнают об аналоговых и цифровых методах анализа случайных сигналов, работе термоанемометра и самолетного зонда Пито-Прандтля для измерения скорости, высоты полета, углов атаки и рыскания, об особенностях измерений при горении, гиперзвуковых скоростях и в двухфазных потоках, о результатах измерений концентраций вредных выбросов в выхлопных реактивных струях и шума авиационных двигателей. Наряду с этим они получают сведения о современных нанотехнологиях, рабочем процессе и измерениях в газотурбинных электростанциях, об инфразвуке, конструкции стенда для испытания авиадвигателей, об особенностях распространения выхлопной струи вдоль аэродрома, мощных лазерных системах, методах уменьшения заметности, радиолокационном и ИК-излучениях. Второй курс начинается с введения понятий об осреднении случайных процессов, о спектральных и корреляционных функци-

кинетической энергии турбулентности, для масштаба и уравнение Коважного для турбулентной вязкости. В 2014 г. вышла монография: Секундов А.Н. Некоторые проблемы моделирования турбулентных течений. Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 134 с.

Курс **"Теплообмен в воздушно-реактивных двигателях (ВРД)"** читает профессор, доктор технических наук **Сергей Юрьевич Крашенинников**. Курс, ориентированный на то, чтобы дать слушателям общие представления о процессах теплообмена в ВРД, разбит на вводную и основную части. Разделы вводной части: авиационный двигатель - тепловая машина; мощность и тяга двигателя; термодинамический и пропульсивный КПД, их связь с основными термодинамическими параметрами; циклы Карно и Брайтона; коэффициент избытка воздуха и уровни температур в элементах ВРД; основные принципы охлаждения элементов ВРД; термоциклы. Основная часть курса включает разделы: теплопередача в неподвижной среде; законы Фурье и Ньютона-Рихмана; общие решения и постановка задач для стационарного и нестационарного распределения температур; задача о ступеньке температуры и точечном источнике; теплопередача в движущихся средах; уравнение энергии в гидродинамике; постановка задач переноса тепла в сжимаемой и несжимаемой средах; система уравнений динамики и теплопереноса при числах Маха $M \ll 1$; числа Нуссельта (Nu), Рейнольдса (Re) и Прандтля (Pr); ламинарный пограничный слой без диссипации; теплопередача в движущихся средах с диссипацией; различие диссипативных процессов при $Re \rightarrow 0$ и $Re \rightarrow \infty$; течения Пуазейля и Куэтта и критерий Эккерта; связь распределений температур и скоростей в пограничном слое; задачи о термометре и об охлаждении (нагреве) стенки; теплопередача при наличии конвекции; уравнения движения с учетом архимедовых сил; динамика среды при малых изменениях плотности, критерии Рэлея и Грасгофа; задача Польгаузена о



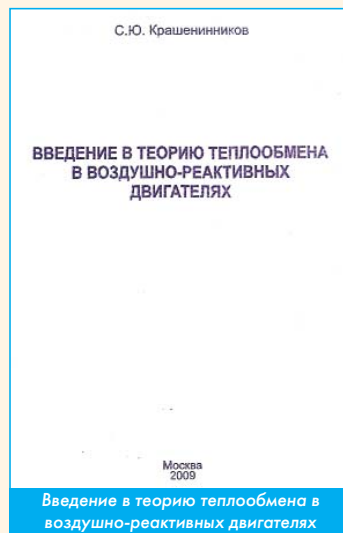
Александр Николаевич Секундов



Некоторые проблемы моделирования турбулентных течений



Сергей Юрьевич Крашенинников



Введение в теорию теплообмена в воздушно-реактивных двигателях

ях, о плотности распределения вероятностей. Рассмотрена классическая задача Тэйлора о турбулентной диффузии в однородном турбулентном потоке. Применительно к однородной изотропной турбулентности выведено уравнение Кармана-Хуарта для двучленной корреляционной функции, получен инвариант Лойцанского, рассмотрено вырождение турбулентности при малых числах Рейнольдса. Проанализированы гипотезы Колмогорова для структуры турбулентности при больших числах Рейнольдса, введено понятие скорости диссипации, рассмотрен каскадный перенос энергии по спектру, форма спектра и корреляции в инерционном интервале. Выводятся соотношения полуэмпирических моделей турбулентного переноса, теория "пути смешения" Прандтля, определение понятия турбулентной вязкости. Дан анализ уравнений переноса тензора напряжений трения Рейнольдса. На примере структуры плоского однородного потока со сдвигом рассмотрена роль пульсаций давления. Выведено уравнение для

вертикальной стенке; определяющая роль структуры течения в задачах теплообмена; соотношение между тепловым и динамическим пограничными слоями и аналогия Рейнольдса; охлаждение лопатки турбины; зависимости $Nu(Re)$ и $Nu(Re, \varphi)$ при обтекании цилиндра; процессы переноса в турбулентном пограничном слое; динамическая задача: распределение параметров в пограничном слое, структура развитого турбулентного пограничного слоя, ламинарный подслой, "скорость трения", логарифмический участок профиля скорости; влияние интенсивности турбулентности и других факторов на динамические и тепловые параметры в пограничном слое; критериальные зависимости для теплообмена, их аналогия с данными для трения и эффекты шероховатости; влияние числа Pr и перехода к турбулентности на теплообмен; качественный анализ теплообмена на аэродинамическом профиле; примеры реализации теплообменных систем; теплообмен при поперечном обтекании труб; оребренная труба - теплообмен и тре-

ние; заградительное (плочное) охлаждение с выдувом охлаждающего газа; струйное заградительное охлаждение, анализ структуры течения в рамках теории турбулентных струй; лучистые теплообмен, поток энергии, яркость и интенсивность; законы излучения в твердом теле и в газе; длина пробега излучения; тепловое состояние полостей с излучающим газом. Содержанию курса отвечает книга: Крашенинников С.Ю. Введение в теорию теплообмена в воздушно-реактивных двигателях. М., 2009. 157 с.

Курс "**Математическая теория горения и процессы в камерах сгорания газотурбинных двигателей и установок (ГТД и ГТУ)**" читает доктор физико-математических наук **Александр Борисович Лебедев**. Цель курса - ознакомление студентов с современной теорией ламинарного и турбулентного горения, с особенностями и типами камер сгорания современных авиационных двигателей и стационарных газотурбинных энергоустановок. На основе уравнений газовой динамики, турбулентности и химической кинетики излагаются аналитические и численные подходы к описанию ламинарного и турбулентного гомогенного и диффузионного горения, включая методы численного интегрирования уравнений турбулентного горения в рамках осреднённых по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса (RANS), модели "крупных вихрей" (LES) и прямого численного моделирования (DNS). Основы химической кинетики включают знакомство с такими понятиями как теплоты, скорости и константы скоростей реакций, закон Аррениуса, цепные реакции и тепловой взрыв. Наряду с классическими задачами о скорости ламинарного пламени и его устойчивости изучается закономерности распыления и испарения жидких топлив, горение одиночной капли и аэрозоля, образование вредных выбросов (NOx, CO, углеводородов, сажи) и возникновение автоколебаний в камерах сгорания ГТД и ГТУ.

Углублённому изучению вопросов, рассмотренных в курсе А. Б. Лебедева, служат два спецкурса, которые читает доктор физи-

сов в газах, включая поступательную, вращательную, колебательную и электронную релаксацию; 3. Химическая кинетика, цепные реакции и химия горения; 4. Термически неравновесные процессы в ударных волнах, в плазме, в расширяющихся потоках и при горении; 5. Кинетика формирования наночастиц: нуклеация, конденсация, коагуляция; кинетика процессов в кластерной плазме.

Курс "**Системы автоматизированного проектирования авиационных двигателей (САПР АД)**" читает доктор технических наук профессор **Юрий Моисеевич Темис**. Цель курса - ознакомление студентов с принципами создания современных САПР АД, методами оптимального проектирования и междисциплинарного математического моделирования деталей и узлов АД. Задачи учебной дисциплины предполагают: формирование у студентов базовых знаний по САПР АД, геометрическому моделированию, методу конечного элемента (МКЭ) и оптимальному проектированию; приобретение теоретических знаний, необходимых для описания и моделирования деталей и узлов ГТД; овладение теоретическими знаниями и практическим опытом решения задач многодисциплинарного математического моделирования. В результате освоения дисциплины обучающиеся должны узнать фундаментальные понятия, принципы, методы создания и использования САПР; теорию МКЭ; методы геометрического моделирования и автоматизированного черчения; уметь абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных конструкций; использовать математический аппарат механики жидкости и газа при разработке моделей конструктивных элементов и механики деформируемых упруго-пластических тел; владеть навыками применения САПР и методами разработки элементов САПР; методами постановки и решения задач многодисциплинарного математического моделирования рабочих процессов в деталях и узлах АД и методами их оптимального проектирования.

Курс "**Информатики и программирования**" ведёт выпускник



Александр Борисович Лебедев



Александр Михайлович Старик



Юрий Моисеевич Темис



Вячеслав Геннадиевич Александров

ко-математических наук **Александр Михайлович Старик**. Это: "**Основы физико-химической кинетики и горение**" и "**Термически неравновесные процессы и кинетика формирования наноструктур**". Цель курсов А.М. Старика - знакомство будущих специалистов с необходимыми для успешной научной деятельности основами термически-неравновесной физико-химической кинетики и неравновесной динамики формирования наночастиц. Огромное число явлений и процессов в природе и в технических устройствах связаны с физико-химическими превращениями в исходных термодинамически и химически равновесной или неравновесной системах. Такие процессы протекают в тракте и выхлопных струях реактивных и ракетных двигателей, в энергоустановках, при обтекании высокоскоростных аэрокосмических объектов и во многих технологических устройствах. Курсы А.М. Старика включают разделы: 1. Методология физико-химической кинетики; 2. Статистический и квантомеханический подходы; кинетика релаксационных процес-

ФАЛТ кандидат физико-математических наук **Вячеслав Геннадиевич Александров**. Он не только рассказывает об устройстве компьютеров и языках программирования, но и, что более важно, проводит практические занятия со студентами, обучая их навыкам работы на компьютерах. Задачи курса предполагают - формирование у студентов базовых знаний в области прикладного программирования; приобретение практических навыков в создании законченного программного продукта; знакомство с современными приемами подготовки и представления информации; усвоение методов параллельного и сетевого программирования, принципов построения компьютерных сетей и организации параллельного исполнения кода в операционных системах. В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать основные понятия: операторы, функции стандартной библиотеки и типы данных языков "C" и "C++" (далее - "языка C" или "C"); основы подготовки данных и представления результатов, организации параллельной

работы кода программы в рамках стандарта POSIX языка C; принципы организации работы компьютерных сетей на базе архитектуры Ethernet и сетевого обмена данными в рамках стандарта BSD Sockets; уметь: написать программу на C с использованием элементов сетевого и параллельного программирования; обрабатывать результаты и представлять их в общепринятом виде; использовать стандартные и специализированные библиотеки функций; владеть: приемами разработки кода и отладки прикладных программ; методами представления и обработки результатов; способами организации параллельной работы частей кода программы; способами организации сетевого обмена данными.

Курсы **"Теория воздушно-реактивных двигателей (ВРД)"** и **"Основы технологии информационной поддержки разработок"** читает выпускник ФАЛТ кандидат физико-математических наук **Владимир Евгеньевич Макаров**. Цель первого курса - знакомство студентов с основами теории ВРД, лежащей на стыке термодинамики, аэродинамики и иных дисциплин, связанных с процессами в газотурбинных и прямоточных воздушно-реактивных двигателях (ГТД и ПВРД). В результате его усвоения слушатели, вспомнив описывающие процессы в ВРД законы физики, узнают порядки величин, характерные для них, современные проблемы физики и вычислительной математики, связанные с моделированием процессов в ВРД и способы экспериментального получения характеристик ВРД; научатся пользоваться полученными знаниями для понимания характеристик ВРД и сравнения разных двигателей; проводить оценки тяговых характеристик ВРД; ориентироваться в направлении развития ВРД и в тенденциях изменения их характеристик; выводить соотношения, связывающие характеристики узлов и элементов ВРД с их тяговыми и топливо-экономическими характеристиками; пользоваться математической моделью ВРД традиционного типа для расчета его характеристик; строить дроссельные и высотно-скоростные характеристики ВРД в рамках стандартных

стадиях жизненного цикла сложного наукоёмкого изделия, в качестве которого рассматривается современный авиационный ГТД. В результате освоения дисциплины обучающиеся должны узнать базовые принципы и принципиальные решения, используемые при проектировании и создании наукоёмких изделий АТ, проблемы реализации всех стадий жизненного цикла авиационных ГТД и современное состояние информационного сопровождения разработок (реализации ИПИТ); уметь пользоваться полученными знаниями для понимания тенденций и проблем создания сложных наукоёмких изделий АТ и ориентироваться в программных инструментах ИПИТ на стадии проектирования авиационных ГТД; владеть базовыми навыками по применению средств геометрического моделирования и инженерного анализа.

Семинарские занятия по механике жидкости и газа проводят на 3-ем и 4-ом курсах профессора **А.Н. Крайко** и **А.Б. Ватажин**. На семинарах выступают сами студенты с докладами по темам, близким к темам лекций. При этом студенты приобретают и новые знания, и навыки самостоятельной работы, и умение донести новый материал до остальных студентов группы.

Кроме лекций и семинаров на кафедре проводятся практические занятия в виде лабораторных работ по **"Технике и методике аэродинамического и аэрофизического эксперимента"**, которые проводят на 3-ем курсе кандидаты физико-математических наук **Борис Иванович Минеев** и выпускник ФАЛТ **Дмитрий Анатольевич Голенцов**, а на 4-ом курсе профессор **А.Н. Секундов**. На этих занятиях студентов знакомят с особенностями измерений в ГТД, со стендами для испытаний двигателей, с погрешностями измерений и метрологическим обеспечением эксперимента, с приборами для измерения статического, полного и быстропеременного давлений, с оптическими методами визуализации потоков (теневым методом Теплера и голографической интерферометрией) и с влиянием излучения на точность измерений, с контактными



Владимир Евгеньевич Макаров



Борис Иванович Минеев



Дмитрий Анатольевич Голенцов



Лариса Сергеевна Андреева

приложений MSOffice; овладеют структурой данных, необходимых для моделирования работы ВРД и расчёта его характеристик, навыками самостоятельной работы с математической моделью ВРД традиционного типа, включая обработку результатов применения математической модели ВРД и сравнительный анализ его характеристик для любых условий полета. Цель курса **"Основы технологии информационной поддержки разработок"** - знакомство студентов с принципами, технологиями, инструментами и примерами реализации информационной поддержки разработок промышленных изделий (ИПИ-технологиями - ИПИТ), лежащими в основе процесса создания современной авиационной техники (АТ). Курс содержит общие подходы к рассматриваемым вопросам и сведения о практической реализации ИПИТ на отечественных предприятиях авиадвигателестроения. Задачи курса включают формирование у студентов базовых знаний по ИПИТ, в том числе, о назначении и особенностях их использования на разных

и оптическими способами измерения температуры (термопарами, термометрами сопротивления, оптическим пирометром и его градуировкой, термокрасками для определения температуры поверхности), спектральными методами диагностики (спектрами излучения и поглощения, спектральными приборами, спектральным анализом, обращением спектральных линий, лазерной индуцированной флуоресценцией и методом КАРС - когерентного антистоксовского рассеяния), с методами измерения скорости (насадками, лазерным доплеровским измерителем - ЛДИС, PIV, термоанемометром и с динамикой его теплового элемента, способами замера турбулентных пульсаций), с приборами и методами для определения состава газовых смесей (хроматографом и плазменно-ионизационным детектором - для определения состава продуктов сгорания, включая несгоревшие углеводороды CnHm, NO - по хемилюминисценции, пассивных примесей - по рассеянию лазерного луча и по лазерной индуцированной флуоресценции), с

электризацией ЛА и ГТД и электростатической диагностикой двигателя и его элементов.

Студенты знакомятся с приборами для измерения спектров, корреляций и распределения вероятностей, ошибками измерения среднего значения и дисперсии случайного сигнала (из-за конечности интервала осреднения), с определением спектров с применением быстрого преобразования Фурье, узнают особенности замера шума авиационных двигателей, единицы его интенсивности (EPNL dB), нормы ИСАО на допустимый шум, используемые при этом микрофоны, преобразователи и другие приборы, современные схемы камер сгорания и требования к конструкции охлаждаемого отборника проб за ними. Программа включает ознакомление с основами радиолокации, источниками инфракрасного (ИК) излучения, методами измерения эффективной площади рассеяния сигнала. Большинство тем сопровождаются лабораторными работами на экспериментальных установках ЦИАМ.

3. Обеспечение процесса обучения, научной работы и жизни студентов

Для проведения лекций и семинаров создан учебный центр (УЦ), посещение которого не связано с проходом по территории ЦИАМ ("вход с улицы"). В УЦ наряду с аудиториями для занятий есть комната для преподавателей и помещение для завтраков студентов в короткие перерывы. Разумеется, в ЦИАМ есть и общедоступная столовая, которая, имея вход не только с территории, но и с улицы, популярна у студентов расположенного поблизости Московского энергетического института (МЭИ). Аудитории, кроме пластиковых досок, оборудованы видеопроекторами и ноутбуками для показа презентаций, составляющих всё большую часть читаемых лекций. Копии презентаций доступны слушателям.

Занятия, которые, как курс В.Г. Александрова, требуют частого общения студентов с персональными компьютерами (ПК), проводятся на территории института в компьютерных классах. Количество ПК в любом из таких классов заведомо больше числа студентов. Для самостоятельной работы студентам после их распределения с 4-го курса по научным подразделениям обеспечен доступ с ПК, предоставляемых в личное пользование, к локальным сетям и институтским кластерам, а при необходимости - к мощным суперкластерам, имеющимся в России (например, в РФЯЦ ВНИИЭФ в Сарове).

На московской площадке ЦИАМ располагается широкий спектр оснащённых современными приборами установок небольшой и умеренной мощности для аэродинамических, теплофизических и прочностных экспериментов. Частично указанные установки используются в упомянутых выше учебных лабораторных работах, а при необходимости в любом объёме - в процессе экспериментальных исследований студентов. Доступны и подчас уникальные по мировым масштабам установки филиала ЦИАМ в Тураево.

С прихода в ЦИАМ начинается активная работа по профессиональной ориентации студентов, которых уже на третьем курсе целенаправленно знакомят с основными направлениями деятельности ЦИАМ. На третьем и в начале четвертого курса потенциальные научные руководители и ведущие сотрудники кафедры проводят встречи со студентами МФТИ, которые затем распределяются по научным руководителям - наиболее авторитетным учёным ЦИАМ. Особое внимание уделяется тому, чтобы вокруг руководителя активно действовал научный коллектив. Приоритет в выборе руководителя предоставляется студентам. Важные факторы подготовки студентов - постоянные творческие контакты студента с руководителем и коллективом, окружающим студента при выполнении бакалаврской и магистерской работ.

В качестве "базового" студенты кафедры могут выбрать любое научное подразделение ЦИАМ. Предпочтение, однако, отдаётся отделению "Газовой динамики и теплофизики" ("Лаборатории Чёрного"), выделившимся из него подразделениями и подразделениями, тесно связанными с "Лабораторией Чёрного". Подразделе-

ния, выделившиеся из "Лаборатории Чёрного", - это отделение "Неравновесных физико-химических процессов в газовых потоках и в элементах реактивных двигателей" и отдел "Технологии моделирования авиационных ГТД и силовых установок и систем информационной поддержки проектирования". Их руководители (**А.М. Старик** и **В.Е. Макаров**) и большинство ведущих специалистов выросли в "Лаборатории Чёрного". Руководитель ещё одного популярного у студентов подразделения - отделения компрессоров) - выпускник ФАЛТ кандидат физико-математических наук **Виктор Иванович Милешин** вышел из той же лаборатории. О влиянии "Лаборатории Чёрного" на развитие науки в ЦИАМ (и не только) рассказано в следующей статье.

Для обеспечения сносного существования студентов и самой возможности по-настоящему, не отвлекаясь на дополнительные заработки, учиться, с 1998 г. в ЦИАМ функционирует система материальной поддержки и стимулирования студентов и аспирантов. Система, созданная по инициативе профессора **А.Н. Крайко** при поддержке руководителей кафедры и Института **Д.А. Огородникова** и **В.А. Скибина**, включает следующие элементы.

Во-первых, при приходе в ЦИАМ студенты зачисляются на работу: на III курсе в должности техника с переводом в начале IV курса на должность инженера. В настоящее время полставки, которые при этом обычно получают студенты, - 5600 рублей в месяц для техников и 6800 - для инженеров. При активном участии в научно-исследовательском процессе по представлению руководителя научного подразделения студент может получать и полную ставку. В известных случаях такая возможность реализовывалась на V и VI курсах. В подобных же ситуациях вопросы премирования, выплат из контрактов, грантов РФФИ и ряда других источников решаются соответствующими руководителями.

Во-вторых, все приходящие в ЦИАМ студенты получают из средств ЦИАМ стипендию, размер которой не зависит от размера стипендий, выплачиваемых им в их ВУЗ'ах. Наряду с минимальной ("базовой") стипендией допускаются её "повышенные" (до 2-х раз) и "нулевой" варианты. Рекомендации по выплате стипендий в базовом, повышенном или нулевом размерах по согласованию с научным руководителем студента, а для студентов кафедры с учётом посещения ими занятий даёт специальный созданный "Совет по стипендиям". По его представлению ведомость на выплату стипендий всем студентам ежемесячно утверждается заместителями Генерального директора ЦИАМ **А.И. Ланшиным** и **Е.В. Бохановой**. При лишении стипендии студенту в том же месяце не выплачивается и зарплата. При общем числе студентов всех ВУЗ'ов в ЦИАМ порядка сотни для одного-двух из них такое случается достаточно часто. Размер базовой стипендии устанавливается не менее чем на год приказом Генерального директора ЦИАМ **В.И. Бабкина**. Он же на 3 года утверждает состав "Совета по стипендиям". На 2015 год для студентов III-VI курсов базовая стипендия была утверждена в размере 3500, 4000, 4500 и 5000 рублей в месяц, а председателем, заместителем и секретарём "Совета по стипендиям" утверждены **А.Н. Секундов**, **А.Н. Крайко** и заведующая аспирантурой ЦИАМ **Надежда Константиновна Калинина**. Размер стипендий регулярно увеличивается. Для сравнения в 2004 г. базовые стипендии на тех же курсах были равны 1000, 1050, 1100 и 1150 рублей в месяц. В ЦИАМ стипендии получают и все аспиранты, в том числе, аспиранты МФТИ. В отличие от студенческих аспирантские стипендии фиксированные: сейчас 5500, 6000, 6500 и 7000 рублей в месяц у аспирантов 1-4-го годов обучения. Мероприятия по закреплению и росту молодых кадров продолжаются и после окончания ВУЗ'ов.

Все годы существования кафедры большую работу по организации учебного процесса вели секретари. В 1952-63 гг. секретарём кафедры была **Мария Спиридоновна Муравьева**, в 1964-73 гг. - **Людмила Григорьевна Деева**, в 1973-2007 гг. - **Вера Алексеевна Тихонова** и в 2007-09 гг. - **Надежда Константиновна Калинина**. С 2010 гг. эту работу успешно ведёт методист кафедры **Лариса Сергеевна Андреева**. 