

С. В. Фалалеев, А. С. Мятлев, А. Ю. Тисарев

**РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДВИГАТЕЛЕЙ**

В статье представлен опыт виртуальной разработки конструкции авиационных двигателей и энергетических установок. Приведены результаты моделирования воздушной системы двигателя и изменения радиальных зазоров в турбине. *Виртуальная разработка; авиационные двигатели; воздушная система; радиальные зазоры*

В настоящее время в Самарском государственном аэрокосмическом университете осуществлен переход на более качественную подготовку инженеров-конструкторов по авиационным двигателям. Особенности этой подготовки:

- современность образования (сквозное использование информационных технологий в едином информационном пространстве);
- многоуровневость;
- многовариантность;
- снижение рутинной составляющей конструкторской подготовки, возможность проведения оптимизации;
- комплексность рассматриваемых проблем.
- привлечение экспертов из конструкторских бюро при решении учебных задач на качественно новом уровне с интегрированным использованием CAD/CAE/CAM/PDM-пакетов.

На кафедре конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов (КиПДЛА) Самарского государственного аэрокосмического университета (СГАУ) реализуются концептуальные направления развития конструкторской подготовки. Это, в первую очередь, совершенствование методологии конструкторской подготовки специалистов на основе сквозного использования современных информационных технологий, а также реализация концепции новой методологии обучения студентов и переподготовки инженеров путем интеграции в учебном процессе современных информационных технологий и изучения конструкции авиационных двигателей с использованием их натуральных макетов. По первому направлению в учебном процессе широко внедряется виртуальная разработка двигателей, их узлов и систем. То есть, создание цифровых макетов с мо-

делированием их работы в различных эксплуатационных условиях. По второму направлению осуществляется формирование современного учебного класса на базе созданного на кафедре центра истории авиационных двигателей (ЦИАД), имеющего крупнейшее в России собрание отечественных и зарубежных авиационных двигателей. В классе формируется 25 рабочих мест, оснащенных разработанной уникальной базой графических и текстовых данных по двигателям, в том числе объемными моделями важнейших элементов.

В результате проведенной модернизации учебного процесса удалось найти и реализовать способы улучшения подготовки студентов за счет обучения владению современными инструментами:

- значительное увеличение объема рассматриваемых вопросов при проектировании за счет повышения производительности труда студентов;
- повышение качества курсовых и дипломных проектов (внедрение 3D-моделирования, использование параметрических моделей);
- комплексность рассматриваемых проблем (как в рамках лабораторных работ, курсового проекта, так и в рамках сквозного курсового проекта);
- решаемость студентами актуальных задач, стоящих в КБ.

В результате СГАУ становится центром компетенции в области некоторых этапов проектирования аэрокосмических двигателей: формирование конструктивной схемы, проектирование важнейших элементов и систем двигателей (проектирование системы РНА компрессора, моделирование изменения радиальных зазоров в турбокомпрессоре и т. п.). Успехи связаны во многом с внедрением технологии виртуальной разработки.

В настоящее время ведущие мировые аэрокосмические фирмы планируют следующие этапы внедрения виртуальной разработки технических изделий:

- виртуальное прототипирование и тестирование, междисциплинарный анализ;
- интегрированная проверка соответствия физических и виртуальных моделей, симуляция полного жизненного цикла;
- виртуальное моделирование процессов и сценариев поведения.

При внедрении виртуальной разработки двигателей на кафедре КиПДЛА СГАУ были поставлены цели:

- повышение эффективности процесса создания авиационных двигателей;
- отработка методики компьютерного моделирования двигателей и их узлов;
- реализация на ряде узлов двигателей методики отработки конструкции при совместном исследовании газодинамических, тепловых, прочностных, кинематических и динамических процессов с использованием виртуальных стендов.

Поставленные задачи:

- разработка концепции виртуального двигателя;
- разработка концепции создания параметрической модели конструкции модуля двигателя;
- междисциплинарный анализ процессов в узлах и системах двигателя;
- виртуальное моделирование происходящих в двигателе и его узлах процессов.

Внедрение этого позволяет получить следующий эффект:

- существенное снижение материальных затрат при создании сложных технических объектов;
- реализация методики проектирования двигателей с изготовлением минимального количества опытных изделий;
- выявление дефектов на ранней стадии проектирования;
- оценка риска появления отказа вследствие неблагоприятного соотношения конструктивных, технологических и эксплуатационных отклонений.

В качестве примера рассмотрим моделирование воздушной системы и изменения радиальных зазоров в турбине.

Основные функции воздушной системы: охлаждение деталей горячей части двигателя, над-

дув уплотнений масляных полостей и охлаждение опор, разгрузка радиально-упорных подшипников от осевой составляющей силы, герметизация турбины низкого давления, система управления радиальными зазорами в турбокомпрессоре, обеспечение работы противообледенительной системы двигателя, обеспечение требуемого количества воздуха для нужд планера.

Решение комплексной задачи о состоянии воздушной системы двигателя позволяет однозначно определить как тепловое состояние всех элементов двигателя, так и газодинамические параметры всех каналов, определяющих воздушную систему. Эти данные позволяют:

- принять решение об эффективности воздушной системы в целом с точки зрения минимизации требуемого количества воздуха и обеспечения требуемого теплового режима элементов двигателя, то есть использовать их в инженерной практике при проектировании ГТД;
- провести оптимизацию геометрии воздушной системы на основе выбранных критериев;
- оценить влияние параметров воздушной системы и отдельных ее элементов на параметры эффективности двигателя или энергоустановки на основе методик для расчета характеристик двигателя с учетом влияния как отбора рабочего тела от тракта, так и его возврата;
- оценить взаимовлияние таких элементов воздушной системы как уплотнений различных подсистем друг на друга (например, оценка возможности возникновения обратных течений через уплотнение и подмешивания горячего газа к воздуху, охлаждающему рабочее колесо турбины);
- применить вероятностные методы для оценки надежности двигателя в целом и элементов воздушной системы (например, влияние технологических отклонений на характеристики двигателя), а также прогнозировать отказы элементов.

На рис. 1 изображена схема подвода воздуха для охлаждения опор, герметизации полости турбины низкого давления и в полость осевой разгрузки ротора низкого давления. На рис. 2 представлены расчетные результаты параметров воздушной системы на крейсерском режиме работы двигателя. Проведенный расчет на всех стационарных и нестационарных режимах работы двигателя позволяет определить изменение радиальных размеров статора и ротора, в том числе и при наличии охлаждения статора в течение полетного цикла.

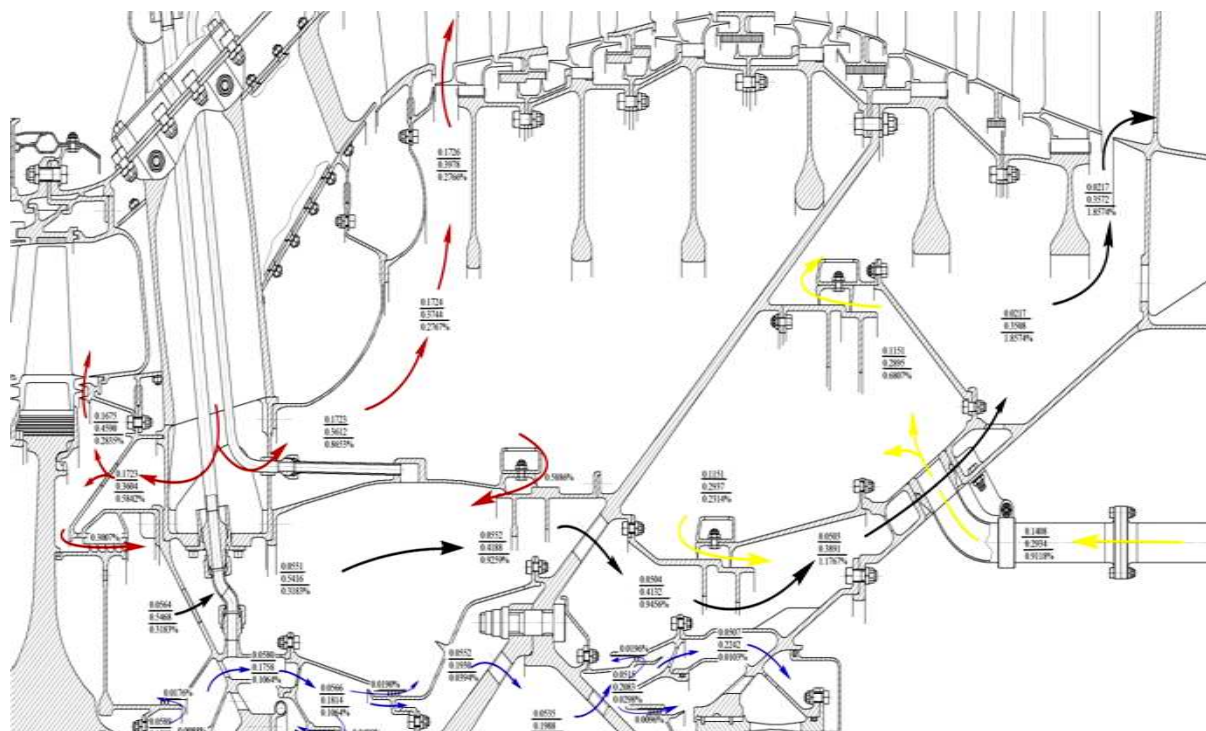


Рис. 1. Схема течения охлаждающего воздуха в турбине двигателя

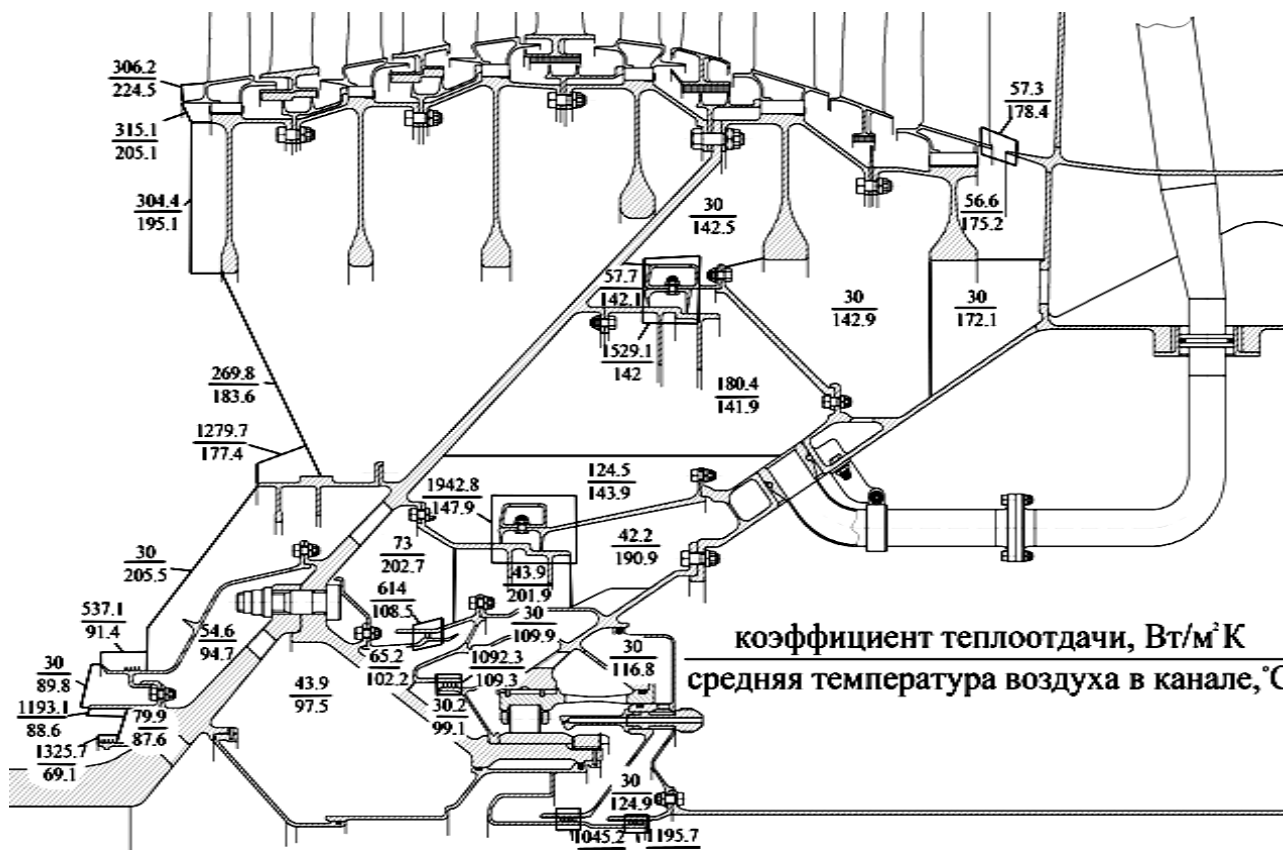


Рис. 2. Значения коэффициентов теплоотдачи от деталей турбины и температур воздуха в каналах

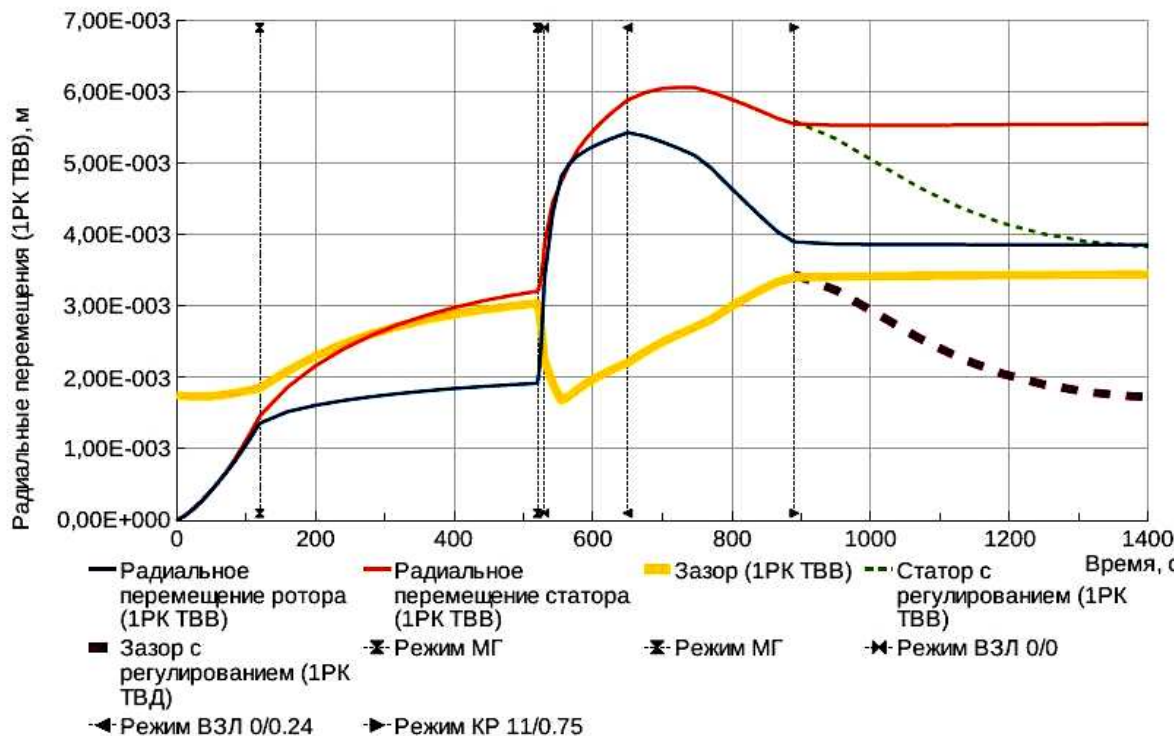


Рис. 3. Изменение радиальных перемещений ротора и статора, а также радиального зазора в турбине

В результате внедрения описанной выше технологии удалось существенно преобразовать учебную и научную деятельность. Результаты многолетней работы:

- база 3D-моделей двигателей, их узлов и систем;
- виртуальные стенды (электронная сборка авиационного двигателя; поршневой двигатель; система регулирования радиальных зазоров турбомашин; система регулируемых направляющих аппаратов; клапаны перепуска; реактивное сопло; торцовое контактное уплотнение; реверс тяги; силовые, температурные и вибрационные нагружения конструкций; моделирование работы кинематических и теплонапряженных узлов двигателя);
- база параметрических моделей элементов двигателя;
- повышение уровня подготовки специалистов;
- создание научно-технического задела для выполнения заказов предприятий;

- подготовка учебно-методических комплексов для дистанционного обучения;
- подготовка методического обеспечения для ФПК ИТР.

#### ОБ АВТОРАХ

**Фалалеев Сергей Викторович**, зав. каф. конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов Самарск. гос. аэрокосмическ. ун-та. Дипл. инженер-механик по двигателям летательн. аппаратов (КуАИ, 1980). Д-р техн. наук по тепловым двигателям (СГАУ, 1996). Иссл. в обл. проектирования и моделирования двигателей, их узлов и систем.

**Мятлев Александр Сергеевич**, асп. той же каф. Дипл. инженер по авиц. двигателям (СГАУ, 2009). Иссл. в обл. проектирования и моделирования возд. системы двигателей.

**Тисарев Андрей Юрьевич**, асп. той же каф. Дипл. инженер по авиц. двигателям (СГАУ, 2011). Иссл. в обл. проектирования и моделирования возд. системы двигателей.