

УДК 621:681.5

Новиков А.С., Белов А.Б., Черный М.С., Крайников А.В.

ОАО «Московское машиностроительное предприятие имени В.В. Чернышева». Россия, г. Москва.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЕТОВ И ЭСКИЗНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИ ДОВОДКЕ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В СЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Анотація

Наведені результати використання CALS-технологій для інженерних розрахунків і проектування авіаційних двигунів.

Abstract

The results of CALS-technologies application for engineering calculations and aircraft engine design are presented

В промышленно развитых странах более 10 лет разрабатывается и осуществляется целый комплекс мер по созданию CALS-технологий, без внедрения которых успех на рынке сложной технической продукции будет невысшим.

В авиадвигателестроении, также как и в других наукоемких отраслях промышленности, под CALS-технологиями понимается принципиально новая система электронного описания жизненно-

го цикла двигателя на всех его этапах: начиная от технического задания заказчика, разработки конструкторской и технологической документации и, кончая процессами изготовления, технического обслуживания в эксплуатации и утилизации авиационного двигателя.

На ОАО «ММП им. В.В. Чернышева», так же как и на остальных предприятиях отечественного авиадвигателестроения, применение CALS-технологий (получивших название ИПИ-технологий) относится к отдельным этапам эскизного жизненного цикла продукции с использованием разных CAE/CAD/CAM – систем.

Использование автоматизации инженерных расчетов и эскизного проектирования (САМ-систем) содержат в своей основе также программные продукты для 3-мерного конструирования, как COMPAS, UNIGRAPHICS – системы прочностных и тепловых моделей – ANSYS, расчеты применения газодинамических параметров в 3D математических моделях.

Примером элемента CALS-технологии является метод проектирования систем охлаждения



лопаток турбин, разработанный специалистами ОАО ММП им. В.В. Чернышева, приведенный на рис. 1, где при определении теплового состояния лопаток использовались в каналах системы охлаждения средние значения коэффициентов теплоотдачи в пределах каждого участка тепловой модели.

мы предполагается проведение испытаний лопатки или ее модели в жидкометаллическом термостате в расплавленном цинке или для лопаток с интенсивным пленочным охлаждением на тепловизионной установке. С использованием разработанного математического аппарата, позволяющего превратить результаты исследований в массив



Блок-схема проектирования системы охлаждения лопатки турбин 2-го уровня

Рис. 1. Расчетный метод проектирования систем охлаждения лопаток

С целью уточнения теплового состояния лопаток и возможного корректирования системы охлаждения до изготовления литейной прессфор-

значений локальных коэффициентов теплоотдачи в каналах системы охлаждения, уточняется тепловое состояние лопаток и корректируется система



Блок-схема проектирования системы охлаждения лопатки турбины 3-го уровня

Рис. 2. Метод проектирования с использованием экспериментального модуля

охлаждения с помощью метода проектирования следующего уровня, приведенного на рис. 2.

Метод проектирования включает в себя экспериментальный модуль, модуль предыдущего уровня (рис. 1) и дополнительные блоки:

- блок 1 — вычисление тепловых потоков по результатам опытов;
- блок 2 — гидравлический расчет в условиях опыта;
- блок 3 — расчет изменения теплосодержания воздуха в условиях эксперимента;
- блок 4 — вычисление массива локальных коэффициентов теплоотдачи;
- блок 5 — определение массива критериальных зависимостей.

Экспериментальный модуль — это либо установка с жидкометаллическим термостатом, либо тепловизионная установка.

Разработана технология оперативного изготовления опытных лопаток или их моделей, позволяющая в короткие сроки провести работы на уровне проектирования (рис. 2) еще до изготовления литейной прессформы и своевременно провести необходимое корректирование документации.

На нижеприведенных рисунках показаны некоторые этапы проектирования систем охлаждения лопаток турбин.

На рис. 3 представлена цинковая корка, полученная в результате продувки лопатки в жидкометаллическом термостате. Локальное значение толщины корки пропорционально удельному тепловому потоку в данной точке. Созданный математический аппарат позволяет определять локальные значения коэффициентов теплоотдачи.



Рис. 3. Сечение цинковой корки

На рис. 4 приведены результаты опыта исследования лопатки на тепловизоре (прогрев лопатки по времени).

Разработан программный комплекс, позволяющий по результатам опытов определять локальные коэффициенты теплоотдачи во внутренней полости для дальнейшего расчетного определения теплового состояния лопатки $T = 36$ сек.

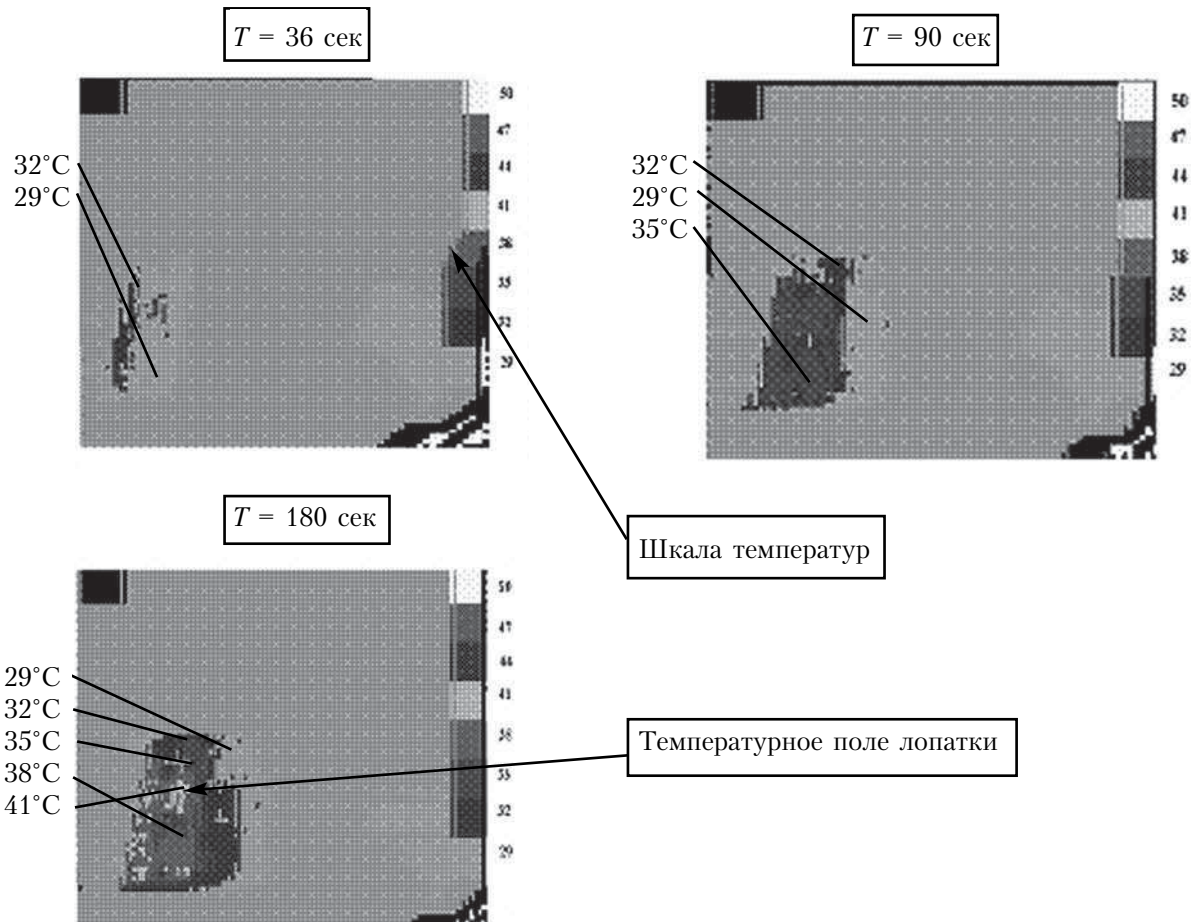


Рис. 4. Результаты испытания на тепловизионной установке



На рис. 5 приведены результаты расчета трехмерного теплового состояния рабочей лопатки ТНД.

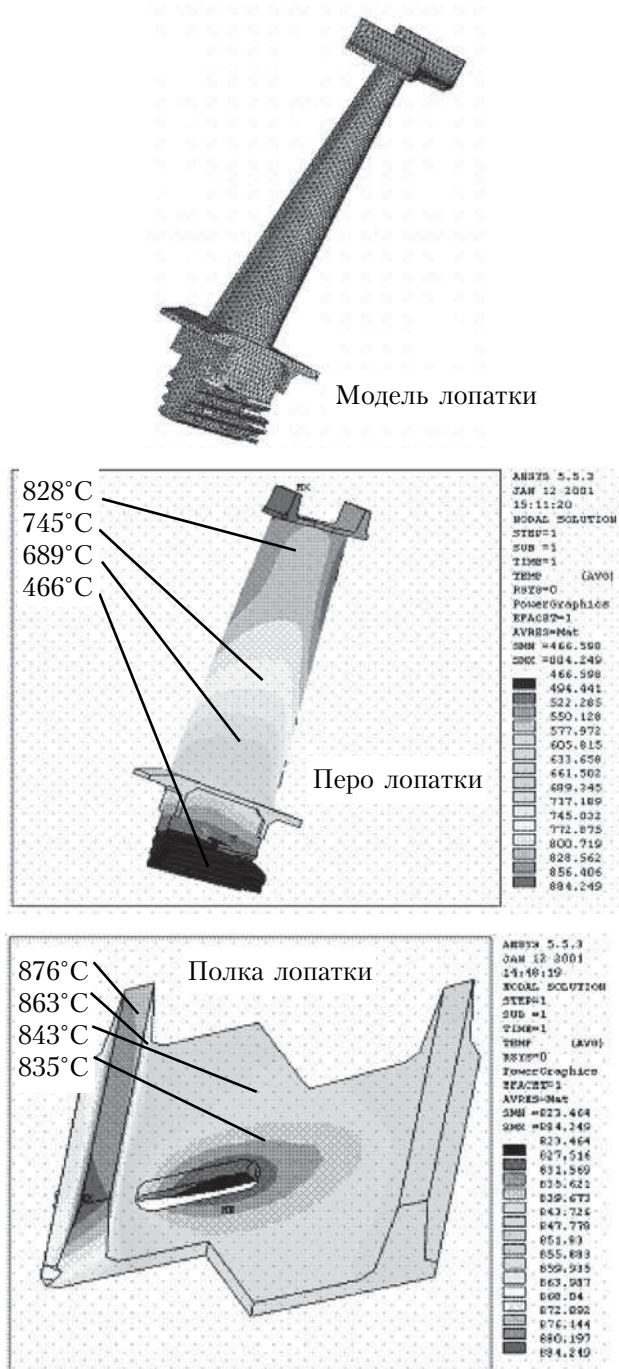


Рис. 5. Тепловое состояние лопатки

CALS-технологии успешно используются при прочностных расчетах узлов и деталей двигателей как проектируемых, так и находящихся длительное время в эксплуатации.

В качестве примера приводится расчет напряженного состояния диска 1 ступени вентилятора по 3D-модели методом конечных элементов с использованием программного обеспечения ANSYS.

Расчет диска проводился в связи с имевшим место в эксплуатации дефектом: трещина на ободе в пазу диска на выходе со стороны острого угла.

Результаты расчета представлены на рис. 6–7.

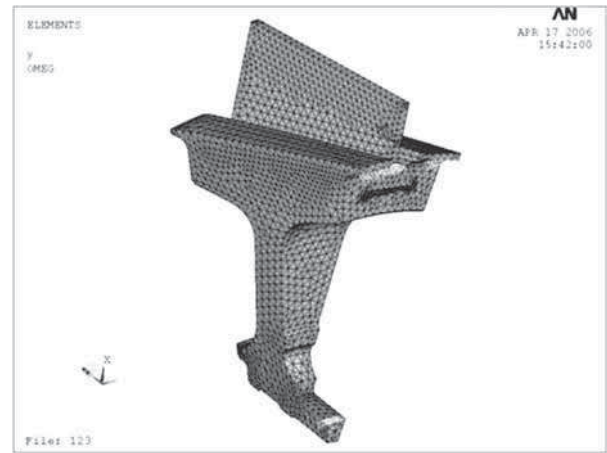


Рис. 6. Конечно-элементная сетка, нагрузки и закрепление модели

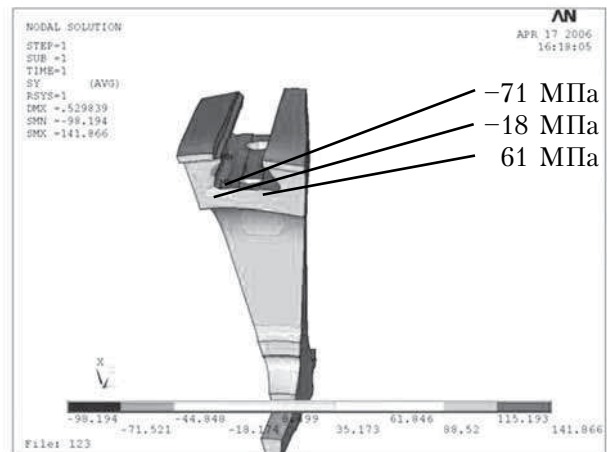


Рис. 7. Окружные напряжения в диске

Из рисунков видно, что использование при прочностных расчетах 3D-модели позволяет получить максимальные значения напряжений в пазу диска в зоне проявления дефекта.

Другим примером расчета термонапряженного состояния с использованием 3D-модели является тепловое состояние диска турбины высокого давления (рис. 8) и его напряженное состояние (рис. 9).

Автоматизация технологической подготовки производства (CAE-системы), изготовление деталей с применением элементов технологий на основе использования станков с ЧПУ являются одним из этапов применения CALS-технологий в жизненном цикле двигателя РД-33.

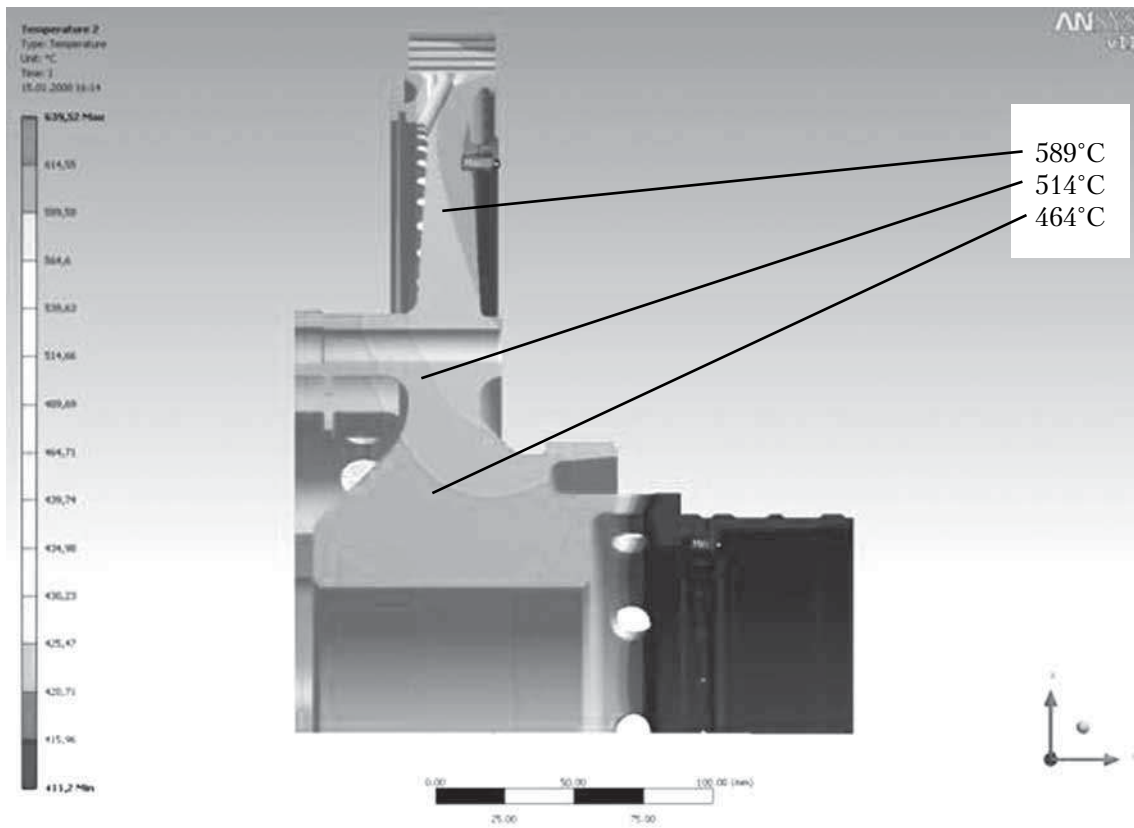


Рис. 8. Тепловое состояние диска

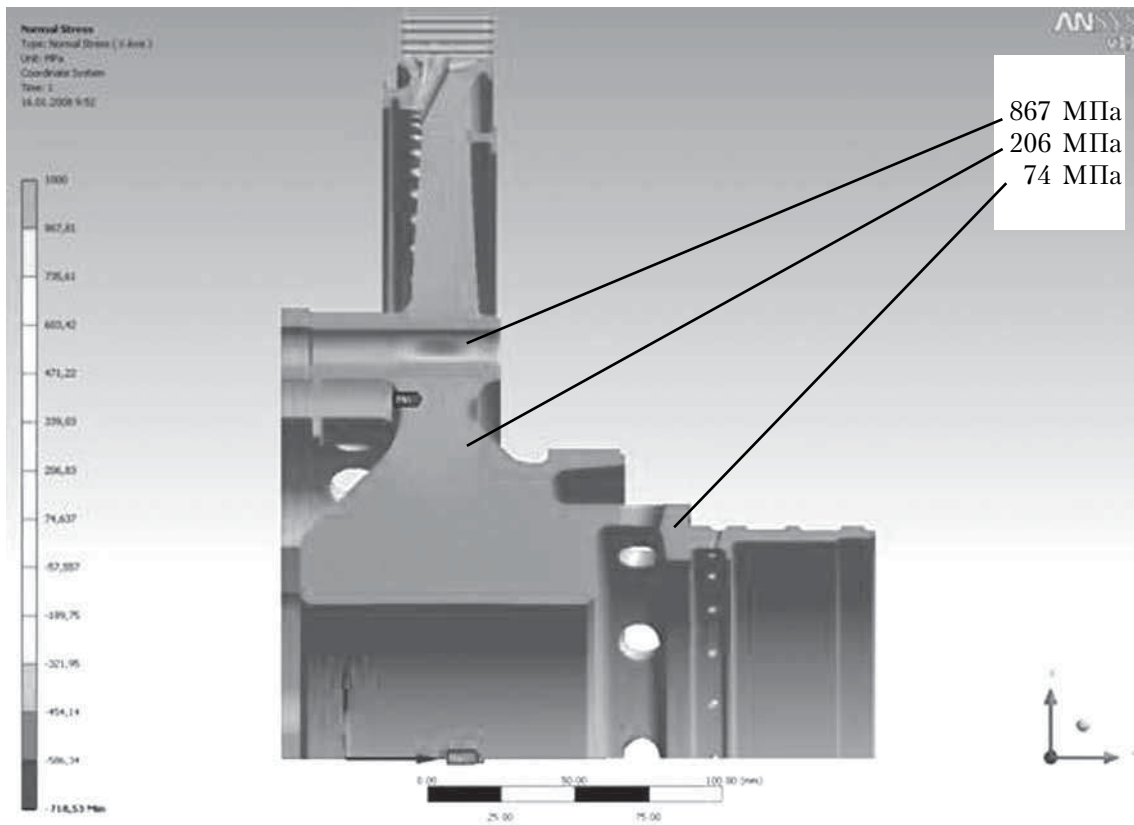


Рис. 9. Напряженное состояние диска



Для продления жизненного цикла на этапе эксплуатации двигателя РД-33 применяется система КСК-88.

Комплексная система контроля КСК-88СВ представляет собой комплект контрольно-проверочной и контрольно-измерительной аппаратуры, позволяющий создавать электронный формуляр и исходный вибропортрет двигателя при проведении испытаний в составе стенда завода-изготовителя, осуществлять автоматизированный контроль двигателя РД-33 и агрегатов электроавтоматики в составе испытательного стенда и на самолете, осуществляя обслуживание двигателя по техническому состоянию.

Использование системы КСК-88СВ в эксплуатации обеспечивает:

- экономии средств и упрощение технологии эксплуатации;

- повышение качества производства, испытания и эксплуатации двигателей;

- оценку технического состояния двигателя РД-33 в рамках продления календарных сроков эксплуатации и увеличения межремонтных ресурсов по техническому состоянию;

- автоматизацию поиска неисправностей;

- снижение трудоемкости наземного обслуживания;

- сокращение расхода топлива и экономия ресурса при наземных опробованиях;

- создание базы данных по двигателям на весь период их жизненного цикла для дальнейшего использования;

- создание технической документации в электронной форме представления материалов, соответствующей требованию Заказчика.

Техническое перевооружение эксплуатации современных газотурбинных двигателей, основанное на применении вычислительной техники, персональных компьютеров и их портативных модификаций типа Notebook, является одним из наиболее эффективных средств решения следующих задач:

- сокращение трудозатрат на 30% при повышении качества обслуживания;

- сокращение расхода топлива на 25–30%;

- реализация информационно-диагностических систем, обеспечивающих эксплуатацию по техническому состоянию, повышение безотказности на 40%;

- сокращение расходования ресурса двигателей при наземных опробованиях и переоблетах, связанных с регламентными работами, поиском и устранением неисправностей на 30–40%;

- уменьшение необоснованного съема двигателей и их агрегатов на 40%;

- сокращение номенклатуры, веса и стоимости контрольно-проверочной аппаратуры, повышение ее мобильности.

Кроме того разработаны алгоритмы учета повреждаемости основных деталей как того конкретного двигателя в зависимости от реальных условий его эксплуатации двигателя РД-33. Их реализация в эксплуатации, а также разработка системы диалогового режима компьютерных центров завода-изготовителя, предприятия-поставщика комплектующих и эксплуатирующей части по вопросам обслуживания, ремонта и замены деталей позволит существенно продлить жизненный цикл двигателя.

Еще одним элементом CALS-технологий на этапе эксплуатации двигателя РД-33 является методика эквивалентного пересчета теплонапряженных режимов, которая позволяет выработать установленный ресурс двигателя при исчерпанной норме по наработке одного из теплонапряженных режимов.

В целом применение CALS-технологий в жизненном цикле двигателя РД-33 можно оценить не менее 30% от затраты на разработку, производство и техническое поддержание эксплуатации двигателя.

Учитывая основной экономический эффект от внедрения CALS-технологий, ОАО «ММП имени В.В. Чернышева» уделяет основное внимание этому вопросу, что позволит выйти на общемировые стандарты: ускорение на 40–60% выполнение НИОКР и снижения на 30% затрат при производстве и эксплуатации выпускаемых авиационных двигателей.

Литература

1. Арутюнов С.Г., Барабанов В.В., Везиров В.Н., Давыдов А.Н., Дмитров В.И., Судов Е.В. Концепция формирования и развития CALS-технологий в промышленности России // Проблемы продвижения продукции на внешний рынок. 1997. Спец. выпуск.

2. Кабанов А.Г., Давыдов А.Н., Барабанов В.В., Судов Е.В. CALS-технологии для военной продукции // Стандарты и качество. 2000. № 3. — С. 33–38.

3. Левин А.И., Судов Е.В. CALS-сопровождение жизненного цикла // Открытые системы. 2001. № 3.

4. Левин А.И., Судов Е.В. Концепция и технологии компьютерного сопровождения процессов жизненного цикла изделий // Информационные технологии в наукоемком машиностроении. — Киев: Техника, 2001. — С. 612–625.

5. P50.1.028-2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования. Госстандарт РФ 2001 г.