

никновения подобных дефектов может быть вибрация двигателя в неподвижном состоянии, например, при транспортировке или вибрациях подвески двигателя на стоянке от соседних агрегатов. Такой тип повреждений получил название «ложное бринеллирование». Другой вероятной причиной возникновения могло стать прохождение электрического тока через конструкцию двигателя, например, от ротора турбогенератора.

Для определения первопричины повреждений был проведён ряд исследований.

Во-первых, повреждённые детали подшипников были обмерены на координатно-измерительной машине. Обмеры показали, что глубина выработок (по местам полос) достигает 0,2 мм.

Во-вторых, было проведено металлургические исследование материала беговых дорожек и тел качения. Оно показало, что на поверхности тел качения и беговых дорожек имеется изменённый слой, характерный для электроэрозионной обработки деталей, который мог возникнуть при локальных импульсных тепловых воздействиях от проскакивания электрической искры.

Наконец, было дано расчётное обоснование возникновения дефекта от прохожде-

ния электрического тока именно в виде полос на беговых дорожках исходя из предположения, что источником повреждения является турбогенератор, а именно генерируемый им переменный ток с частотой 50Гц. Было получено совпадение частоты следования полос на дефектных подшипниках с расчётной частотой при принятых допущениях.

Учитывая опыт ведущих зарубежных фирм (SKF, NSK и др.), занимающихся разработкой и производством подшипников, были намечены мероприятия по устранению дефекта.

Первое направление — использование токоизолирующих покрытий, наносимых на подшипники. Предполагается использовать диоксид циркония или диоксид кремния. В настоящее время мы занимаемся этими исследованиями на нашем предприятии.

Второе направление — применение гибридных подшипников с керамическими телами качения. Этот метод чаще всего и используется за рубежом.

Планируется испытать обновлённые подшипники с токоизолирующим покрытием на установках и в составе двигателя.

УДК 621.452

ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ И ДОВОДКИ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Шмотин Ю.Н., Егоров И.Н., Чупин П.В.

НПО «Сатурн», г. Рыбинск

Создание современной наукоемкой техники, такой как газотурбинный двигатель, подразумевает внедрение наиболее передовых методов на всех этапах жизненного цикла изделия. Это касается и принципов проектирования.

За последние 10 лет конструкторское бюро ОАО «НПО «Сатурн» вышло на совершенно иной технологический уровень. Широкое использование на предприятии передовых информационных технологий – ос-

нова нового системного подхода к проектированию и в целом к созданию двигателя на всех этапах. Сегодня работа по конструированию и изготовлению двигателя ведется в едином информационном пространстве с использованием самых современных методов и подходов.

В настоящее время информационные технологии, используемые в ОАО «НПО «Сатурн», обеспечивают поддержку полного

жизненного цикла авиационного двигателя: разработку, производство и эксплуатацию.

Программное обеспечение включает в себя, как коммерческие программные продукты, применяемые всеми ведущими двигателестроительными компаниями, так и уникальные разработки специалистов компании. Опыт, накопленный сотрудниками ОАО «НПО «Сатурн» в области использования информационных технологий в процессе создания двигателей (SaM-146, АЛ-55, «Бурлак» и других), позволяет говорить о создании на предприятии серьезного научного задела в этой области.

Сформированная новая единая технология проектирования состоит из следующих основных направлений: пространственное аэромеханическое проектирование; сквозной процесс автоматизированного проектирования-изготовления; электронное макетирование, электронное управление конструкторскими данными.

В НПО «Сатурн» разработана и внедрена технология численного моделирования, как отдельных его элементов, так и в целом двигателя на различных этапах создания объекта, включая интеграцию его в системе летательного аппарата. Широкое использование численного моделирования объекта обеспечивает значительное сокращение сроков и стоимости разработки двигателей, а также существенно снижает технический риск при реализации проектного решения.

В частности, в конструкторском бюро ОАО «НПО «Сатурн» внедрено пространственное аэромеханическое проектирование (включая моделирование самых сложных физических процессов в 3-х мерной постановке), которое включено в технологический процесс разработки и доводки двигателей и сегодня имеется более чем 10-летний практический опыт его использования для реальных объектов, большинство из которых находятся в эксплуатации. Среди вычислительных технологий широко используются как известные коммерческие коды, так и разработанные на предприятии. В целом, данные вычислительные технологии позволяют проводить расчеты, как отдельных элементов, так и в целом всего двигателя в сквозном цикле, который интегрирует различные дисциплины анализа (стационарную и нестацио-

нарную аэродинамику, статическую и динамическую прочность, оценку теплового состояния конструкции, акустики, оценку устойчивости к автоколебаниям, расчет лопатки на обрыв и др.)

Нестационарный характер, присущий потоку газа в турбомашине, обусловлен газодинамическим взаимодействием соседних неподвижных и вращающихся решеток профилей (статор-ротор взаимодействием). Основными источниками нестационарности при взаимодействии статор-ротор являются дозвуковое потенциальное взаимодействие, взаимодействие ударных волн и взаимодействие следа. Нестационарные явления в турбомашине оказывают сильное влияние на работоспособность турбин и компрессоров. В ОАО «НПО «Сатурн» в 2004 г. завершены работы по разработке программы численного моделирования нестационарного газодинамического взаимодействия решеток профилей, которая была использована при доводке вентилятора SaM-146. Именно развитие данных вычислительных технологий позволит найти новые технические решения по совершенствованию двигателя, т.к. они позволяют сделать следующий шаг в познании новых изученных не в полной мере сегодня физических явлений.

Однако использование численных технологий является обязательным, но недостаточным условием создания конкурентно способных двигателей. Необходимо широкое использование современных технологий оптимизации, которые позволяют определить наиболее эффективные предельно-достижимые технические решения. Для этих целей на предприятии нашли широкое применение методы многокритериальной оптимизации IOSO. Данная технология оптимизации широко используется на этапах разработки и доводки, как в целом двигателя, так и его отдельных элементов (особенно лопаточных машин), а также на этапе формирования облика двигателя в системе самолета, что является необходимым условием оптимальной интеграции объекта и обеспечения максимально возможной эффективности конечного продукта - летательного аппарата.

Технология численного моделирования двигателя и его элементов на различных уровнях детализации объекта реализована в

практической деятельности предприятия и прошла широкую апробацию при создании таких современных двигателей как Sam-146, АЛ-55и, «Бурлак», и др., проектные парамет-

ры которых подтверждены экспериментальными исследованиями в процессе как стендовых, так и летных испытаний.

УДК 621.452

ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ И ДОВОДКИ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНСТРУМЕНТАРИЯ ОПТИМИЗАЦИИ IOSO

Егоров И.Н., Кретинин Г.В., Лещенко И.А., Купцов С.В., Клочков И.Н.

«Сигма Технология», г. Рыбинск

Современный уровень развития высокотехнологичных объектов и систем (таких, например, газотурбинный двигатель) требует использования современных средств и инструментариев при разработке новых либо модификации современных образцов с целью обеспечения максимально достижимых конкурентоспособных показателей эффективности, т.е. оптимальных по одному либо совокупности определенных критериев. Потребность обеспечения высокой эффективности объекта приводит к необходимости выбора таких проектных параметров, при которых, как правило, возникают предельно высоконагруженные условия работы объекта (например, по показателям прочности, теплонапряженности и др.). Стремление обеспечить высокую эффективность объекта, сопряжено с необходимостью оптимального согласования большого числа проектных параметров.

При использовании традиционной концепции создания технического проекта двигателя осуществляется поэтапная разработка и доводка отдельных его элементов. Это может привести к тому, что при создании реального образца, объединение отдельных элементов двигателя в единую систему может не обеспечивать максимально возможную эффективность объекта в целом. Изменения параметров отдельных элементов двигателя фактически приводят к созданию нового проекта, который может не в полной мере удовлетворять требованиям ТЗ. Кроме того, данный подход приводит к существенному увеличению сроков и стоимости разработки двигателя. Таким образом, на этапе создания технического проекта двигателя

использование такого традиционного подхода представляется не в полной мере эффективным и соответствующим современной концепции разработки высокоэффективного и конкурентоспособного ТРДД. Это обстоятельство может значительно повышать технический риск при создании современных высокоэффективных объектов.

В ЗАО «Сигма - Технология» разработана и внедрена новая технология многомерной оптимизации, позволяющая определять предельно достижимую эффективность как отдельных его элементов двигателя либо летательного аппарата, так и в целом всего объекта, включая интеграцию отдельных его элементов в системе более высоко уровня иерархичности.

Широкое использование численного моделирования объекта обеспечивает значительное сокращение сроков и стоимости разработки двигателей и летательных аппаратов, а также существенно снижает технический риск при реализации проектного решения. Однако использование численных технологий является обязательным, но недостаточным условием создания конкурентно способных двигателей и летательных аппаратов. Необходимо использование современных технологий оптимизации, которые позволяют определить наиболее эффективные технические решения. С этой целью ЗАО «Сигма Технология» разработала программный продукт, который реализует новую технологию оптимизации, широко в мире как IOSO технология.

Данная технология оптимизации апробирована в ведущих научно-технических и промышленных организациях России и мира