

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ ДОВОДКИ АВИАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И ИХ УЗЛОВ

Бочкарев С.К., Дмитриев А.Я., Кулагин В.В.
Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

В проектировании новых образцов изделий, разработке технологии их создания и эксплуатации, научных исследованиях интеллектуальные системы играют все возрастающую роль. Они являются новой информационной технологией, без которой невозможно создание сложных изделий в кратчайшие сроки [2].

Авиационные газотурбинные двигатели (ГТД) относятся к категории сложных технических изделий, процесс создания которых состоит из трех этапов: проектирования, опытного производства и доводки. Доводка начинается с испытания первого опытного образца и заканчивается государственными испытаниями. Газодинамическая доводка заключается в обеспечении достижения основных данных двигателя и запасов его устойчивой работы. Управление процессом доводки целесообразно проводить на основе количественной оценки этого процесса - интегрального показателя "уровень параметрической доводки". Важнейшей тенденцией такой оценки является комплексный анализ состояния объекта с использованием математических моделей, экспертных систем и нейронных сетей. В связи с этим первостепенное значение имеет решение задачи по оценке искомым характеристикам математической модели объекта с учетом разнообразной информации:

- измерительной;
- статистической;
- экспертной.

Решение этой задачи означает проведение комплексной диагностики состояния объекта. В авиадвигателестроении при газодинамической доводке двигателя подобную задачу называют термогазодинамическим анализом. Принципы построения автоматизированной системы термогазодинамического анализа (или информационной технологии диагностики) должны следовать из общих принципов построения автоматизированных систем обработки наблюдений, которые в свою очередь определяются теорией математического моделирования.

Процесс математического моделирования подразделяется на четыре этапа. Первый этап - формирование законов, связывающих основные объекты модели. Второй этап - исследование математических задач, к которым приводят математические модели. Основным вопросом здесь является решение прямой задачи, т.е. получение выходных данных модели. Третий этап - выяснение вопроса о том, согласуются ли результаты наблюдений с выходными данными модели.

Основным вопросом здесь является решение обратной задачи, т.е. определение характеристик (параметрических, функциональных) модели таким образом, чтобы выходные данные были сопоставимы в пределах точности наблюдений с результатами наблюдений изучаемых явлений. Четвертый этап - последующий анализ модели в связи с накоплением данных об изучаемых явлениях и модернизация модели.

Представляемая задача в основном относится к третьему и четвертому этапам математического моделирования ГТД.

Развитие теории ГТД приводит к расширению круга задач, решаемых с помощью математического моделирования процессов ГТД. Как известно, двигатели можно подразделить на функциональные элементы и функциональные модули. Группы функциональных элементов объединяются в однотипные для различных ГТД функциональные модули. В качестве основного функционального модуля выделяется газогенератор. При составлении математических моделей ГТД, особенно для целей диагностики, в них закладываются не характеристики отдельных элементов, а характеристики функциональных модулей. Это позволяет получать простые математические модели, пригодные для термогазодинамического анализа.

Доводка двигателя - один из основных этапов его создания. Суть газодинамической доводки сводится:

- к оценке по результатам экспериментальных исследований действительных значений КПД узлов и коэффициентов потерь, а также запасов устойчивой работы компрессора;
- определению узлов и элементов проточной части, ответственных за неполучение заявленных значений тяги и удельного расхода топлива;
- к разработке и экспериментальной проверке более совершенных в термогазодинамическом отношении вариантов проточной части двигателя.

Очевидно, что все возрастающие требования к удельным параметрам и основным данным двигателя, высокая стоимость его разработки и наличие жесткой конкуренции фирм, претендующих на получение заказа, вынуждают разработчиков закладывать в проект величины КПД узлов и коэффициенты потерь на верхнем уровне достигнутых на сегодняшний день значений, а иногда и превышать этот уровень. Это делается в надежде на получение проектных значений в процессе доводки двигателя. Таким образом, необходимость доводки закладывается, по существу, на этапе разработки проекта.

Получение адекватной индивидуальной математической модели двигателя, позволяющей оценить его техническое состояние, рассчитать параметры для заданных внешних условий, оптимизировать газодинамическую доводку опытных и отладку серийных двигателей,

является главной целью большого числа испытаний авиационных ГТД. Однако современные методы получения такой модели весьма трудоемки, далеки от возможности их выполнения в темпе испытаний, сдерживают автоматизацию, а следовательно и повышение эффективности испытаний. Поэтому разработка системы термогазодинамического анализа результатов испытаний, особенно двигателей сложных схем, становится в настоящее время насущной необходимостью.

Центральным звеном такого анализа является решение обратной задачи, которая для рассматриваемых двигателей некорректна. Решение проблемы обеспечивается применением современных математических методов и разработкой поэтапного подхода. Этот подход предусматривает предварительный анализ результатов испытаний на основе закономерностей разброса параметров, идентификацию математической модели и заключительный многовариантный анализ, который выполняется с помощью нелинейной математической модели (НММ) [3]. По результатам этого этапа анализа формируется несколько вариантов НММ, отражающих различные представления о состоянии проточной части исследуемого двигателя. Анализ этих вариантов и получение на их основе индивидуальной математической модели исследуемого двигателя является содержанием заключительного этапа разработанного метода термогазодинамического анализа. На этом этапе, как и на предыдущих, задача может решаться в автоматическом режиме, на основе заданных критериев подбора, или в диалоговом режиме при непосредственном использовании экспертной информации специалистов.

Полученное таким образом решение задачи наилучшим образом согласуется со всей имеющейся экспериментальной и дополнительной информацией и является наиболее надежным.

Понятие "Уровень газодинамической доводки" (УГД) может рассматриваться в двух аспектах. С одной стороны - как комплекс ("вектор") абсолютных значений важнейших параметров, характеризующих основные технические данные авиационного двигателя. В этом случае заключение об уровне газодинамической доводки можно составить на основе дифференцированного сопоставления основных параметров с заявленными данными и их прогнозом на год сертификации двигателя.

С другой стороны, УГД может рассматриваться в виде интегрального показателя качества создаваемого двигателя, характеризующего соответствие важнейших показателей рассматриваемого ГТД совокупной оценке тех же показателей,

достигнутых в группе образцов доводки двигателей аналогичного назначения и типоразмера. Описанный подход отражает в определенной степени новые тенденции оценки научно-технического уровня проектируемого двигателя [2] и тем самым позволяет с единых позиций оценивать ход проектирования и доводки.

Использование в качестве базы для сравнительной оценки группы ГТД, которые прошли этап доводки успешно, позволяет учитывать как специфику, так и реальную ситуацию на фирме.

В общем случае исходная информация, необходимая для решения задачи оценки УГД, включает в себя:

- сведения о типе, назначении и сфере применения ГТД;
- данные о наиболее удачно доведенных двигателях, аналогов оцениваемого двигателя;
- значения удельных параметров двигателя и параметров рабочего процесса;
- значения параметров, характеризующих газодинамическое, конструктивное совершенство элементов двигателя, его надежность.

Необходимые для интегральной оценки УГД значения приоритетов (коэффициентов весомости) используемых показателей могут быть получены методами ранговых корреляций или прямым заданием.

Метод оценки УГД позволяет осуществить экспертизу не только двигателя в целом, но и в первом приближении отдельных этапов его доводки с целью оптимизации важнейших доводочных мероприятий.

При создании методики оценки интегрального показателя используются следующие положения и принципы:

- оценка газодинамического состояния производится на различных стационарных режимах работы двигателя при различных внешних условиях;
- газодинамическое состояние двигателя изучается по результатам приемо-сдаточных испытаний;
- оценка уровня газодинамической доводки производится для двигателей, находящихся в доводке по конструктивным мероприятиям, приводящим к количественному изменению параметров состояния, а не к их качественному скачку;
- компьютерный термогазодинамический анализ результатов испытаний двигателя является основой при оценке уровня газодинамической доводки.

Решение поставленных выше комплексных задач оценки уровня газодинамической доводки и термогазодинамического анализа предлагается проводить с помощью гибридной экспертной системы. Компоненты системы включают: базу знаний, базу фактов, машину

логического вывода, редактор базы знаний, функциональные модули. База знаний имеет иерархическую организацию продукционных правил. Функциональные модули выполняют различные действия, в том числе:

диалоговое взаимодействие; изменение диапазона возможного отклонения параметров для повторной идентификации; выдачу сообщений о неисправности конкретного узла.

Использование нейронных сетей осуществляется при начальном выборе значений отклонений параметров состояния. Обучение нейронной сети проводится по результатам имитационного эксперимента.

Основы разработанной информационной технологии апробированы на примерах одновальных и двухвальных газогенераторов ТВВД НК-93 и турбовального двигателя ТВ7-117. В частности, элементы турбовального двигателя представляются объединенными в три функциональных модуля: входное устройство, одновальный газогенератор, свободная турбина с затурбинным диффузором. Эта наиболее простая модель содержит 9...14 неизвестных параметров состояния и 5...6 измеряемых признаков состояния. Созданное математическое и программное обеспечение является универсальным и не зависит от сложности математической модели (может рассматриваться как одновальный газогенератор, так и турбовальный двигатель). Эффективность разработанной технологии диагностики подтверждается возможностью определения дефекта внутри газогенератора.

Список литературы

1. Кулагин В.В. Теория газотурбинных двигателей: Учебник в 2 книгах. Кн. 2. Совместная работа узлов, характеристики и газодинамическая доводка выполненного ГТД.- М.: Изд-во МАИ, 1994.-304с.
2. Бочкарев С.К., Дмитриев А.Я., Кузьмичев В.С. Методы и средства искусственного интеллекта в термогазодинамической доводке ГТД/"ПРИОРИТЕТЫ И ВОЗМОЖНОСТИ": Тез. докл. 3 Конгресса двигателестроителей Украины с иностранным участием, Харьков, 18-22 сентября 1998г., Харьков, 1998.-С.348-352.
3. Бочкарев С.К., Дмитриев А.Я., Кулагин В.В., Мосоулин В.В., Моссоулин А.А. Автоматизация анализа доводочных испытаний ГТД сложных схем. В кн. "Проблемы и перспективы развития двигателестроения в Поволжском регионе".- Самара: СГАУ, 1997.- С. 30-31.