

УДК 621.452.3.02:004.9:519.876.5

А.А. ОЛЕЙНИК

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

ПРИМЕНЕНИЕ АДАПТИВНЫХ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СИСТЕМ ГТД

Рассмотрены проблемы применения моделей нормального состояния при диагностировании систем ГТД. Приведены примеры снижения достоверности диагностирования в результате невозможности выполнения полной идентификации контролируемых технических объектов с использованием доступных эксплуатационных данных. Показана возможность и общие закономерности декомпозиции моделей нормального состояния на компоненты, оценивание параметров которых может выполняться отдельно, т.е. получения адаптивных многокомпонентных моделей. Приведены примеры их применения для преодоления указанных недостатков традиционных моделей нормального состояния.

адаптивная многокомпонентная модель, ГТД, идентификация, модель нормального состояния, программный синтез, структурно-параметрическая идентификация

Введение

Важным элементом современных стратегий эксплуатации ГТД является применение систем автоматизированного диагностирования для контроля технического состояния двигателя с использованием математических моделей нормального состояния систем ГТД.

Системы ГТД (проточная часть, системы смазки и суфлирования, подачи топлива, управления, механизации и др.) как сложные технические объекты обладают высокой индивидуальностью характеристик, что обуславливает применение методов параметрической идентификации для определения индивидуальных значений параметров моделей нормального состояния по измерениям параметров экземпляра технического объекта в период заведомо исправного функционирования.

Как правило, в системах диагностирования применяются упрощенные модели нормального состояния, описывающие зависимость контролируемых показателей технического объекта от влияющих факторов в виде статистических характеристик, применяемых, как правило, на установившихся режимах работы технического объекта:

$$y = f(\mathbf{x}, \mathbf{i}), \quad (1)$$

где y – контролируемый показатель (зависимая переменная модели);

f – структура модели нормального состояния;

\mathbf{x} – вектор влияющих факторов;

\mathbf{i} – вектор параметров модели.

1. Формулирование проблемы

Однако при разработке и применении моделей нормального состояния зачастую возникает проблема несоответствия доступных исходных данных требованиям оптимального планирования эксперимента. Некоторые факторы, например климатические, в период заведомо исправного функционирования изменяются недостаточно для достоверного определения параметров модели, описывающих их влияние. В то же время проведение специальных испытаний ГТД и его систем для формирования моделей нормального состояния в условиях эксплуатации весьма затруднительно. Эта проблема хорошо рассмотрена в [1], где даются некоторые рекомендации по ее преодолению, однако не позволяющие решать проблему в целом.

1.1. Модели систем ГТД. Описанную проблему удобно рассмотреть на примерах моделей нормального состояния систем ГТД.

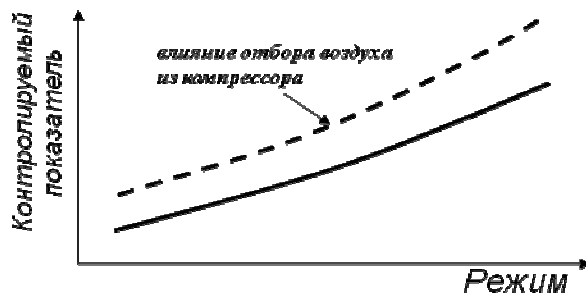


Рис. 1. Модель проточной части ГТД с учетом влияния отборов воздуха из компрессора

На рис. 1 приведена контролируемая характеристика проточной части ГТД. Как правило, эти характеристики существенно изменяются при включении отборов воздуха из компрессора на нужды противообледенительной системы или для питания бортовых систем самолета. Для определения параметров модели проточной части ГТД, включающей поправку на влияние отбора воздуха из компрессора, требуются измерения параметров двигателя как с включенным, так и с выключенным отбором. Но поскольку в условиях эксплуатации наземного ГТД противообледенительная система включается автоматически в зависимости от температуры атмосферного воздуха, то в течение периода заведомо исправного функционирования она обычно находится только в одном состоянии – зимой включена, летом выключена. Поэтому измерения, собранные в летний период не позволяют определить параметры поправки на влияние отбора воздуха, а собранные в зимний – также и параметры основной характеристики. Таким образом, для полного определения параметров модели необходимо дождаться изменения климатических условий, которое приведет к изменению состояния отбора воздуха из компрессора. В течение этого периода проточная часть двигателя не будет контролироваться системой диагностирования.

Сходные проблемы возникают при определении параметров модели программы регулирования ГТД на высоких режимах работы, для которых существу-

ет вероятность выхода двигателя на ограничения. Так двигатель Д-18Т, программа регулирования которого показана на рис. 2, в летний период выходит на ограничение по температуре газов при работе на взлетном режиме. Поэтому регистрируемые на этом режиме значения регулируемого параметра не пригодны для оценки высоты площадки взлетного режима (правый участок кривой на рис. 2). В зимний период на взлетном режиме возможен выход на ограничение по частоте вращения ротора. Аналогично приведенному выше примеру модели проточной части для полной идентификации программы регулирования по эксплуатационным данным необходимо дождаться такого изменения климатических условий, при котором двигатель на взлетном режиме не будет выходить на ограничение, причем все это время контроль программы регулирования осуществляться не будет.



Рис. 2. Модель программы регулирования ГТД.

Для контроля вибрационного состояния при использовании низкочастотных датчиков вибрации зачастую применяются модели предельных уровней вибрации (рис. 3), т.к. применение аналитической модели в данном случае невозможно. Предельные уровни определяются для характерных этапов полета (взлет, набор высоты, полет на эшелоне, снижение и т.д.) по результатам измерения уровней вибрации на этих режимах в период заведомо исправного функционирования, при этом требуется накопление заданного количества измерений для каждого контролируемого этапа полета. Однако продолжительность работы двигателя на каждом этапе суще-

ственно различается, а также зависит от выполняемых полетных заданий. Поэтому необходимость накопления достаточного количества измерений на некоторых непродолжительных или редких этапах полета может задерживать начало диагностического контроля.

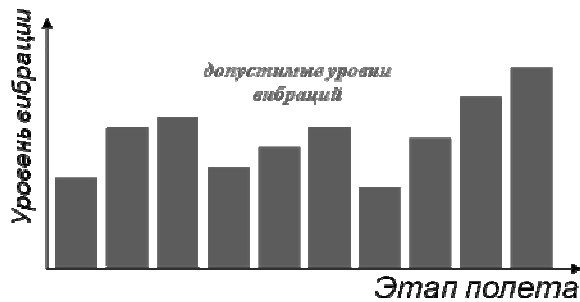


Рис. 3. Модель предельных уровней вибрации ротора ГТД

1.2. Пути решения проблемы. Методы оценивания параметров, применяемые для параметрической идентификации (определения параметров модели) контролируемых систем ГТД предполагают одновременное определение всех параметров модели. Если доступные исходные данные недостаточны для достоверного определения значения хотя бы одного из параметров, это приводит к невозможности выполнения идентификации, либо к определению этого параметра с грубой ошибкой. В тоже время, уточнение модели по вновь поступившим измерениям, приводит к изменению значений всех параметров модели, а не только тех, которые не могли быть определены ранее, что требует повторного выполнения контроля достоверности каждого параметра.

Достоверность идентификации может быть обеспечена за счет исключения факторов, влияние которых не может быть достоверно определено по доступным исходным данным. Однако это приводит к снижению достоверности диагностирования.

Другим решением является продление периода сбора исходных данных до накопления достаточно большого множества измерений, что также нежелательно, поскольку в этот период выполнение диагностиче-

ского контроля невозможно неисправностей. По мере увеличения периода сбора исходных данных возрастает и вероятность возникновения в этот период неисправностей, которые не могут быть обнаружены с использованием модели нормального состояния.

Нами предлагается совместить преимущества двух указанных подходов, по возможности преодолев их недостатки.

Доступные эксплуатационные данные за период заведомо исправного функционирования должны использоваться для определения параметров сокращенной (первоначальной) модели нормального состояния, из которой исключены влияющие факторы, которые недостаточно изменялись в этот период. Это позволяет оперативно начинать диагностический контроль, хотя и в относительно узкой области значений влияющих факторов. В ходе длительной эксплуатации технического объекта по мере изменения влияющих факторов и при подтверждении исправного состояния объекта, накопленное множество измерений должно использоваться для дополнения модели нормального состояния путем определения недостающих параметров. Дополнение модели позволит расширять область диагностического контроля. При этом ранее определенные параметры не должны изменяться.

2. Адаптивные многокомпонентные модели нормального состояния

Для обеспечения возможности выполнения неполной параметрической идентификации технического объекта и последующего дополнения модели по мере накопления достаточного множества измерений его параметров нами предложено производить декомпозицию моделей нормального состояния на компоненты. Компоненты модели являются самостоятельными математическими моделями, и их идентификация может выполняться отдельно в различное время и по различным исходным данным. Модели, полученные в результате такой декомпози-

ции, получили название адаптивных многокомпонентных моделей.

Нами была разработана информационная технология идентификации систем ГТД с использованием адаптивных многокомпонентных моделей [2]. Рассмотрим применение этой технологии для преодоления проблем идентификации систем ГТД, примеры моделей которых приведены выше.

Если период заведомо исправного функционирования проточной части наземного ГТД (рис. 1) выпадает на лето, когда выключен отбор воздуха из компрессора, то по измерениям параметров двигателя в этот период определяются параметры его базовой модели без учета влияния отбора. Этого вполне достаточно для начала диагностического контроля, который выполняется до тех пор, пока не будет включен отбор воздуха. После этого производится сбор измерений параметров двигателя с включенным отбором, на основании которых определяется величина поправки на влияние отбора воздуха. Полученная в результате такого дополнения модель пригодна для контроля двигателя как с включенным, так и выключенным отбором воздуха из компрессора.

Если же период заведомо исправного функционирования выпадает на зиму, по результатам регистрации параметров двигателя в этот период определяются параметры временной модели, описывающей контролируемую характеристику только при включенном отборе воздуха, которая используется в диагностическом контроле до выключения отборов. После этого производится сбор измерений параметров двигателя с выключенным отбором, на основании которых определяются параметры базовой модели, и с использованием измерений полученных в зимний период, определяется величина поправки на влияние отбора воздуха из компрессора.

Если в период заведомо исправного функционирования системы регулирования ГТД (рис. 2) двигатель выходит на ограничение на взлетном режиме, то модель программы регулирования определяется без площадки взлетного режима. Такая модель может использоваться для контроля на всех режимах, кроме взлетного. В дальнейшем, при получении измерений параметров двигателя на взлетном режиме без выхода на ограничение, эта модель дополняется площадкой взлетного режима, что позволяет обеспечить контроль на всех заданных режимах.

Уровни предельных вибраций (рис. 3) для различных этапов полета определяются независимо друг от друга по мере накопления заданного количества измерений на каждом этапе. При этом недостаточное количество измерений на одном из этапов не приводит к продлению периода сбора исходных данных для всей модели, из области контроля исключается только этот этап.

Литература

1. Синтез систем управления и диагностирования газотурбинных двигателей / С.В. Елифанов, Б.И. Кузнецов, И.М. Богаенко и др. – К.: Техника, 1998. – 312 с. – ISBN 966-575-121-2.
2. Олейник А.А. Методы автоматизации структурно-параметрической идентификации систем ГТД / Олейник А.А. //Авиационно-космическая техника и технология. – 2007. – № 9/45. – С. 184-188.

Поступила в редакцию 06.05.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.Ю. Соколов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.