

Кривошеев И. А.

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ ИХ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

Адрес статьи: www.gramota.net/materials/1/2008/7/34.html

Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.

Источник

Альманах современной науки и образования

Тамбов: Грамота, 2008. № 7 (14). С. 94-99. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: www.gramota.net/editions/1.html

Содержание данного номера журнала: www.gramota.net/materials/1/2008/7/

© Издательство "Грамота"

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: www.gramota.net

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: almanac@gramota.net

широком диапазоне силы тока, что обеспечивает спокойное формирование сварочной ванны и ровный валик наплавленного металла с гладкой поверхностью. Этот способ уступает наплавке плавящимся электродом по производительности из-за высокой концентрации энергии и низкой эффективности использования теплоты дуги [Потапьевский 2007: 2].

Таким образом, проведенный анализ способов наплавки, присущие им достоинства и недостатки, показал эффективность разработки новых способов наплавки и технологических рекомендаций к ним.

Список использованной литературы

1. Кусков Ю. М., Куприн И. Н., Сарычев И. С. Тепловые процессы при электрошлаковой наплавке в токоподводящем кристаллизаторе прокатных валков // Сварочное производство. - 2006. - № 10. - С. 29-32.
2. Потапьевский А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. - К.: ЭкоТехнологія, 2007. - Часть 1. Сварка в активных газах. - 192 с.
3. Разиков М. И. Автоматическая наплавка в среде углекислого газа. - М.: Машиностроение, 1962. - 212 с.
4. Сагиров Х. Н., Сагиров Д. Х., Хачкинаев С. Д., Слитинская С. К., Дюргеров Н. Г., Перфильев Д. П. Эффективный процесс автоматической наплавки под флюсом // Сварочное производство. - 2003. - № 8. - С. 41-44.
5. Хасуи А., Моригаки О. Наплавка и напыление / Пер. с яп. В. Н. Попова; под ред. В. С. Степина, Н. Г. Шестеркина. - М.: Машиностроение, 1985. - 240 с.
6. Чвертко А. И., Пичак В. Г. Оборудование для дуговой и шлаковой сварки и наплавки. - К.: Наукова думка, 1983. - 56 с.

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ ИХ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

Кривошеев И. А.

Уфимский государственный авиационный технический университет

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №07-08-00349)

В настоящее время в ряде областей техники, особенно наукоемкой, все большее внимание уделяется повышению эффективности информационной поддержки жизненного цикла (ЖЦ) изделий на основе технологий ИПИ/CALS и ИЛП (интегрированной логистической поддержки). В частности, для этого разрабатываются различные системы имитационного моделирования (СИМ) технических систем (ТС) для моделирования в различных аспектах (функциональном, конструкторском, технологическом). Например, в энергетике и двигателестроении, в частности в авиадвигателестроении и ракетостроении для функционального моделирования двигателей, систем, узлов и других элементов в их составе используются СИМ Gasturb (Германия), GECAT (США), EcosimPro (Испания), BOOST (Австрия), Альбея, ГРАД, в том числе разработанная с участием автора СИМ DVIG (Россия). На базе универсальных CAD/CAM/CAE-систем (Unigraphics, CATIA, Pro/Engineer), CAE-систем (NASTRAN, StarCD и др.) разрабатываются приложения для конструкторско-технологического проектирования. С использованием PDM-систем (TeamCenter, SmarTeam и др.) организуется «параллельное проектирование». С использованием IOSO-технологии (Россия) в авиадвигателестроении организуется многокритериальная оптимизация различного рода моделей. В рамках ИЛП разрабатываются универсальные средства и конкретные приложения в виде ИЭТР (интерактивных электронных технических руководств), электронных каталогов, комплексных систем МТО (материально-технического обеспечения) и ТОиР (технического обслуживания и ремонта), включая средства диагностики и контроля технического состояния и ведения электронного дела изделия. В авиации и других областях техники актуальным является переход на эксплуатацию по техническому состоянию. Для контроля состояния изделий применяются различные АРМ ДК (автоматизированные рабочие места диагностики и контроля), такие как ПАК (программно-аппаратные комплексы), «Дозор» (для самолета Су-25 и двигателя Р-195), система контроля технического состояния «с полной ответственностью» на двигателе ПС-90 и т.д.

Однако приведенные средства не позволяют системно организовать процесс проектирования, доводки и отладки изделий, поскольку в модели, представленной «деревом проекта» в PDM, отсутствует возможность имитационного моделирования, нет поддержки принятия структурных решений с помощью СППР. Перечисленные системы моделирования не могут динамично развиваться в процессе ЖЦ изделия, поскольку в них отсутствует универсальная оболочка - МетаСАПР/Framework. На практике контролируемые режимные параметры ТС приводятся к выбранному характерному режиму, и по их тренду принимается решение о состоянии ТС в целом. Такая диагностика малодостоверна, не позволяет локализовать дефекты и отказы по их видам и элементам (где произошел или возможен отказ), судить о состоянии отдельных элементов в составе ТС (локализовать дефекты и отказы по элементам ТС).

В отличие от этого автором предложена методология диагностики на основе идентификации (при приемосдаточных испытаниях, в процессе эксплуатации) имитационной модели ТС, позволяющей судить о деформации в процессе эксплуатации характеристик элементов ТС. Преимуществом разработанных в НИИ САПР-Д кафедры АД [1- 5] методов и средств на основе многоуровневого имитационного сетевого моделирования является их более высокая эффективность. Они не требуют приводить контролируемые режимные

параметры ТС к какому-либо режиму; позволяют локализовать типы дефектов и отказов, судить о состоянии отдельных элементов в составе ТС (локализовать дефекты и отказы по элементам ТС).

Эти методы и средства могут использоваться либо как дополнение к перечисленным выше традиционным средствам, либо верифицироваться по ним, как по частным решениям (в соответствии с предложенными Н. Бором методологическими принципами - принципом дополнительности и принципом соответствия).

Использование для контроля технического состояния ТС информации о деформации характеристик СЭ (по тренду базовых параметров «образмеривания» характеристик в результате идентификации имитационных моделей по замеряемым на любом режиме контролируемым параметрам) позволяет повысить достоверность контроля и диагностики.

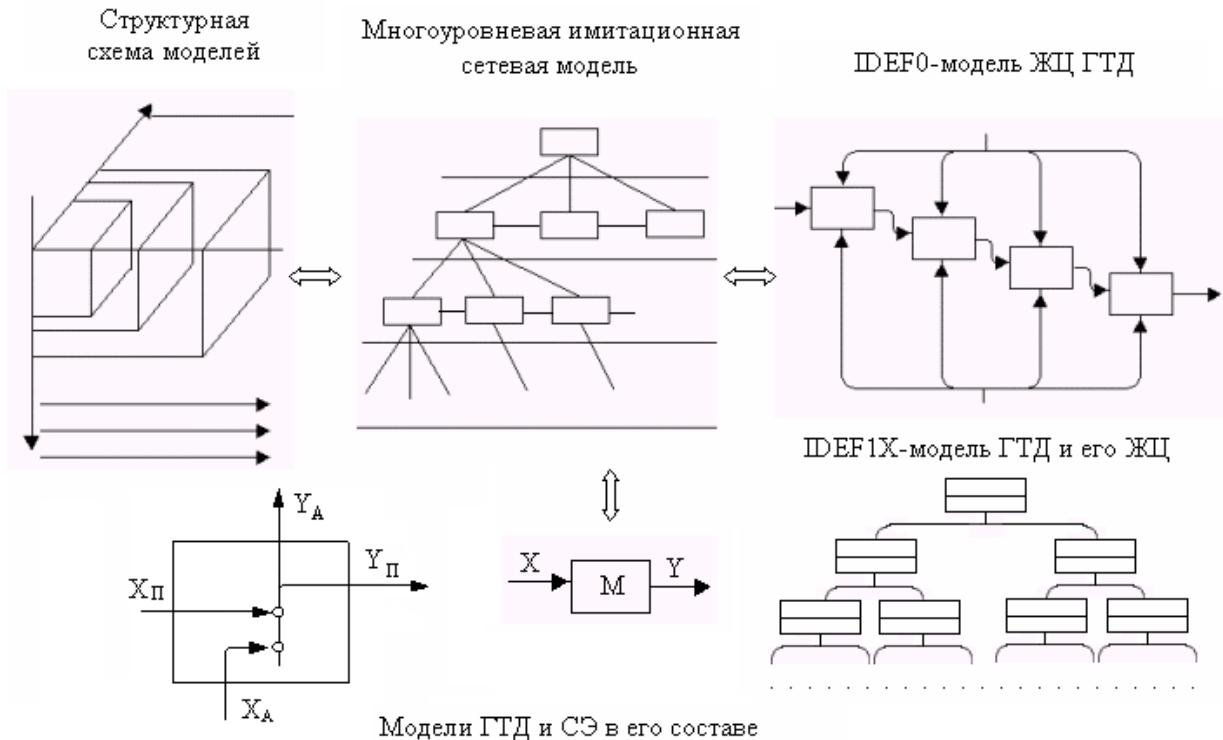


Рис. 1. Методология системного анализа ЖЦ ТС, метод сетевого представления взаимосвязи параметров в их многоуровневых, многоаспектных имитационных моделях (ИМ)

Предложенные методы органично вписываются в разрабатываемую автором методологию формирования и развития в процессе ЖЦ ТС семейства взаимно идентифицируемых моделей. Для этого в НИЛ САПР-Д кафедры АД УГАТУ проведен системный анализ жизненного цикла (ЖЦ) сложных наукоемких ТС (объектов транспортных, авиационных и космических и специальной техники, энергетических систем) с использованием методологии SADT. Выявлена инвариантная часть всех возможных проектно-доводочных ситуаций и построен обобщенный алгоритм для универсального решателя (процессора, симулятора) создаваемой системы многоуровневого имитационного моделирования (СИМ). Разработан оригинальный метод сетевого представления взаимосвязи параметров в моделях структурных элементов (СЭ) и в имитационной модели (ИМ) ТС в целом. Он позволяет однозначно связать сеть (на Рисунке 1 - в векторном, на Рисунке 2 - в скалярном виде) с последовательностью рекуррентных операторов в алгоритмах СЭ (вершины сети являются операторами, горизонтальные ребра - функции влияния, вертикальные - ребро рекуррентно изменяющегося выходного параметра).

На уровне СЭ (Рис. 3) горизонтальные связи («потoki») - векторы, моделируют законы сохранения, отражают аспект моделирования. Вертикальные связи - векторы, отражают связи предков с потомками, обеспечивают агрегирование параметров.

Разработан также новый метод унификации и представления в безразмерном параметризованном виде характеристик СЭ и их использования в ИМ ТС, который опирается на предложенный метод формирования и обработки процессором СИМ многоуровневой имитационной модели (ИМ) ТС и на предложенный подход, при котором численный метод идентификации используется как универсальный метод решения любых проектно-доводочных задач в рамках ЖЦ ТС.

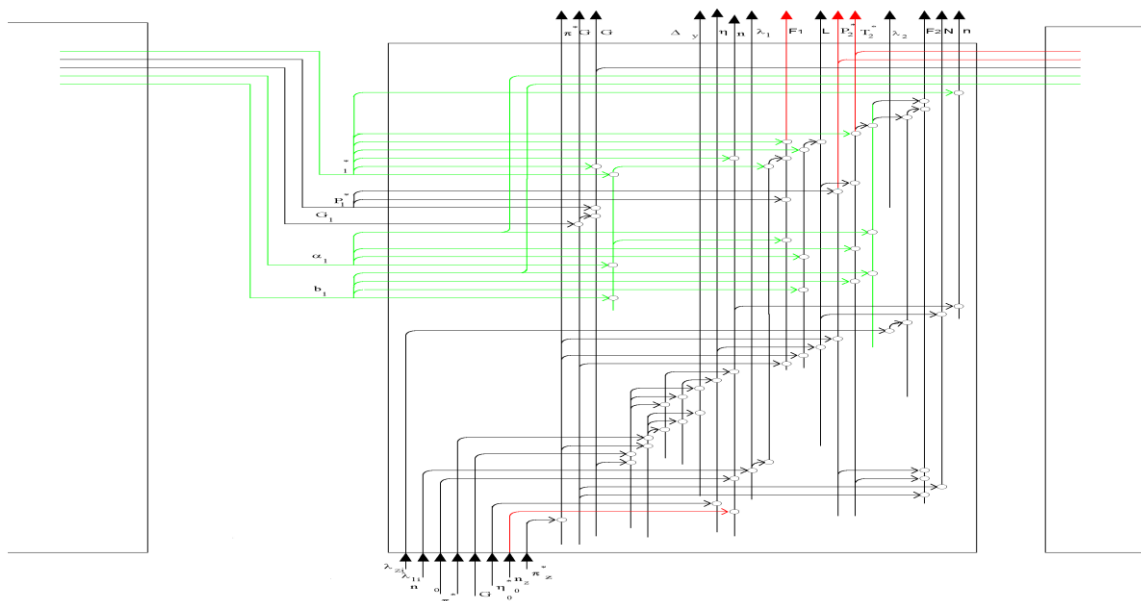


Рис. 2. Фрагмент сети, отражающий внутреннюю связь параметров в ИМ 2-х вального ТРД (Входное устройство - Компрессор - Камера сгорания)

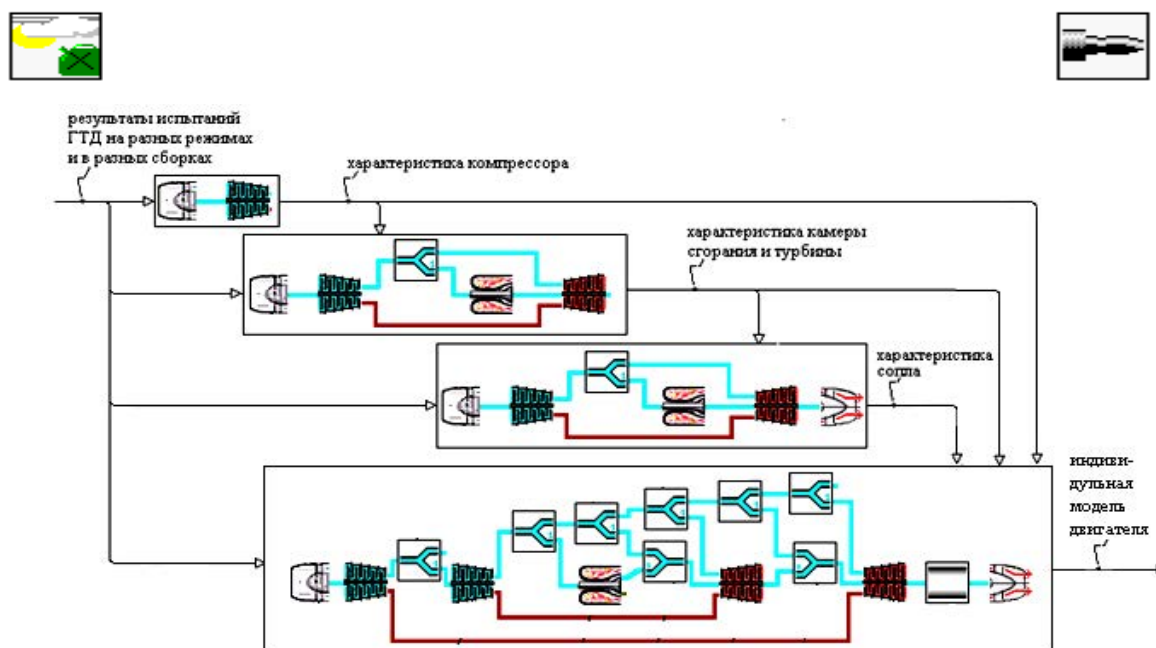


Рис. 3. Последовательное добавление в ИМ газогенератора (ГТ) газотурбинного привода ГПП-10/95 узлов (в процессе идентификации)

Разработка метода создания на базе систем имитационного моделирования (СИМ) ТС в детерминированной постановке СИМ с учетом стохастичности опирается на предложенный оригинальный метод формирования и развития СИМ ТС, последовательного добавления в модели элементов ТС все новых факторов.

Метод согласования моделей различной размерности (за счет осреднения параметров с учетом вида эмпир распределения, моделирования статических и динамических характеристик датчиков и т.д.) основан на предложенном способе включения в ИМ ТС специальных согласующих элементов. Методы идентификации ИМ (на примере различных ТС) по результатам испытаний и контроля параметров (в эксплуатации) опираются на предложенный оригинальный метод сетевого представления взаимосвязи параметров в моделях элементов и в ИМ ТС в целом. Кроме того, разработанные методы идентификации опираются на предложенный способ использования унифицированных обезразмеренных (в критериальном, относительном виде) характеристик элементов и их параметризации за счет задания координат «базовой точки» в пространстве «параметров обезразмеривания». Это позволяет переходить при решении задачи идентификации к подбору

значений только нережимных параметров. При решении задачи используется условие, что при использовании данных по состоянию ТС сразу на нескольких режимах, подобранные значения не должны дрейфовать по режимам (дрейф в пределах заданной точности).

Дополнительно, с учетом алгоритма разработанного решателя, предложен метод поочередной групповой вариации подбираемых параметров (при временном «замораживании» на границах назначаемых интервалов другой группы, затем сужения этих интервалов и смены ролей этих групп в задаче). Другой предложенный вариант идентификации - создание в одном рабочем окне СИМ нескольких копий ИМ ТС, каждая - для одного из режимов работы ТС, в дополнительные условия (в «закон расчета» решателя) при этом включаются кроме условий подбора нережимных параметров модели еще условия, обеспечивающие целостность модели ТС (физическую и геометрическую связь копий ИМ ТС). На этом основан разработанный метод получения характеристик СЭ при идентификации ИМ ТС, редактор характеристик элементов в составе СИМ позволяет переводить их в размерный и безразмерный вид, задавая либо подбирая координаты базовой точки в пространстве «параметров образмеривания».

Разработанный метод диагностики состояния ТС на основе анализа деформации характеристик СЭ в процессе эксплуатации основан на том, что по результатам идентификации ИМ ТС по «заводским» ПСИ (приемо-сдаточным испытаниям) большого числа изделий, когда их наработка близка к нулю, для каждого элемента определяется многомерная копула («палатка Гаусса»), характеризующая дисперсию положения базовой точки в пространстве их «параметров образмеривания».

Для каждого элемента выявляется конечный набор возможных дефектов. Анализ накопления каждого дефекта (по подробной модели элемента или экспериментально) позволяет определить траекторию дрейфа базовой точки в пространстве «параметров образмеривания». С другой стороны, для традиционных методов диагностики на заводах задаются т.н. «уставки» по ряду параметров (граничные линии на дроссельных, нагрузочных, климатических характеристиках). На этапе определения диагностических признаков в модели задаются условия движения базовой точки вдоль найденной траектории и положение контролируемых параметров на «уставке». Задача решается для частных случаев - в предположении отсутствия других дефектов. Путем идентификации имитационной модели ГТД определяется крайнее положение базовой точки (в характеристике данного элемента) и предельно допустимое значение данного накопленного дефекта в данном элементе. В результате в пространстве «параметров образмеривания» характеристики данного элемента задается граничная поверхность, связанная с предельным значением этого дефекта. Эта поверхность проходит через точку, подобранную при идентификации нормально к траектории, характеризующей накопление данного дефекта. Таким образом, поочередно рассматривая все возможные дефекты в каждом элементе, в пространстве «параметров образмеривания» его характеристики, определяется положение всех граничных поверхностей.

Каждая такая граничная поверхность проходит через точку, подобранную при идентификации нормально к траектории, характеризующей накопление данного дефекта.

Для приведенного на Рисунке 4 примера (для двигателя Р-95Ш) определяется в относительных координатах (по отношению к исходному положению, при нулевой наработке) граничное положение базовой точки для предельно допустимого значения дефекта «эрозия лопаток КНД».

По описанной методике она определяется для предельных (на «уставках») положений параметров T_4 (температура за турбиной), n_1/n_2 (скольжение роторов). Это позволяет получить связь вектора траектории и точки $\{\Delta\pi'_{KB}, \Delta G'_{BB}, \Delta\eta'_{KB}\}$ с отрезками, характеризующими положение граничной плоскости $\Delta\pi_{KBэр}, \Delta G_{BBэр}, \Delta\eta_{KBэр}$:

$$\Delta\pi_{KBэр} = \Delta\pi'_{KB} + \frac{\Delta G'_B + \Delta\eta'_{KB}}{\Delta\pi'_{KB}}; \quad \Delta\eta_{KBэр} = \Delta\eta'_{KB} + \frac{\Delta G'_B + \Delta\pi'_{KB}}{\Delta\eta'_{KB}}; \quad \Delta G_{BBэр} = \Delta G'_{BB} + \frac{\Delta\eta'_{KB} + \Delta\pi'_{KB}}{\Delta G'_{BB}}$$

Алгоритм диагностики по результатам идентификации имитационной модели в этом случае состоит в следующем. Например, накопленный дефект «эрозия лопаток КНД» находится в пределах допустимого, если положение базовой точки в указанной относительной системе координат («параметров образмеривания» характеристики КНД) удовлетворяет условиям:

$$\Delta\pi_{KBэ} > -\eta_{KBэ} \cdot \frac{\Delta\pi_{KBэр}}{\Delta\eta_{KBэр}} - \Delta\pi_{KBэр};$$

$$\Delta\pi_{KBэ} > \Delta G_{BBэ} \cdot \frac{\Delta\pi_{KBэр}}{\Delta G_{BBэр}} - \Delta\pi_{KBэр}; \quad \Delta\eta_{KBэ} > -\Delta G_{BBэ} \cdot \frac{\Delta\eta_{KBэр}}{\Delta G_{BBэр}} - \Delta\eta_{KBэр}$$

При этом может быть определен запас по данному дефекту, либо выводится сообщение о необходимости принятия мер (аварийный останов, решение о ремонте и т.д.). Поскольку граничных поверхностей для характеристики каждого элемента несколько (по числу возможных дефектов в нем), а идентификация производится всей «поэлементной» имитационной модели ГТД, то тревожное сообщение может прийти из одного или нескольких элементов, но каждый раз оно сопровождается указанием вида дефекта и элемента, в котором он имеет место.

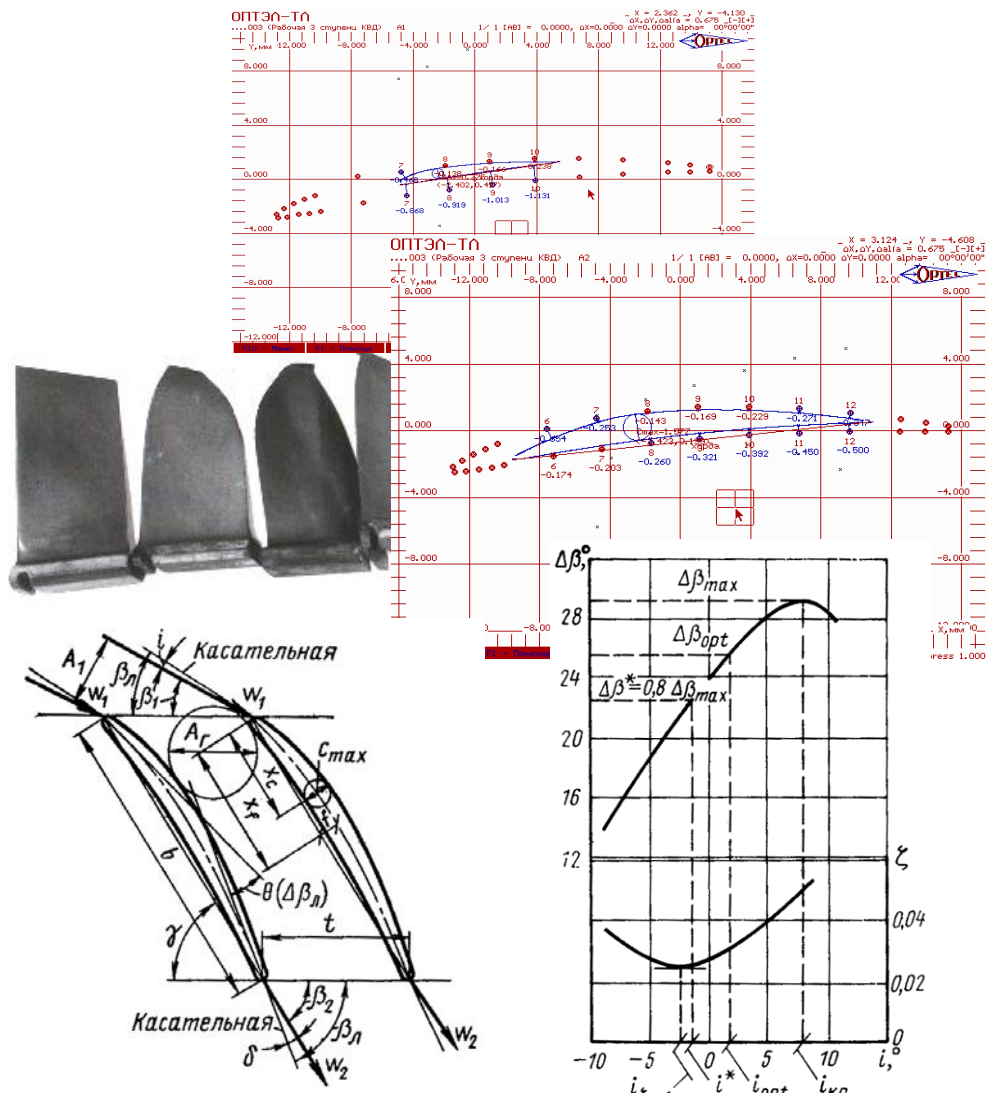


Рис. 4. Схема определения связи с накоплением дефекта «эрозия лопаток компрессора» с траекторией дрейфа базовой точки в пространстве «параметров образмеривания» характеристики компрессора

Таким образом, поочередно рассматривая все возможные дефекты в каждом элементе, в пространстве «параметров образмеривания» его характеристики, мы определяем положение всех граничных поверхностей. Дальнейшая диагностика производится путем идентификации моделей (ИМ) ТС в эксплуатации, в процессе наработки и накопления дефектов. При этом реальный дрейф базовых точек может происходить по произвольной траектории, но выход базовой точки за одну из граничных поверхностей в конкретном элементе распознается как соответствующий этой граничной поверхности дефект или отказ. Используемые при этом ИМ ТС (исходные обезразмеренные характеристики элементов, заранее подготовленные, подобранные положения граничных поверхностей в пространстве «параметров образмеривания») при этом могут иметь разный статус - расчетные и экспериментальные, типовые (для данного ТС) и индивидуальные (для данного экземпляра ТС). Используемые ИМ могут быть детерминированные, стохастические, статические и динамические. Разработанные в НИЛ САПР-Д средства позволяют переходить от одних к другим с учетом специфики решаемых задач. Степень детализации ИМ определяет, насколько детально может быть произведена диагностика - локализация дефектов производится по тем элементам, которые явно представлены в ИМ.

Разработанные методы определения состояния систем (распознавание дефектов, отказов элементов, оценка запасов по накоплению дефектов) пригодны и эффективны для диагностики состояния не только технических, но и биологических, экологических, экономических систем.

Список использованной литературы

1. Кривошеев И. А., Иванова О. Н., Горюнов И. М. Использование средств имитационного сетевого моделирования ГТД на этапе идентификации моделей по результатам испытаний // Вестник УГАТУ. – 2005. - № 1(12). - С. 65-75.
2. Кривошеев И. А., Ахмедзянов Д. А. Элементы контроля и управления в имитационных моделях ГТД // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2006. - № 2. - С. 25-30.

3. Кривошеев И. А., Ахмедзянов Д. А., Кишалов А. Е. Получение и использование характеристик компрессоров при моделировании ГТД и ЭУ // Вестник УГАТУ. – 2006. - № 3 (16). - С. 64-71.
4. Кривошеев И. А., Иванова О. Н., Горюнов И. М. Методы получения и использования характеристик узлов ГТД при имитационном моделировании // Вестник УГАТУ. – 2006. - № 3 (16). - С. 127-135.
5. Кривошеев И. А., Иванова О. Н. Метод формирования и использования моделей ГТД на различных этапах проектирования, доводки и эксплуатации // Вестник УГАТУ. – 2007. - № 1 (19). - С. 8-21.

ВИРТУАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ КОЛЛЕКТИВ КАК ФОРМА ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТА В ОБЛАСТИ АВИАДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЯ

*Кривошеев И. А., Минигулова Л. Ф.
Уфимский государственный авиационный технический университет*

Современные CALS (ИПИ)/ILS (ИЛП)-технологии компьютерной поддержки жизненного цикла (ЖЦ) изделий (например, авиационного двигателя), широко внедряемые в промышленности, предполагают формирование, развитие, взаимную идентификацию моделей - между собой, по результатам в испытаний и мониторинга состояния изделий, использование для каждой стадии ЖЦ соответствующих моделей, стандартов, методик и программных средств. Среди них методологии SADT или RUP, CASE-технологии (IDEF - ERWin, BPWin, OOWin, UML- Rational Rose, MsProject, SODA, Requisite Pro) CAD/CAE/CAM/PDM, ILS-технологии, реализуемые на основе стандартов STEP (ISO 10303), MANDATE (ISO 15531), библиотек P-LIB (ISO 13584), и т.д. С учетом повсеместно внедряемой технологии КИП (компьютеризированного интегрированного проектирования и производства) на предприятиях (в частности в авиамоторных ОКБ и на серийных заводах) производится реорганизация (реинжиниринг) проектирования, изготовления и доводки наукоемких изделий (таких как авиационный ГТД).

Для организации информационного фонда отдельных ОКБ и отрасли в целом одним из авторов [Кривошеев 2004, Кривошеев 2005] предложены методы построения библиотек структурных элементов (функциональных, конструкторских, технологических), метод сетевого представления взаимосвязи их параметров (позволяющий реализовать оригинальную CASE-технологию), версия системы поддержки принятия решений (СППР) в процессе проектирования ГТД и т.д. Внедрение полученных результатов на предприятиях показало, что новая технология системной разработки сложных изделий (таких, как авиационный ГТД) требует изменений в организации работ. На уровне предприятия и отдельных подразделений в структуре появляются новые специалисты, а также отделы и группы. Меняются функции и роль специалистов, традиционно занятых в ОКБ, на заводах и в сфере эксплуатации изделий. В новой технологии «узкие специалисты» формируют классификаторы, карты сетевого представления моделей ФЭ, КЭ и ТЭ, экспертно или, проводя статистический анализ; заполняют базы статистической информации для принятия решений (БДст) - строки для экстремальных точек, параметры распределения, физические границы для альтернатив; участвуют в формировании библиотек моделей. При проектировании конкретного изделия эти специалисты принимают участие в анализе результатов (которые получают специалисты по автоматизированному проектированию), в назначении границ и весовых коэффициентов, в наращивании моделей (добавлении в модели учитываемых факторов). При проектировании «сверху вниз» модели формируются специалистами - ведущими по изделию, по узлам и т.д., которые, по мере необходимости, прибегают к помощи «узких специалистов».

С учетом этого технические вузы вынуждены менять номенклатуру специальностей и характер подготовки специалистов. При этом актуально использование CALS-технологий - для реинжиниринга (реорганизации) учебного процесса. Так, например, при рассмотрении функциональных IDEF-моделей жизненного цикла изделий можно обнаружить, что специалисты здесь присутствуют в составе «механизмов» реализации блоков переработки информации и в составе элементов управления. Применение методологии SADT и методик IDEF для структурного анализа существующих технологий подготовки специалистов (рабочих планов и т.д.) и «жизненного цикла специалиста» позволяет получить соответствующие модели в форматах функциональных IDEF0, информационных IDEF1X и динамических IDEF3. Альтернативный подход на основе методологии RUP позволяет получить Use Case-диаграммы в нотации языка UML, в автоматизированном режиме получить матрицы инцидентности, диаграммы Ганта, автоматизировано оттранслировать или откомпилировать их в исполняемые (на языках C++, Visual Basic) приложения, т.е. реализовать и развивать информационную среду, поддерживающую новую организацию подготовки кадров. Все это позволяет привести образовательный процесс в соответствие с CALS-технологией обеспечения всех стадий жизненного цикла изделий определенных классов.

Изменения в организации учебного и научного процессов не могут не затронуть основные организационные структуры университета. Современные информационные и коммуникационные технологии предполагают сопровождать реорганизацию (реинжиниринг) процессов стандартизованным набором формализованных IDEF (или UML) - моделей. Среди них сетевые структуры, которые в данном случае изображаются как функционально-структурные единицы деятельности технических университетов. При этом также возможны различные варианты. Наиболее заслуживающий внимания вариант приведен в работе [Емельянов, Тарасов 2002: 87-94]. В ней в качестве базовых сетевых организаций высшего технического образования предлагаются *распределенные, расширенные и виртуальные кафедры*, которые разделяются по виду узлов сети и уровню их кооперации и координации. В этой работе введено понятие «*виртуальная кафедра*». По