

УДК 004.78.621.452:681.5

Г. И. ПОГОРЕЛОВ, Б. К. ГАЛИМХАНОВ, К. А. РИЗВАНОВ

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ИСПЫТАНИЙ ГТД НА ОСНОВЕ CALS-ТЕХНОЛОГИЙ

Предложен подход к формированию структуры модели жизненного цикла (ЖЦ) газотурбинного двигателя (ГТД) на основе интеграции в нее модели ЖЦ системы автоматического управления контролем и диагностики (САУКиД). Показано, что структуры производственных и технологических процессов создания и испытания САУКиД и самих ГТД эквивалентны и реализуются параллельно, если их рассматривать в функциональном аспекте. Проводится оценка адекватности предлагаемой структуры ЖЦ на примере совместного проекта, реализуемого НПП «Мотор» и УНПП «Молния». Газотурбинный двигатель; жизненный цикл ГТД; жизненный цикл САУКиД; распределенное хранилище данных; CALS-технологии

Анализ информационных пространств предприятий, участвующих в разработке, производстве и эксплуатации газотурбинных двигателей (ГТД), показывает, что их деятельность достаточно глубоко компьютеризирована и формализована [1].

В структуру указанных пространств, как правило, входят [2]:

- электронные унифицированные коммуникации;
- объектно-программные средства, организованные в CAD/CAM/CAE технологии и в PDM(PLM)-системы;
- объектно-программные средства, обеспечивающие планирование и управление ресурсами при производстве и эксплуатации, — ERP-системы;
- логистические системы и др.

Наличие указанных средств, формирующих электронное пространство, позволяет создавать различные модели жизненного цикла (ЖЦ) как объективное отображение сложившихся технологических процессов и взаимосвязей на различных стадиях проектирования, производства и эксплуатации. В такой постановке существует множество моделей ЖЦ ГТД, которые с разной степенью адекватности соответствуют реальным ЖЦ.

Отметим, что управление ЖЦ ГТД может эффективно осуществляться только на основе его адекватной модели. Поэтому задача создания модели ЖЦ как адекватного описания эволюционно сложившихся отношений и взаимосвязей между организациями, отве-

чающих заданным требованиям формализации как необходимого условия автоматизации, является актуальной.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ОБЩИХ ПРИНЦИПОВ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУР ЖЦ

Модели ЖЦ ГТД, их узлов, их систем являются многоаспектными и многоуровневыми, например, ЖЦ ГТД можно представить следующей иерархической структурой (рис. 1).

На верхнем уровне, как правило, раскрывают структуру ЖЦ ГТД, которая включает:

- конструирование;
- производство опытных образцов и их доводку;
- серийное производство;
- эксплуатацию;
- модернизацию;
- утилизацию.

На втором уровне детализации, как правило, раскрывают структуру производства опытного образца и доводку ГТД следующей подструктуры:

- производство опытного образца;
- проведение экспериментальных исследований в виде опытных испытаний;
- внесение изменений;
- проверка на соответствие заданным техническим требованиям и др.



Рис. 1. Структура модели ЖЦ ГТД

На третьем уровне детализации представляют процесс создания опытного образца в виде следующей структуры:

- разработка конструкторской документации;
- разработка технологической документации;
- доработка конструкторско-технологической документации;
- разработка различных программ, связанных с последующим производством опытного образца и проведением испытаний.

По приведенным выше признакам можно сформировать структуру указанных этапов ЖЦ, которые связаны, прежде всего, непосредственно с разработкой основных узлов ГТД.

В то же время подобным образом можно определить структуру ЖЦ САУКиД ГТД. Здесь надо сразу отметить, что до сегодняшнего дня, как правило, эти две структуры формировались автономно. По появлению концепции электронных САУКиД с полной ответственностью типа FADEC позволило объединить в одну структуру ГТД, систему управления, систему контроля и систему диагностики. Поэтому целесообразно построить интегрированную модель, т. е. определить структуру ЖЦ для такой комплексной системы типа FADEC. Основные этапы такой мо-

дели ЖЦ для комплексной САУКиД будут включать в себя:

- разработку опытного образца;
- доводку этой системы на полунатурных стендах разработчика;
- доводку на двигательных стендах и на самолете.

Анализ различных структур и принципов построения моделей ЖЦ ГТД с системами типа FADEC приводит к тому, что целесообразно разработать интегрированную структуру ЖЦ ГТД и САУКиД их информационных взаимодействий. Рассмотрим следующий новый принцип построения интегрированной структуры, которая включает в себя следующие этапы:

- доводку САУКиД ГТД;
- интеграцию этой структуры ЖЦ САУКиД в ЖЦ ГТД.

Будем рассматривать, прежде всего, этапы, связанные с испытанием САУКиД, и этапы испытания и доводки самого ГТД.

Исходя из предложенного принципа, можно разработать модель, которая может детализировать процессы. Очевидно, что для того чтобы сохранить процессный подход, необходимо, чтобы эти этапы были взаимосвязаны.

Решение этой задачи рассмотрим в следующей последовательности.

Анализ организационной схемы создания, испытания и эксплуатации самолета и, соответственно, двигателя показывает, что в современных условиях эта схема имеет тенденцию к развитию в форме сетевой структуры. На рис. 2 приведена такая структура, где в явной форме определены параллельные и обратные связи в контурах организации и управления.

Эффективность такой организационной структуры определяется, прежде всего, развитостью и эффективностью информационных потоков, на основе которых могут приниматься управленческие решения.

Переход от бумажной технологии к электронной реализации информационных потоков встречает ряд принципиальных трудностей:

- размывается прямая ответственность при производстве, эксплуатации и ремонте авиационной техники, так как система авторизации требует применения электронных подписей и другое;

- гетерогенность информационной среды при применении электронных каналов;

- проблема размерности информационных потоков при эксплуатации;

- проблема, связанная с необходимостью первичной обработки информации в местах ее образования;

- проблема организации электронных архивов для хранения.

Известны три подхода к решению указанных проблем [3], которые можно продемонстрировать на примере верхнего уровня организации обработки информации в процессе испытаний и эксплуатации:

1. Организуется и реализуется инженерный центр (ИЦ) для мониторинга и обработки информации непосредственно на борту воздушного судна. Такие решения характерны для больших самолетов. В ИЦ также сосредотачивается необходимая нормативная, методическая и текущая информация.

2. Создается распределенная система получения, хранения, передачи и обработки информации. В этом случае промышленный ИЦ может располагаться на базах эксплуатации, в которых производится частичная обработка информации и далее передается в ИЦ, где отслеживается состояние ГТД.

3. Как правило, на основе указанных двух подходов формируется комплексная система, объединяющая оба подхода.

Основой совместимости электронной информации при мониторинге, анализе, пе-

редаче и хранении информации являются стандарты CALS-технологий [4]. CALS — Continuous Acquisition and Life Cycle Support — непрерывная информационная поддержка ЖЦ изделия в проектной, производственной, эксплуатационной и других средах. Она выполняется в ходе ЖЦ продукта за счет информационной интеграции и преемственности информации, порождаемой на всех этапах жизненного цикла. В основе CALS-технологий лежат интегрированные информационные модели самого объекта (изделия) проектирования, производства, испытания и эксплуатации и выполняемых в его ходе бизнес-процессов. Возможность совместного использования информации обеспечивается применением компьютерных сетей и стандартизацией форматов данных, обеспечивающей их корректную интерпретацию.

$$CALS = \begin{cases} - \text{Модель_ЖЦ_объекта_производства_}(\text{испытаний}) \\ - \text{Модель_объекта_испытаний} \\ - \text{Модель_производственной_среды_}(\text{окружения}) \end{cases}$$

Целью применения CALS-технологий как инструмента организации и информационной поддержки всех участников создания, производства и пользования продуктом является повышение эффективности их деятельности за счет ускорения процессов исследования и разработки продукции, сокращения издержек в процессах производства и эксплуатации продукции, использования параллельного проектирования, повышения уровня сервиса в процессах ее эксплуатации и технического обслуживания. Концепция CALS определяет набор правил, регламентов, стандартов, в соответствии с которыми строится информационное электронное взаимодействие участников процессов проектирования, производства и испытаний [5, 6].

Для того, чтобы приспособить конструкторско-технологическую информацию для эффективного поиска, обработки на ЭВМ и передачи по каналам связи, ее необходимо представить в цифровом виде. С этой целью ее нужно сначала упорядочить или классифицировать, а затем формализовать или закодировать с использованием классификатора.

Указанные выше аспекты составляют основу организационно-функционально-информационного пространства при проектировании, создании и эксплуатации ГТД, а с учетом предложенного подхода и САУКиД, по состоянию.

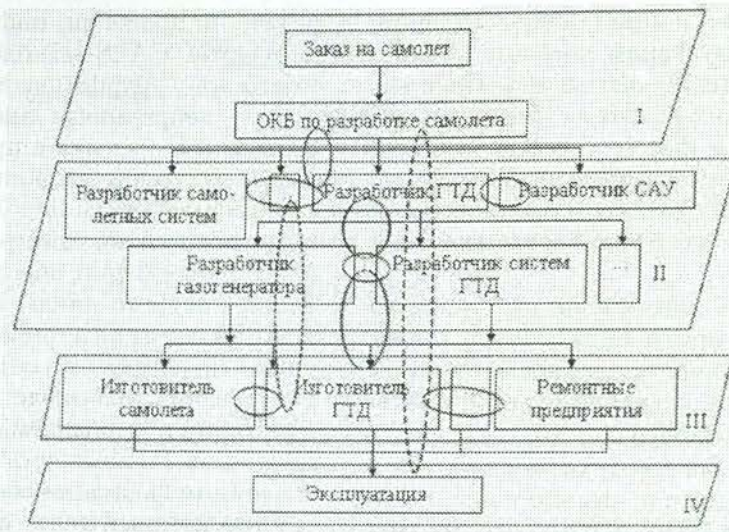


Рис. 2. Организационная структура создания авиационного ГТД

Существуют технологии построения моделей, основанные на принципе «сверху-вниз» и определяемые стандартами ГОСТ Р 50.1.027.2001 — ГОСТ Р 50.1.032-2001, ГОСТ Р ИСО 10303 и др. В соответствии с данной технологией вначале строятся структурные модели, определяемые с применением различных мнемоязыков. Такие модели называются объектными моделями. Затем эти модели формализуются до функциональных и информационных моделей с применением известного программного инструментария BPWin и ERWin [7]. Декомпозиция процесса проведения испытания ГТД представлен на рис. 3.

Основная структура информационных потоков и правила управления ими закладывается на этапе проектирования и доводки ГТД и его систем, в первую очередь САУКиД. Далее по принципам CALS данная структура разветвляется и развивается в соответствии с требованиями последующих этапов изготовления и эксплуатации. Формирование информационных потоков является важной проблемой. Поэтому задача создания структуры информационных потоков на этапах создания ГТД и САУКиД является основополагающей. В первую очередь необходимо на теоретико-множественном языке описать информационную структуру как начало формирования хранилища данных (ХД).

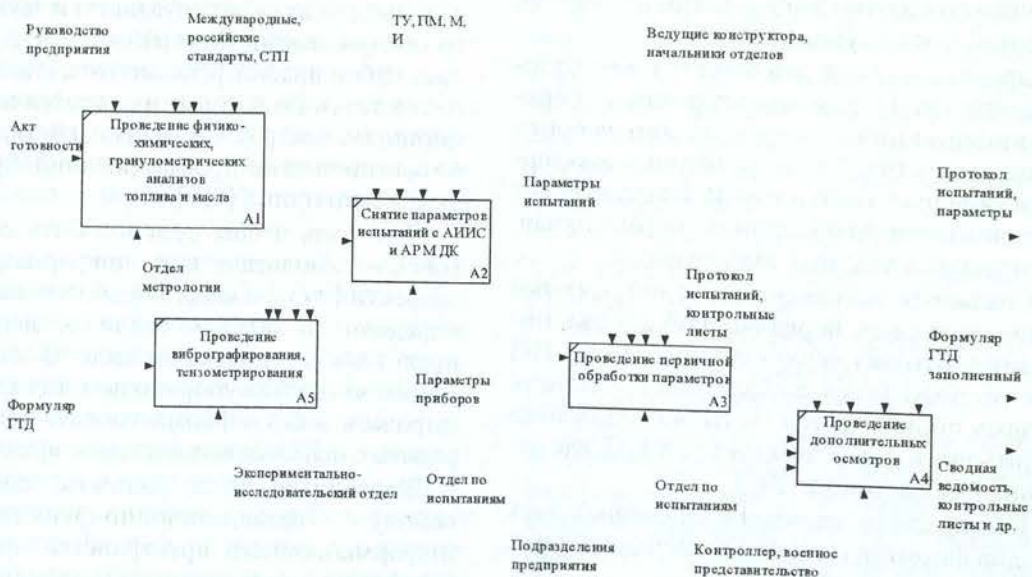


Рис. 3. Декомпозиция процесса проведения испытаний ГТД

2. АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К ИНФОРМАЦИОННЫМ ПОТОКАМ ИСПЫТАНИЙ САУКиД И ГТД

Анализ современных технологий испытаний электронных систем автоматического управления, контроля и диагностики (САУКиД) ГТД на полунатурных стендах, на стендах с реальным двигателем и на самолете показывает, что они могут быть интегрированы в сквозную комплексную технологию испытаний на основе имитации (полунатурного моделирования) основных, контрольных, диагностических, сервисных и других функций.

Для решения этой задачи можно использовать полунатурные стенды, применяемые разработчиком для испытания САУКиД. В табл. 1 приведена количественная характеристика этапов ЖЦ создания ГТД по экспертным оценкам.

Таблица 1

	Полунатурный стенд	Двигательный стенд	Серийный стенд	Эксплуатация
Количество имитируемых функций, %	95	65	35	5
Полнота контроля функциональных систем ГТД, %	5	35	65	95

На рис. 4 представлена количественная характеристика имитации количества функций и степени полноты контроля.



Рис. 4. Количественная характеристика имитации количества функций и степени полноты контроля

Методически и алгоритмически это можно сделать путем создания комплексной информационной системы испытаний на основе интегрированного ХД.

Можно выделить три магистральных потока информации:

1) $(ДУ)_1 = \text{двигатель} + \text{САУ} \subseteq \text{математическая модель} + \text{формуляр двигателя} + \text{ХД}$;

2) $(ДУ)_2 = \text{двигатель} + \text{САУ} \subseteq \text{стендовая система}$;

3) $(ДУ)_3 = \text{двигатель} + \text{САУ} \subseteq \text{эксплуатация (самолет, объект)}$.

$$\text{ГХД} = (ДУ)_1 \cup (ДУ)_2 \cup (ДУ)_3,$$

где ГХД — гетерогенное хранилище данных.

Все магистральные потоки информации консолидируются в распределенном ХД, которое предполагает:

1) Пространственное распределение баз данных, т. е. отдельные локальные БД могут располагаться в ОКБ, на заводе-изготовителе и в эксплуатирующей организации;

2) Логическое распределение информации, т. е. данные могут быть классифицированы и структурированы по различным признакам:

- по типу самолета;

- по типу двигателя и др.;

3) ХД является гетерогенным, т. е. оно может использовать в своем составе:

- различные виды вычислительной техники для хранения и обработки информации;

- различные форматы представления данных;

- различные системы интерпретации и обработки и др.

Основными принципами формализации информации, связанной с системы испытаниями является следующее:

1) Принцип эволюции. Существующие ранее (в ручном виде) методы и системы разработки, хранения и применения технической информации, в т. ч. информации, связанной с испытаниями, должны быть интегрированы в распределенное ХД.

2) На этапе создания и внедрения электронной системы испытаний должны функционировать обе системы, дополняя друг друга и исключая противоречия.

3) Все процессы, связанные с испытаниями, должны отвечать требованиям CALS, т. е. все процессы должны моделироваться и представляться в структуре ЖЦ.

Информация в каждом из магистральных потоков концептуальной схемы может быть классифицирована по временному критерию

$$\text{Временной критерий} = \begin{bmatrix} \text{Время_создания} \\ \text{Время_применения} \\ \text{Частота_создания} \\ \text{Частота_применения} \end{bmatrix}$$

Временной критерий можно записать в виде вектора $[t_1 \ t_2 \ \nu_1 \ \nu_2]$, где t_1 — время создания информации, t_2 — время применения информации, ν_1 — частота создания информации, ν_2 — частота применения информации.

Все процессы, связанные с испытаниями, должны системно выстраиваться в последовательность этапов ЖЦ, определяющую тот или иной процесс испытаний.

Оперативная информация на этапе стендовых испытаний определяется двумя системами:

- непосредственно от ГТД и САУКиД;
- об окружающей среде и внешних системах — стендовой системой.

С целью адекватности результатов испытания САУКиД на полунатурном стенде разработчика САУКиД и на двигательных стендах необходима и аппаратная адаптация по функциям. Если двигательные функции, имитируемые на полунатурном стенде, осуществляются реальным двигателем, то функции взаимодействия с подсистемами самолета и внешней средой остаются имитирующими (как на полунатурном стенде). Кроме того, могут быть унифицированы функции передачи, регистрации и первичного анализа информации. Таким образом, часть функций полунатурного стенда необходимо адаптировать и унифицировать для двигательного стенда в виде информационно-моделирующих систем и устройств, например, автоматизированных рабочих мест контроля и диагностики (АРМ ДК). АРМ ДК унифицирует функции передачи, регистрации и первичного анализа информации САУКиД. Функции интеграции и синхронизации этой информации с информацией от стендовых систем выполняет автоматизированная информационная измерительная система (АИИС).

Для унификации и адаптации функций АРМ ДК для двигательного стенда необходимо определить требования по унификации системного и прикладного программного обеспечения (ПО) как с полунатурным стендом, так и с интегрированной стендовой системой.

Это реализуется с помощью известных технологий совмещения различных форматов данных, конвертирования и синхронизации данных. Системное ПО должно удовлетворять требованиям интеграции в окружающие компьютерные сети, используемые для организационного управления (ERP-системы и др.), в системы создания конструкторско-технологической документации (CAD-CAM), системы АСУТП (SCADA) и другие.

3. ОБЩАЯ СТРУКТУРА АРМ ДК ДЛЯ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ГТД

Наличие структурированной и формализованной информационной модели позволяет эффективно организовать проведение стендовых испытаний ГТД и анализа результатов по следующей схеме:

1) Организация работ по координации всей необходимой документации, включающей в себя методическое обеспечение для подготовки к испытаниям в автоматизированном режиме и состоящей из:

- разработки технических условий на проведение испытаний;
- разработки календарного плана и ресурсного и информационного обеспечения проведения испытаний;

• анализа готовности стенда, включая АРМ ДК и АИИС, к проведению испытаний.

2) Информационное сопровождение испытаний, наполнение БД испытаний.

3) Организация доступа к БД и обработка данных с помощью автоматизированных методик и алгоритмов.

4) Информационная поддержка для коллективного анализа результатов, организация доступа к результатам испытаний.

Функциональная структура АРМ ДК представлена на рис. 5.



Рис. 5. Функциональная структура АРМ ДК для ГТД на этапе испытания

АРМ ДК обеспечивает:

- регистрацию и отображение информации, полученной от электрошпильной системы управления (ЭСУ), на стационарных и переносных режимах в реальном масштабе времени;
- вывод на печать таблиц, графиков, визуализацию приборов в реальном масштабе времени;
- настройку и контроль ЭСУ на двигателе;
- информационное обеспечение работы ЭСУ при испытании двигателя на стенде;
- имитацию информационного взаимодействия с бортовыми системами самолета;

- передачу информации в АИИС для организации единого протокола в реальном масштабе времени;
- прием, преобразование и запись информации, получаемой от ЭСУ по каналам информационного обмена в реальном масштабе времени;
- формирование и хранение в БД информации, полученной от ЭСУ при испытаниях, результатов ее обработки для анализа работы и диагностики двигателя;
- вывод информации о результатах работы встроенной системы контроля ЭСУ на средства индикации и документирования в виде электронных протокола и формуляра.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренный подход позволяет сделать вывод о том, что на основе формализации потоков нормативной, конструкторско-технологической, оперативной и параметрической информации при испытаниях ГТД возможна интеграция модели ЖЦ САУКиД в структуру модели ЖЦ ГТД, в результате которой появляется возможность эффективно организовывать проведение испытаний ГТД и осуществлять анализ результатов. Речь идет о создании относительно универсального подхода к формированию информационной поддержки испытаний ГТД, отвечающей требованиям CALS. В дальнейшем планируется изучение организации в АИИС хранения, поиска и передачи информации, чтобы в дальнейшем унифицировать и адаптировать функции интеграции и синхронизации информации, получаемой от САУКиД и ГТД, и в дальнейшем выйти на уровень конкретных рекомендаций, позволяющих осуществлять контроль и диагностику ГТД, и обеспечивающих прослеживаемость информации в течение всего ЖЦ ГТД и САУКиД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Норенков, И. П.** Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии / И. П. Норенков, П. К. Кузьмик. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 320 с.
2. **Колчин, А. Ф.** Управление жизненным циклом продукции / А. Ф. Колчин, М. В. Овсянников, А. Ф. Стрелков [и др.]. М.: Анахархис, 2002. 304 с.
3. **Gumerov, H. S.** Organizational-Functional model of operation aviation the gas and turbine engine on its condition / H. S. Gumerov, G. G. Kulikov, K. A. Rizvanov // Bashkir-Saxon Forum. Ufa, 2006. P. 1-7.

4. **CALS.** Научно-исследовательский центр CALS-технологий «Прикладная логистика» [Электронный ресурс]. <http://www.cals.ru>.
5. **Гумеров, Х. С.** Системная модель информационной поддержки длительных испытаний и эксплуатации газотурбинного двигателя на основе показателя остаточного ресурса / Х. С. Гумеров, Г. Г. Куликов, К. А. Ризванов // Исследования и перспективные разработки в авиационной промышленности: сб. тр. 3-й науч.-практ. конф. молодых специалистов и ученых. 2005. С. 583-586.
6. **Куликов, Г. Г.** Информационная система определения основных параметров, влияющих на ресурс газотурбинных энергетических установок / Г. Г. Куликов, К. А. Ризванов // Интеллектуальные системы обработки информации и управления: сб. тр. Рег. зимн. шк.-сем. аспирантов и молодых ученых. Уфа: УГАТУ, 2006. Т. 1. С. 38-45.
7. **Ризванов, К. А.** О разработке информационной модели процесса проведения испытаний газотурбинного двигателя / К. А. Ризванов // Матер. III Всерос. науч.-техн. конф. молодых специалистов, инженеров и техников, посвященной годовщине образования ОАО «УМПО». Уфа, 2007. С. 118-119.

ОБ АВТОРАХ



Погорелов Григорий Иванович, зам. ген. дир. ФГУП УНПП «Молния». Канд. техн. наук по автоматиз. и упр. технол. процессами и производствами (УГАТУ, 2002). Иссл. и разр. в обл. информ.-управл. систем.



Галимханов Булат Князевич, доцент каф. АД. Дипл. инж.-мех. по авиац. двигателям (УАИ, 1971). Канд. техн. наук (УАИ, 1983). Иссл. в обл. прочности авиационных конструкций.



Ризванов Константин Анварович, аспирант каф. АСУ. Дипл. инж.-прогр. (УГАТУ, 1999). Дипл. эконо. матем. (УГАТУ, 2000). Готовит дис. по автоматиз. информ. системе испытаний ГТД.