

**На правах рукописи**

**РИЗВАНОВ Константин Анварович**

**ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ  
ПРОЦЕССОВ ИСПЫТАНИЙ ГТД НА ОСНОВЕ  
ОРГАНИЗАЦИОННО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ  
МОДЕЛИ**

**Специальность 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими  
процессами и производствами (в промышленности)**

**АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

**Уфа 2008**

Работа выполнена в ГОУ ВПО

«Уфимский государственный авиационный технический университет»  
на кафедре автоматизированных систем управления  
и во ФГУП «Научно-производственное предприятие «Мотор»

Научный руководитель: д-р техн. наук, проф., засл. деят. науки РФ  
**Куликов Геннадий Григорьевич**

Официальные оппоненты: д-р техн. наук, проф.  
**Лютов Алексей Германович**  
канд. техн. наук, с.н.с.  
**Заянчковский Юрий Иванович**

Ведущее предприятие: ФГУП «Уфимское научно-производственное  
предприятие «Молния»

Защита диссертации состоится 15 декабря 2008 г. в 14<sup>00</sup> часов  
на заседании диссертационного совета Д-212.288.03  
при Уфимском государственном авиационном техническом университете  
по адресу: 450000, г. Уфа – центр, ул. К. Маркса, 12, УГАТУ

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета

Автореферат разослан 15 ноября 2008 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
д-р техн. наук, проф.

**В.В. Миронов**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы

Можно отметить, что в авиационной индустрии испытания газотурбинного двигателя (ГТД) проводятся с применением передовых информационных технологий. Информационные пространства предприятий, участвующих в разработке, производстве и эксплуатации ГТД в настоящее время достаточно полно структурированы и компьютеризированы.

Особый интерес представляет разработка информационной системы организационно-функциональной поддержки процессов испытаний ГТД. В ее основе лежит идея информационной интеграции стадий жизненного цикла (ЖЦ) ГТД и системы автоматического управления, контроля и диагностики (САУКиД). Информационную интеграцию можно осуществлять на положении, что все автоматизированные системы, применяемые на различных стадиях ЖЦ, будут оперировать не с традиционными документами, а с формализованными документированными информационными моделями, описывающими процессы создания и испытаний ГТД и САУКиД.

Вместе с тем в ходе практического применения таких решений встречаются существенные трудности информационно-технологического плана. Во-первых, сложность процесса проведения испытания ГТД, начиная от подготовки технической документации до обработки результатов испытаний, связанная с большими материальными затратами и требующая высокой точности получения и обработки результатов. Во-вторых, до сегодняшнего дня две системы: система автоматического управления (САУ) со своей встроенной системой контроля и система контроля и диагностики состояния ГТД разрабатывались автономно. Но появление концепции электронных систем с полной ответственностью типа FADEC позволило объединить в одну структуру систему управления, систему контроля и систему диагностики ГТД.

Отмеченные проблемы требуют разработки научно обоснованных методов построения интегрированной модели, т.е. определения структуры ЖЦ для комплексной системы САУКиД типа FADEC и ЖЦ ГТД. Целесообразно разработать структуру ЖЦ объединения САУКиД и этапов ЖЦ, связанного непосредственно с разработкой, созданием и испытанием самого ГТД по признакам их информационных взаимодействий.

В ходе поиска путей решения этой проблемы было предложено развивать методы CALS-технологий, как инструмента организации и информационной поддержки всех участников создания, производства и эксплуатации ГТД и его систем, направленных на повышение эффективности работ за счет координации и ускорения организационных и производственных процессов.

Интегрированная информационная среда представляет собой совокупность распределенных гетерогенных хранилищ информации, в которых действуют стандартные правила обработки, хранения, обновления, поиска и передачи информации, через которые осуществляется “безбумажное” информационное взаимодействие между всеми этапами ЖЦ как ГТД, так и его САУКиД.

Указанный подход представляется новым в организации взаимодействия всех участников создания и испытания ГТД и САУКиД на основе явной модели ЖЦ и будет соответствовать концепции процессного управления.

Методы по CALS-технологиям в области двигателестроения представлены в работах научных школ: ЦИАМ, ЛИИ, НИИАД, МАИ, УГАТУ и других.

Можно также отметить работы ученых, внесших определенный вклад в теорию моделирования ГТД, их САУ в процессах проектирования, испытаний и эксплуатации:

- в УГАТУ – А.М. Ахметзянова, И.А. Кривошеева, Г.Г. Куликова и других;

- в области систематизации процессов организационного управления – С.А. Думлера, И.В. Прангишвили, А.В. Речкалова и других;

- в области теоретических вопросов организации АСУ – В.М. Глушкова, А.Г. Мамиконова, В.В. Кульбу, И.Ю. Юсупова, Г.Г. Куликова и других.

Таким образом, в целом проблема разработки информационной системы организационно-функциональной поддержки процессов испытаний ГТД является сложной, требующей проведения системных исследований на основе знаний, полученных различными научными школами.

**Цель диссертационной работы:** разработка информационной системы организационно-функциональной поддержки процессов испытания ГТД совместно с САУКиД, как подсистемы CALS-технологии, обеспечивающей повышение качества, эффективности и надежности создаваемых двигателей.

**Задачи исследования.** Для достижения цели работы поставлены и решены следующие задачи:

1. Разработать архитектуру системы управления потоками организационной, нормативной, конструкторско-технологической, оперативной и параметрической информации при испытаниях ГТД и их САУКиД на основе организационно-функциональной модели предприятия.

2. Разработать структурно-логическую модель распределенного гетерогенного хранилища данных для испытаний ГТД, отвечающую требованиям CALS.

3. Разработать автоматизированную подсистему информационной поддержки для сбора и анализа результатов испытаний, данных эксплуатации для оценки и прогноза состояния ГТД.

4. Разработать модель интеграции автоматизированной подсистемы испытаний ГТД в единое информационное пространство предприятия.

**Методика исследования.** При решении задач использованы принципы и методы теории систем и системного анализа, объектно-ориентированного программирования, теории множеств и методы проектирования автоматизированных систем управления организационными системами.

**Результаты, выносимые на защиту:**

1. Формализованная архитектура системы представления и управления потоками организационной, нормативной, конструкторско-технологической, оперативной и параметрической информации при испытаниях ГТД на основе организационно-функциональной модели предприятия.

2. Структурно-логическая модель распределенного гетерогенного хранилища данных испытаний ГТД, основанная на классификации информации по структуре ЖЦ и отвечающая требованиям CALS.

3. Методика автоматизированного получения и представления результатов испытаний и эксплуатации для оценки и прогноза состояния ГТД по его газодинамическим параметрам.

4. Модель интеграции автоматизированной подсистемы испытаний ГТД в единое информационное пространство предприятия.

#### **Научная новизна и достоверность результатов:**

1. Архитектура информационной системы, отличающаяся от существующих тем, что с целью обеспечения гибкости построения, открытости, система строится в форме иерархии на основе организационно-функциональной модели и при этом интегрируется с системами управления процессом испытаний и планирования.

2. Структурно-логическая модель распределенного гетерогенного хранилища данных, отличающаяся от существующих тем, что с целью интегрирования информации, распределенное гетерогенное хранилище данных испытаний ГТД основано на классификации и условиях интеграции информации, получаемой с математической модели, со стенда при испытаниях ГТД и с эксплуатации в соответствии с жизненными циклами (ЖЦ) ГТД и его САУКиД и требованиями CALS.

3. Методика автоматизированного получения и анализа данных испытаний, отличающаяся от существующих тем, что с целью повышения эффективности проведения испытания ГТД разработано программное обеспечение, интегрированное в информационную подсистему испытаний, позволяющее повысить степень автоматизации процесса получения и анализа данных испытаний и соответственно повысить эффективность испытаний.

4. Модель интеграции, отличающиеся от существующих тем, что на их основе открывается возможность формирования базы прецедентов. При этом использован принцип формализации эволюционно сформировавшихся функциональных структур и синтез структур для автоматизированных процессов их выполнения.

**Значение результатов для теории** организации АСУ заключается в том, что они расширяют знание того, как эффективно осуществлять поддержку процессов испытаний ГТД на основе организационно-функциональной модели.

**Значение результатов для практики** разработки информационной системы поддержки процессов испытаний ГТД состоит в том, что она позволяет повысить эффективность процессов контроля и диагностики ГТД и соответственно повысить надежность ГТД.

**Практическая ценность и внедрение результатов.** Практическую ценность работы составляют:

1) система организации хранения и доступа к иерархии моделей и БД испытаний в электронном виде (ФГУП “НПП “Мотор”);

2) программное обеспечение, разработанное на языке С++, для обработки данных испытаний и организация доступа к ним (ФГУП “НПП “Мотор”);

3) система обмена данных с АРМ ДК (инструкция), методика применения АРМ ДК (ФГУП УНПП “Молния”);

4) организационно-функциональные модели, применяемые в учебном процессе в УГАТУ.

#### **Связь темы диссертации с плановыми исследованиями**

Диссертационное исследование проведено в рамках НИР в Уфимском государственном авиационном техническом университете, в НПП “Молния” и НПП “Мотор”, а также в рамках проекта: «Развитие моделей, методов и средств создания и использования в учебной и научной деятельности информационных ресурсов и образовательных технологий на основе виртуальных коллективов (в процессе проектирования авиационных ГТД нового поколения)» в рамках аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2006-2008 годы)».

**Апробация работы.** Основные положения диссертации и результаты исследований докладывались на следующих всероссийских и международных конференциях:

- Третьей и четвертой Научно-практических конференциях молодых специалистов и ученых “Исследования и перспективные разработки в авиационной промышленности”, Москва, 2005, 2007 гг.;

- Региональной зимней школы – семинара аспирантов и молодых ученых “Интеллектуальные системы обработки информации и управления”, Уфа, 2006 г.;

- Bashkir-Saxon Forum «Information Technologies and Mathematical Methods of Investigation in Economics», Ufa, 2006;

- Третьей и четвертой Всероссийских научно-технических конференциях молодых специалистов, инженеров и техников, посвященных годовщине образования ОАО “УМПО”, Уфа, 2007, 2008 гг.;

- Международных научно-практических конференциях «Computer Science & Information Technology, CSIT 2007», Уфа, УГАТУ, CSIT 2008, Анталия, Турция.

#### **Публикации:**

По теме диссертации опубликовано 8 работ, в том числе 1 из списка, рекомендованного ВАК.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, основных результатов и выводов, списка литературы, содержит 154 листа машинописного текста и включает 48 рисунков, 15 таблиц, 126 наименований использованных литературных источников.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** дается общая характеристика работы: цель исследований, актуальность решаемых задач, определяется научная новизна и практическая значимость защищаемых результатов.

В **первой главе** исследуются и анализируются существующие схемы построения информационных архитектур предприятия, исследуются и анализируются существующие схемы организации создания и эксплуатации ГТД, структура информационных потоков. Исследуются структуры организационно-функциональной и информационной моделей процессов получения и применения информации о двигателе. Формируются требования по координации и унификации информационных потоков для оценки технического состояния ГТД.

Отмечается, что сегодня большинство аналитиков и руководителей начинают испытывать потребность в комплексном описании и планировании развития предприятий. При этом, задачи, связанные с проектированием и построением информационных систем, вызывают наибольший интерес. Существует множество подходов к решению этих задач. Большинство подходов опирается на инструментальные средства, позволяющие автоматизировать создание информационной системы. Поэтому деятельность такого рода получила название CASE. Задача по созданию информационной системы делится на несколько подзадач. Это разделение зависит от применяемого подхода, но в любом из них всегда присутствуют два действия:

- сбор информации и моделирование бизнеса;
- построение архитектуры будущей системы.

При моделировании бизнеса, как правило, рассматриваются три аспекта:

- объекты, которыми оперирует бизнес;
- процессы, которые он выполняет;
- события, управляющие изменениями процессов и объектов.

Значительный вклад в развитие концепции информационной архитектуры предприятия был сделан Дж. Захманом. Модель Захмана основана на дисциплине классической архитектуры и обеспечивает общий словарь и набор перспектив, или структур для описания современных сложных корпоративных систем. Использование интегрированной схемы дает возможность применять ее на всех этапах жизненного цикла (ЖЦ) системы для формирования точек зрения всех участников CASE-проекта, причем каждый участник или группа участников проекта получают четкое представление о том, что от них требуется. Построение модели Захмана для авиационных предприятий позволяет обеспечить понимание архитектуры информационной системы для создания ГТД на разных стадиях разработки и с точки зрения разных участников проекта. Для этого проводится анализ информационных структур пространств предприятий, участвующих в разработке, производстве и эксплуатации газотурбинных двигателей (ГТД), показывает, что их деятельность достаточно полно формализована и компьютеризирована.

Структуру указанных информационных пространств, как правило, определяют:

- структуры электронных унифицированных коммуникаций;
- 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 другие.

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

В этом множестве можно выделить наиболее эффективные модели 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 как между организациями, так и в одной организации, отвечающих заданным требованиям формализации как необходимого условия автоматизации, является актуальной.

Анализ организационно-функциональной структуры создания и эксплуатации самолета и соответственно двигателя в современных условиях имеет тенденцию развития в форме сетевой структуры (рис. 1), в которой в явной форме определяются параллельные горизонтальные контуры и контуры с обратной связью. Эффективность такой организационной структуры определяется, прежде всего, развитостью и эффективностью информационных потоков, на основе которых могут строиться информационные связи.

Одним из основных аспектов организации информационных связей и соответствующих им информационных потоков являются потоки с оперативной информацией о состоянии конкретных экземпляров самолетов и соответственно двигателей. Оперативные данные о состоянии двигателя на этапе создания и производства определяются, прежде всего, данными, полученными при испытаниях. В эксплуатации данными, эквивалентными испытаниям, являются параметры работы двигателя в эксплуатации.

Анализ существующих схем организации эксплуатации ГТД в составе самолета показывает, что линейно-штабная схема организации теряет свою эффективность. Это объясняется тем, что появляется возможность непрерывного мониторинга состояния ГТД в течение его ЖЦ, в том числе эксплуатации и ремонта ГТД по его состоянию. В функциональном аспекте начинают преобладать технологии ремонта и восстановления ГТД на основе сменной модульности, когда в случае неисправности происходит замена конструктивного модуля, который затем отправляется на ремонт в специализированные предприятия. При этом предполагается, что с помощью непрерывного мониторинга во время эксплуатации определяется и состояние ГТД в целом. Соответственно это определяет и новую схему организации управления (снабжением запасными ресурсами).



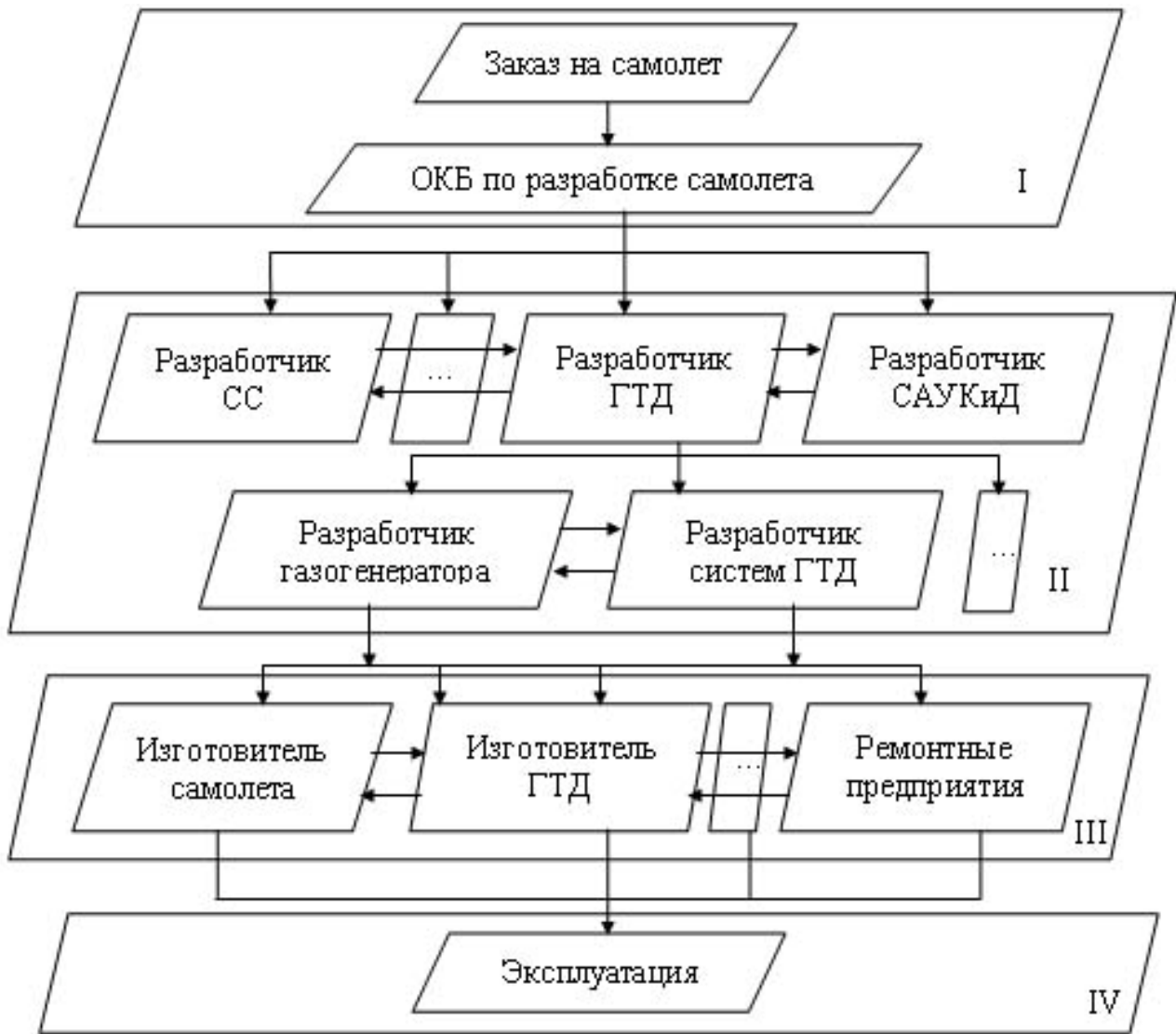


Рисунок 1 – Организационно-функциональная структура создания и эксплуатации ГТД

Вторым фактором является то, что эксплуатация и ремонт, как правило, организуется и управляется, и в какой-то части производится производителем и разработчиком ГТД.

Третьим фактором является необходимость электронного информационного сопровождения основных этапов создания, эксплуатации и ремонта. Здесь наблюдается наибольшее обеспечение электронизации процессов мониторинга и документирования.

Основой совместимости электронной информации при мониторинге, анализе, передаче и хранении информации являются стандарты CALS систем. CALS – Continuous Acquisition and Life Cycle Support – непрерывная информационная поддержка ЖЦ или продукта. Она выполняется в ходе ЖЦ продукта за счет информационной интеграции и преемственности информации, порождаемой на всех этапах жизненного цикла.

Концепция CALS определяет набор правил, регламентов, стандартов, в соответствии с которыми строится информационное электронное взаимодействие участников процессов проектирования, производства и испытаний. На рис.

2 приведена типовая мнемосхема организации эксплуатации по состоянию ГТД для самолета, полученная путем формализации эволюционно сложившейся организационной структуры реального предприятия.

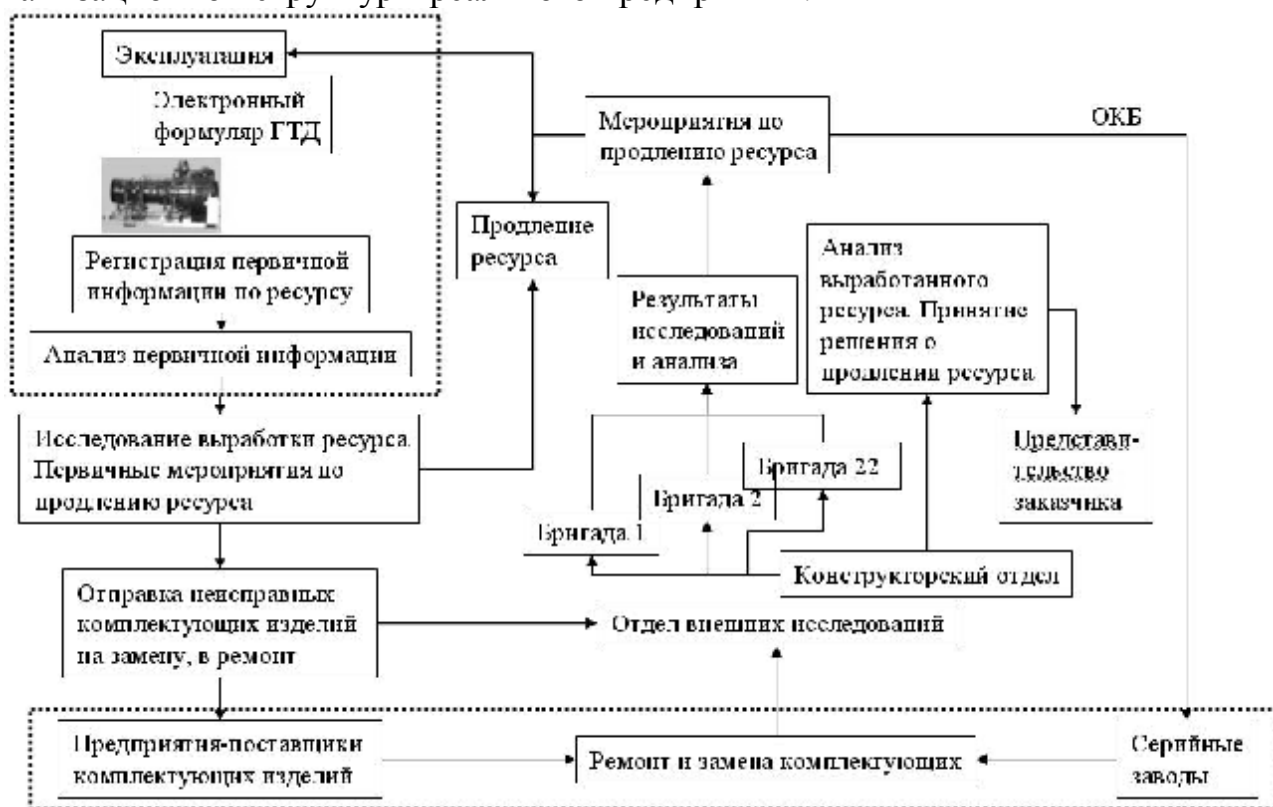


Рисунок 2 – Схема организации эксплуатации по состоянию ГТД для самолета

**Во второй главе** разрабатывается структурно-логическая модель информационных потоков о состоянии ГТД, структура хранилища данных на основе обобщенной классификации, методика интеграции информационной системы испытаний ГТД с другими системами.

Известно, что основная структура информационных потоков и правила управления ими закладываются на этапе проектирования и доводки ГТД. 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 информационных потоков создания ГТД на этапе его разработки является основополагающей.

Необходимо на теоретико-множественном языке описать информационную структуру как начало формирования ХД.

Отметим, что одним из основных объектов организации испытаний ГТД помимо самого ГТД является его система автоматического управления, контроля и диагностики (САУКиД). С помощью САУКиД формируется и реализуется программа испытаний. В процессе самих испытаний САУКиД является основным источником информации о состоянии 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 создания ГТД по экспертным оценкам.

Таблица 1 – Количественная характеристика этапов создания ГТД

	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. 3 представлена количественная характеристика имитации количества функций и степени полноты контроля.

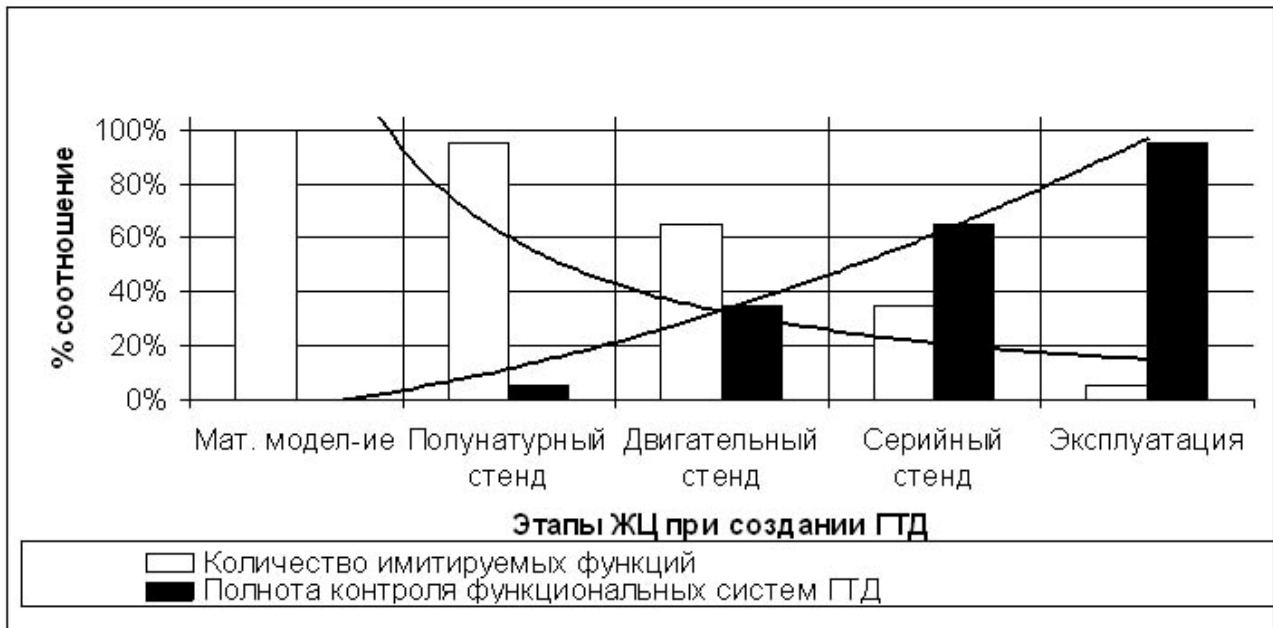


Рисунок 3 – Количественная характеристика имитации количества функций и степени полноты контроля

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

Можно выделить три магистральных потока информации:

$$1) \text{ПИ}(\text{ДУ})_1 = \text{ПИ}_1 \cup \text{ПИ}_2 \cup \text{ПИ}_3 \cup \Phi; \quad (1)$$

$$2) \text{ ПИ(ДУ)}_2 = \text{ПИ}_1 \cup \text{ПИ}_2 \cup \text{ПИ}_4; \quad (2)$$

$$3) \text{ ПИ(ДУ)}_3 = \text{ПИ}_1 \cup \text{ПИ}_2 \cup \text{ПИ}_5; \quad (3)$$

$$\text{ГХД} = \text{ПИ(ДУ)}_1 \cup \text{ПИ(ДУ)}_2 \cup \text{ПИ(ДУ)}_3, \quad (4)$$

где ПИ(ДУ)<sub>1</sub> – поток информации, формируемый разработчиком ГТД;

ПИ(ДУ)<sub>2</sub> – поток информации, получаемый при испытаниях ГТД на двигательных и серийных стендах;

ПИ(ДУ)<sub>3</sub> – поток информации, получаемый в эксплуатации;

ПИ<sub>1</sub> – поток информации, получаемый с ГТД во время испытания;

ПИ<sub>2</sub> – поток информации, получаемый с САУКиД ГТД во время испытания;

ПИ<sub>3</sub> – поток информации, получаемый с математической модели;

ПИ<sub>4</sub> – поток информации, получаемый со стендовой системы;

ПИ<sub>5</sub> – поток информации, получаемый с эксплуатации;

Ф – формуляр ГТД;

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 другое;

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

– различные виды вычислительной техники для хранения и обработки информации;

- различные форматы представления данных;
- различные системы интерпретации и обработки;
- и другое.

Основными принципами формализации информации, связанной с 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 классифицировано по временному критерию.

Временной критерий  $t$  можно записать в виде вектора

$$t = [t_1, t_2, t_3, t_4], \quad (5)$$

где  $t_1$  – время создания информации,  $t_2$  – время применения информации,  $v_1$  – частота создания информации,  $v_2$  – 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:

- 1) непосредственно от ГТД и САУКиД;
- 2) 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 местом 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 определяются 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.

**В третьей главе** разрабатываются алгоритмы получения, синхронизации, хранения и распределения информации об испытаниях, сбора и анализа информации для определения параметров о техническом состоянии в составе информационной системы, измерения и анализа температурных полей в составе информационной системы испытания ГТД.

Наличие структурированной и формализованной информационной модели позволяет эффективно организовать проведение конструкторско-технологических испытаний и анализа результатов по следующей схеме:

1) организация поиска и сбора необходимой документации, включающей в себя методическое обеспечение, для подготовки к испытаниям в автоматизированном режиме:

- разработку технических условий на проведение испытаний;
- разработка календарного плана и ресурсного и информационного обеспечения проведения испытаний;
- анализ готовности 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.

Для контроля и диагностирования технического состояния двигателя в наземных условиях при его эксплуатации по состоянию актуальной задачей является оценка показателей неравномерностей полей давления и температур. Рассматривается задача информационной поддержки измерения неравномерности полей давления и температур для энергетической установки ГТЭ-10/95БМ, предназначенной для выработки тепла и электроэнергии, с использованием информационно-вычислительного комплекса УКП-2000М. Перепрограммируемый комплекс УКП-2000М обеспечивает возможность измерения и расчета параметров контролируемого режима по 20–30 координат в темпе испытания изделий с последующей передачей данных в ХД. При этом снижается трудоемкость и повышается качество технологического процесса испытаний двигателя за счет, прежде всего, автоматизации процесса сбора и обработки информации, поступающей от первичных преобразователей.

Программное обеспечение использовалось ранее для обработки измеренных параметров изделий 25, 95, P95Ш и P195 при стендовых испытаниях на установившихся режимах работы..

Оценка остаточного ресурса с помощью информационной поддержки и аппаратно-программных комплексов регистрации и обработки параметров рабочего процесса ГТД открывает возможности для контроля и диагностирования технического состояния двигателя. Возможность расчета показателя остаточного ресурса в реальном режиме в эксплуатации позволит своевременно устранять возникшие неисправности и принимать решения о продолжении эксплуатации.

Анализ полетной информации позволяет классифицировать двигатели на "исправные" и "подозрительные на неисправные", выявлять нарушения в работе функциональных систем двигателя и отказы системы контроля и регистрации параметров, обоснованно принимать решения о техническом состоянии

двигателя, необходимых заменах, осмотрах и регулировках, проводить автоматизированный поиск неисправностей.

При этом возникает задача создания автоматизированного учета и ведения паспортных и формулярных данных двигателя и их движения в эксплуатации, а также учета данных об отказах, данных о текущих и эквивалентных наработках. Данные об отказах и способах их устранения затем будут использоваться в задачах поиска неисправностей совместно с экспертной системой принятия решений о техническом состоянии газотурбинных двигателей. Для этих целей создан электронный формуляр двигателя, который автоматически заполняется во время обработки полетной информации.

Система параметрического контроля и диагностики охватывает различные службы эксплуатационных предприятий, ремонтные предприятия.

Интегрированная база данных предназначена для поддержки принятия решений при эксплуатации. В нее входят данные, полученные при решении следующих задач:

- определение внешних условий при работе двигателя;
- определение и оценка параметров двигателя на соответствие нормам;
- расчет остаточного ресурса;
- анализ и оценка технического состояния;
- анализ полетной информации.

На их основе будет приниматься окончательное решение о продлении ресурса двигателя.

Разработан алгоритм наполнения БД по результатам испытания и методика анализа по этим испытаниям для двигателя АЛ-55И с применением АРМ ДК-55И.

Процесс проведения испытания представлен на рис. 4.

Результаты анализа структурируются в виде специальной подсистемы. На этапе принятия решения осуществляется доступ к результатам.

На рис. 5 представлена архитектура ИТ для проектирования 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 к проведению испытаний;

2) организация доступа к БД и обработка данных с помощью автоматизированных методик и алгоритмов;

3) информационная поддержка для коллективного анализа результатов, организация доступа к результатам испытаний.

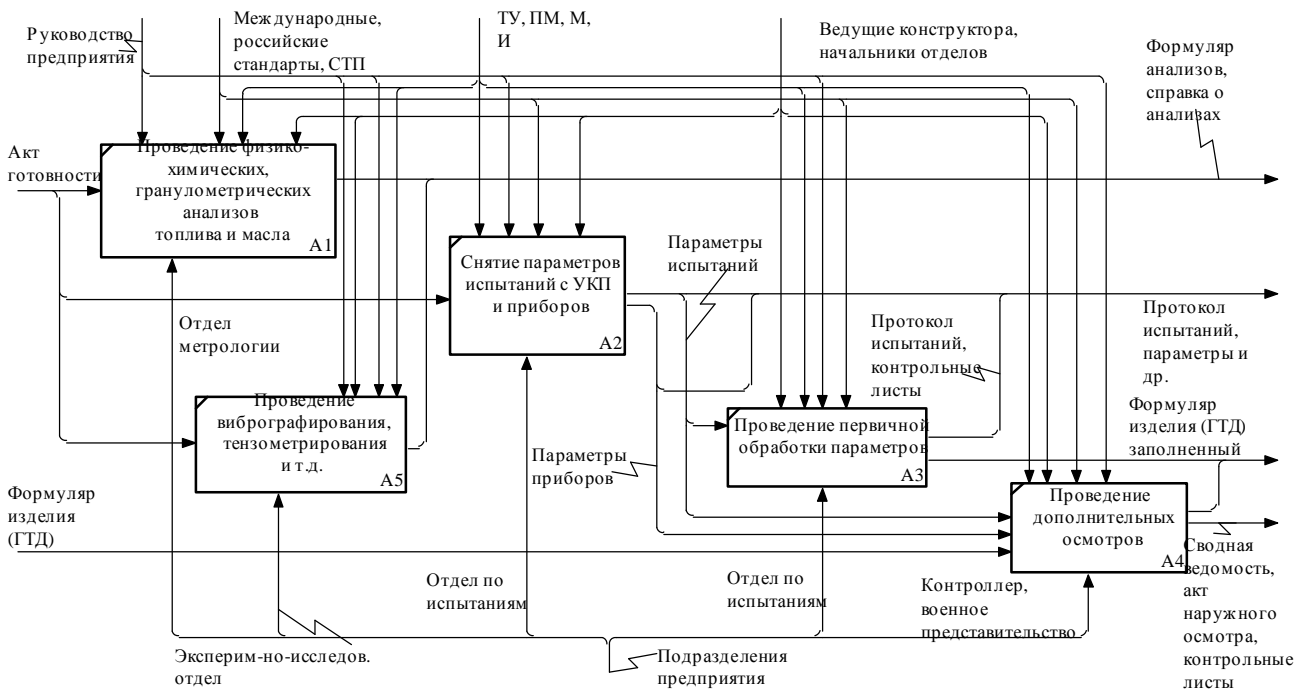


Рисунок 4 – Процесс проведения испытаний

	Данные ЧТО (характеристики и парам. ГТД)	Функции КАК (функции, схемы, иерархия ГТД)	Дислокация, сеть, ГДЕ	Люди КТО (сотрудники, предпр.)	Время КОГДА (планы, задания)	Мотивация ПОЧЕМУ (заказ на пропуск ГТД)	
Генеральный директор, Генеральный конструктор (ГДК) и его заместители	Список базных данных	Список основных функций	Территориальное размещение	Ключевые кадры	Бизнес-события		Сфера действия (контекст)
ГДК							Модель предприятия
Начальник БАСУП, начальник ВЦ	Логические модели данных	Архитектура приложений	Детальная структура	Организационная архитектура	Временная архитектура	Архитектура правил	Модель системы
Науч. ВЦ и БАСУП и сотрудники	Архитектура данных	Архитектура приложений	Детальная структура	Организационная архитектура	Временная архитектура	Архитектура правил	Технологическая (физическая) модель
Сотрудники ВЦ, БАСУП							Детали реализации
	Данные	Работающие программы	Сеть	Реальные люди, организации	Бизнес-события	Работающие бизнес-стратегии	Работающее предприятие
	Данные	Функции, процессы	Сеть, расположение систем	Люди, организации	Время, расписания	Мотивация	

Рисунок 5 – Архитектура ИТ для проектирования ГТД.

АРМ ДК обеспечивает:

- регистрацию и отображение информации, полученной от электронной системы управления (ЭСУ), на стационарных и переменных режимах в реальном масштабе времени;
- настройку, контроль и информационное обеспечение работы ЭСУ при испытании двигателя на стенде;
- имитацию информационного взаимодействия с бортовыми системами самолета;



– прием и преобразование, получаемой от ЭСУ при испытаниях по каналам информационного обмена в реальном масштабе времени, запись в БД информации и 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.

**В четвертой главе** разрабатывается референтная модель информационной системы испытания ГТД при его создании и производстве и ее интеграция и особенности ее программной реализации с информационной системой доводки и эксплуатации в условиях ОКБ.

ПО реализуется в 3-уровневой архитектуре состоящей из:

1) множества организационно-функциональных моделей процессов для осуществления испытаний и проведения анализа;

2) множества правил для взаимодействия моделей и хранилища данных, реализованных через веб-портал, где происходит управление как структурированными данными, так и неструктурированными данными;

3) в ХД хранятся бизнес-процессы и процессы управления в нотации IDEF, предметно-ориентированные сервисные программы, конструкторско-технологическая документация, информационно-справочная и оперативная информация.

Для хранения и доступа к данным используется реляционная база данных. Механизм хранения данных организован на основе технологии репозитория. Репозиторий обеспечивает хранение данных, метаданных, контроль версий. Репозиторий поддерживает эволюцию структуры информации и ее метаданных таким образом, чтобы при добавлении новых или удалении существующих свойств данных или связей обеспечивалась логическая целостность модели.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Разработана архитектура системы управления потоками нормативной, конструкторско-технологической, оперативной и параметрической информации при испытаниях ГТД, построенная в форме репозитория, на основе которого осуществляется организация хранения и доступа для коллективного комплексного анализа, интегрированная с системой планирования и управления процессом испытаний.

2. Предложена структурно-логическая модель распределенного хранилища данных на основе классификации основных стадий ЖЦ создания и применения САУКиД, интегрированная со стадиями испытаний ГТД. Такая классификация позволяет повысить эффективность процесса испытаний за счет комплексного использования параметрической информации в течение ЖЦ.

3. На основе предложенной автоматизированной методики получения и анализа результатов испытаний и эксплуатации для оценки и прогноза состоя-

ния ГТД по его газодинамическим параметрам разработано ПО, интегрированное в информационную подсистему испытаний, позволяющее осуществлять контроль и диагностику ГТД и предотвращать всевозможные отказы.

4. Разработана модель интеграции автоматизированной подсистемы испытаний в единое информационное пространство предприятия.

## ПУБЛИКАЦИИ, ОТРАЖАЮЩИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

### *В рецензируемом журнале из списка ВАК*

1. Информационная поддержка управления жизненным циклом испытаний ГТД на основе CALS-технологий / Г.И. Погорелов, Б.К. Галимханов, К.А. Ризванов // Вестник УГАТУ : науч. Журн. Уфимск. Гос. авиац. Техн. Ун-та. Сер. Управление, информатика и выч. техника. 2007. Т.9, № 4 (22). С. 57–63.

### *В других изданиях*

2. 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 : матер. 3-й науч.-практ. Конф. молодых специалистов и ученых, М. : ОАО “ОКБ Сухого”, 2005 г. С. 583–586.

3. 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.

4. Организационно-функциональная модель управления авиационным газотурбинным двигателем / Х.С. Гумеров, Г.Г. Куликов, К.А. Ризванов // сб. тр. Башкирско-Саксонского форума. Уфа, 2006. С. 1–7 (Статья на англ. яз.).

5. Организационно-функциональная модель процесса проведения испытаний ГТД в соответствии с CALS-технологиями / Г.И. Погорелов, К.А. Ризванов, М.Р. Азанов // Труды междунар. конф. комп. наук и информ. техн. (CSIT’2007). Красноуфимск, Уфа, 2007. (Статья на англ. яз.).

6. О разработке информационной модели процесса проведения испытаний газотурбинного двигателя / К.А. Ризванов. // Матер. 3-й Всерос. науч.-техн. конф., Уфа : ОАО УМПО, 2007 г. С. 118–119.

7. Формирование структуры модели жизненного цикла ГТД, отвечающей требованиям CALS-технологий / Г.Г. Куликов, К.А. Ризванов // Исследования и перспективные разработки в авиационной промышленности. CALS-технологии в авиационной промышленности : матер. 4-й науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов. М. : ОАО “ОКБ Сухого”, 2007. С. 661–664.

8. Разработка архитектуры информационной подсистемы испытаний ГТД. / Г.Г. Куликов, К.А. Ризванов // Матер. 4-й Всерос. науч.-техн. конф., Уфа : ОАО УМПО, 2008. С. 118–119.

**Соискатель**

**К.А. Ризванов**

РИЗВАНОВ Константин Анварович

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ  
ПРОЦЕССОВ ИСПЫТАНИЙ ГТД НА ОСНОВЕ  
ОРГАНИЗАЦИОННО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ  
МОДЕЛИ

Специальность 05.13.06 – Автоматизация и управление  
технологическими процессами и производствами (в промышленности)

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Подписано к печати 12.11.08 Формат 60×84 1/16.  
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Таймс.  
Усл. печ.л.1,0. Усл. кр.-отт. 1,0. Уч.-изд.л. 0,9.  
Тираж 100 экз. Заказ № 521.

ГОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический университет  
Центр оперативной полиграфии  
450000, Уфа-центр, ул. К.Маркса, 12