

На правах рукописи

ЖУРАВЛЕВ Денис Юрьевич

**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ
ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ
АВИАЦИОННОГО ПРОИЗВОДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ CALS-
ТЕХНОЛОГИЙ**

Специальность 05.13.12 – Системы автоматизации проектирования (в
машиностроении)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

САМАРА 2006

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П.Королева»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Калентьев А.А.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
Маркин А.А.

доктор технических наук, профессор
Чекмарев А.Н.

Ведущая организация: **ОАО «Туполев» (г. Москва)**

Защита состоится 27 октября 2006 г. в 13 часов на заседании диссертационного совета Д 212.215.05 при государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П.Королева» по адресу 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Самарского государственного аэрокосмического университета.

Автореферат разослан 26 сентября 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, профессор

Калентьев А.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Проблема конкурентоспособности российской авиационной техники на внутреннем и мировом рынках, обусловлена ужесточением в последние годы требований к уровню качества и безопасности самолетов, особенно допускаемых к использованию на международных авиалиниях. Отечественные авиационные заводы на современном этапе своего развития испытывают острую потребность в современных средствах управления качеством производственных процессов и продукции.

Исключительная сложность и высокая технологичность авиационного производства обуславливают колоссальный объем сопровождающей его информации: об изделии, процессах производства, организационной структуре предприятия, документации и производственных ресурсах. В этих условиях особую актуальность приобретают вопрос создания автоматизированной системы информационной поддержки управления качеством авиационного производства в рамках общей системы информационного сопровождения изделия на всех этапах жизненного цикла.

Опыт ведущих машиностроительных предприятий мира доказывает, что вопросы обеспечения качества продукции должны решаться в рамках единой информационной системы, построенной по принципам CALS (Continuous Acquisition and Lifecycle Support). Наиболее обоснованные требования по организации систем обеспечения качества на предприятиях изложены в международных стандартах ISO серии 9000.

Вместе с тем, имеющиеся научные и методические разработки, зачастую носят обобщенный характер и не содержат практически реализуемых методов автоматизации процессов обеспечения качества применительно к самолетостроительной промышленности.

Необходимость теоретического обоснования и разработки практических решений для проектирования автоматизированной системы информационной поддержки управления качеством на авиационном производстве определила выбор темы, цель, задачи и структуру диссертации.

Актуальность темы работы также подтверждается получением на нее гранта Федерального агентства по образованию Российской Федерации для поддержки научно-исследовательской работы аспирантов вузов (шифр гранта А04-3.16-216).

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является повышение эффективности управления качеством путем разработки автоматизированной системы информационной поддержки управления качеством авиационного производства.

Достижение поставленной цели связано с решением целого ряда задач:

- Формализация действующей системы управления качеством авиационного производства.

- Формализация описания процессов производства самолета.
- Определение взаимосвязей между моделями системы управления качеством, состава изделия, и процессов производства.
- Разработка архитектуры автоматизированной системы информационной поддержки управления качеством на предприятии с использованием CALS-технологий.
- Проектирование структуры данных для описания моделей состава изделия, процессов производства и системы управления качеством.
- Разработка программных модулей автоматизированной системы.

Объектом исследования является система управления качеством авиационного предприятия.

Предметом исследования являются разработка автоматизированной системы информационной поддержки системы качества на авиационном предприятии на базе формального описания системы качества предприятия, процессов производства самолета, состава изделия и автоматизация процедур управления ими.

Теоретической и методологической основой исследования являются труды отечественных и зарубежных ученых и экспертов по проблемам моделирования, создания и внедрения автоматизированных систем: Грувер М., Зиммерс Э., Йордан Е., Колчин А.Ф., Кузьмик П.К., Левин А.И., Ли К., МакГоуэн К., Мако Д., Марка Д., Месарович М.Д., Норенков И.П., Судов Е.В., Такахара И., Цвиркун А.Д. и других; а так же управления производством и теории качества: Барвинок В.А., Деминг Э., Исикава К., Кумэ Х., Огвоздин В.Ю., Репин В.В., Чекмарев А.Н. и других.

Для решения поставленных задач использовались методы сравнительного, системного и логического анализа, математического и функционального моделирования, методы теорий алгебраических систем и дискретной математики, иерархических и многоуровневых систем.

Научная новизна работы представлена следующими, выносимыми на защиту, результатами:

- Формализация системы управления качеством авиационного производства, позволившая математически описать требования руководства по сертификации авиационного производства в виде предикатных функций – функций качества.
- Математические модели процессов производства, организационной структуры завода, нормативной, конструкторской и технологической документации. Отличительной характеристикой разработанных моделей является их ориентированность на интеграцию с системой управления качеством авиационного производства, т.е. на построение единого информационного пространства предприятия.

- Взаимные соответствия моделей состава изделия, процессов производства, документации, организационной структуры и формальной модели системы качества авиационного завода в рамках единого информационного пространства предприятия. Это позволяет определять значения функций качества на моделях, описывающих производственную среду.
- Функциональная структура автоматизированной системы информационной поддержки управления качеством авиационного производства.

Практическая значимость работы заключается в том, что автоматизация управления информацией о продукции и процессах изготовления позволит повысить эффективность управления качеством производства за счет увеличения скорости доступа к прежде разрозненной информации и исключения дублирования данных разными компьютерными системами и неэлектронными источниками.

Также, автоматизированное определение значений функций качества с различной степенью детализации позволит анализировать эффективность системы управления качеством на различных организационных уровнях, направлениях деятельности и этапах производственного процесса.

Практическую ценность представляют следующие прикладные разработки:

- методические рекомендации по формальному описанию элементов предметной области: состава изделия, процессов производства и системы управления качеством предприятия;
- описание структур данных на языке XML, формирующих единое информационное пространство авиационного предприятия;
- автоматизированная система информационной поддержки управления качеством на авиационном производстве.

Апробация и реализация результатов исследования. Основные теоретические выводы и практические результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на Всероссийском научно-техническом семинаре по управлению движением и навигации летательных аппаратов (Самара, 2003), Международном симпозиуме «Интеллектуальные системы» (Саратов, 2004), Научно-практической конференции «Проблемы качества, безопасности и диагностики в условиях информационного общества» (Сочи, 2004), Научно-практической конференции «Качество и полезность в экономической теории и практике» (Новосибирск, 2004), Всероссийской (с международным участием) конференции «Информация, инновации, инвестиции» (Пермь, 2004), Международной научно-технической конференции «Информационные, измерительные и управляющие системы (ИИУС-2005)» (Самара, 2005), а также на конференциях Самарского государственного аэрокосмического университета (в период с 2002-2005 гг.) .

Методы и прикладные результаты диссертационной работы используются в деятельности по обеспечению качества ЗАО «АВИАКОР - Авиационный завод» (г. Самара) при производстве самолета Ан-140 в 2002-2006 гг.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 печатных работ .

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка используемой литературы и приложений. В работе объемом 134 страницы содержится 19 рисунков, 4 таблицы, 1 приложение. Библиографический список включает 120 источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновываются актуальность и практическая значимость работы, сформулированы главные цели и задачи исследования, а также перечислены этапы их решения. Кратко приведены основные результаты работы.

В первой главе **«Задача автоматизации управления информацией о качестве продукции в авиастроительной промышленности»** проводится анализ проблем управления информацией о качестве на авиационных производствах, среди которых встречаются следующие:

- Устаревшая и несогласованная документация
- Неадекватная организационная структура и система ответственности
- Плохая формализованность процессов производства и процедур обеспечения качества
- Отсутствие систем комплексного анализа качества продукции и процессов производства.
- Разрозненность автоматизированных систем проектирования, подготовки и управления производством.

Отличительной особенностью авиастроительного производства является то, что наряду с общими стандартами качества такими, как ISO 9000, на предприятии параллельно действуют и отраслевые стандарты, используемые при сертификации самолетостроительных производств и их продукции - самолетов.

Основным документом, регламентирующим процесс сертификации продукции на отечественных авиационных заводах, является «Руководство по сертификации и надзору за производством изделий авиационной техники» применяемое Авиационным Регистром Межгосударственного Авиационного Комитета (АР МАК) и Независимой инспекцией при оценке и контроле качества гражданской авиационной техники в соответствии с требованиями Авиационных Правил (АП-21, части F, G). Данное руководство, разработанное с учетом требований стандартов серии ISO 9000, содержит шестнадцать типовых протоколов оценки функций системы качества предприятия, применяемые при обследовании серийного производства изделий авиационной техники:

1. Организация и ответственность.
2. Управление проектными данными (конструкторской документацией), обеспечения соответствия типовой конструкции.
3. Гарантия качества программного обеспечения (ПО).
4. Процессы изготовления.
5. Специальные процессы изготовления.
6. Статистический контроль и управление качеством (СКК).
7. Средства измерения. Метрологическое обеспечение производства.
8. Испытания.
9. Неразрушающий контроль.
10. Обеспечение качества поставляемых материалов, полуфабрикатов и компонентов.
11. Материалы и элементы конструкции с несоответствиями.
12. Обращение, хранение, транспортировка.
13. Определение летной годности (годность к эксплуатации).
14. Записи по результатам контроля, прослеживаемость.
15. Информация и корректирующие меры по отказам в эксплуатации. Информация для АР МАК.
16. Внутренние проверки.

Исследование опыта машиностроительных предприятий показывает, что в связи с чрезвычайной сложностью управленческих, инженерных и производственных задач, возникающих в работе авиастроительного предприятия, управление качеством на производстве должно осуществляться с использованием автоматизированной информационной системы. Проведенный в работе ретроспективный анализ развития концепций промышленной автоматизации доказывает, что к настоящему моменту доминирующими являются принципы интеграции систем различных этапов жизненного цикла в единую информационную среду предприятия. Эти принципы были обобщены в концепции CALS. Среди основных положений CALS выделяются следующие:

- Информационная поддержка изделия на всех этапах ЖЦ
- Информационная интеграция производства
- Процессный подход
- Единый формат электронного описания изделия
- Использование автоматизированных систем

Эти факторы определили постановку основной задачи диссертации: *Разработать автоматизированную систему информационной поддержки управления качеством производства на авиационном заводе в рамках*

методологии CALS. Данная система должна реализовывать две основные функции:

1. Обеспечение всех участников процесса актуальной документацией по качеству в совокупности с данными об изделии и процессах производства.
2. Обеспечение непрерывного информационного мониторинга качества процессов и продукции путем формирования сквозной иерархической системы отчетности участников производства.

Поставленная задача представляет собой комплекс проблемно-ориентированных подзадач:

- Декомпозиция предметной области: выделение основных элементов интегрированной математической модели авиационного предприятия, их взаимосвязей и определение функционирующих информационных потоков.
- Формализация предметной области: выбор математических средств формализации и построение математической модели системы информационного обеспечения качества авиационного производства.
- Проектирование структур данных для компьютерного представления интегрированной математической модели.
- Проектирование архитектуры автоматизированной системы информационной поддержки качества на базе построенных моделей.
- Выбор программных и аппаратных средств и методов разработки.
- Разработка (программирование) модулей автоматизированной системы.

Вторая глава **«Построение информационной модели авиационного производства в рамках методологии CALS»** посвящена разработке математических моделей элементов авиационного производства: состава изделия, процессов производства, организационной структуры и производственных ресурсов.

Одной из первоочередных задач является определение модели самолета как промышленного изделия в структуре проектируемого информационного пространства. Опыт инженерной практики на машиностроительных предприятиях и научные разработки свидетельствуют, что модель изделия, самолета, целесообразно представить иерархической структурой. Родительской структурой верхнего уровня является «Самолет». Узлами промежуточных уровней являются агрегаты и сборочные единицы. На нижнем уровне иерархии располагаются неделимые детали. Таким образом, определим модель изделия «Самолет» **PL** следующим образом:

$$PL = \langle \{M^{sl}(U_i)\}, \rho \rangle, \text{ где} \quad (1)$$
$$M^{sl}(U_i) = \langle \{U_j \mid U_i \rho U_j\} \rangle.$$

При этом:

- U_i – элемент изделия: сборочная единица, деталь, агрегат т.д.
- $\rho \in M^{s_1} \times M^{s_1}$ – отношение частичного порядка (древовидное отношение), определяющее иерархию элементов изделия.
- $\{ U_j \mid U_i \rho U_j \}$ – множество элементов (деталей, сборочных единиц, агрегатов) U_j , входящих в состав вышестоящего элемента (сборочной единицы, агрегата) U_i .

В состав изделия «Ан-140» входит порядка 250 тысяч элементов: деталей, узлов и сборочных единиц. Источником наполнения модели изделия актуальными данными является конструкторская документация, поступающая на завод из конструкторского бюро в бумажном и электронном видах.

Модель отдельного элемента изделия U_i задается множеством свойств

$$U_i = \{ a_k(U_i) \} \quad (2)$$

Последовательная во времени смена значений свойств $a_k(U_i)$ – является *жизненным циклом элемента U_i изделия* (самолета), который оно проходит в составе изделия.

Таблица 1. Двухуровневая структура производственных процессов при выпуске самолета Ан-140 на ЗАО «АВИАКОР - Авиационный завод» (г. Самара)

Код	Процесс	Детализирует:	Выполняется после:	Выполняется параллельно:
1	Прием конструкторской документации от конструкторского бюро и создание электронного описания изделия	-	-	-
1.1	Создание электронного документа по составу изделия на базе бумажных документов от конструкторского бюро.	1	-	1.2
1.2	Конвертация электронного документа по составу изделия от конструкторского бюро в электронный документ по составу изделия предприятия производителя изделия.	1	-	1.1
2	Конструкторская подготовка (КП) производства изделия	-	1	-
2.1	КП производства нового изделия	2	-	2.2
2.2	КП изменений на конструкторскую документацию по детали либо сборочной единице	2	-	2.1
3	Технологическая подготовка (ТП) производства изделия	-	2	-
3.1	Подпроцесс отдела технологического планирования (ОТП)	3	-	-
3.2	Подпроцесс отдела механической обработки (ОМО)	3	3.1	3.3; 3.4
3.3	Подпроцесс отдела холодной штамповки (ОХШ)	3	3.1	3.2; 3.4
3.4	Подпроцесс отдела клепально-сборочных работ (ОКСР)	3	3.1	3.2; 3.3
3.5	Подпроцесс отдела детального оснащения (ОДО)	3	3.2; 3.3; 3.4	-
3.6	Подпроцесс отдела планирования производства (ОПП)	3	3.5	-
3.7	Подпроцесс отдела инструментальной подготовки (ОИП)	3	3.6	-
3.8	Подпроцесс бюро расчета мощности цехов (БРМЦ)	3	3.7	-
4	Производство изделия по цехам	-	3	-

Наиболее эффективную концепцию информационного описания этапов производства реализует процессный подход, который предполагает управление производством через применение системы (сети) процессов и менеджмент процессов. Обобщенная структура производственных процессов авиационного завода, приведена в таблице 1.

Т.к. каждый подпроцесс можно также представить отдельной сетью процессов, данная структура в общем случае носит многоуровневый характер. Сеть процессов ЛС производства описывается как

$$LC = \langle \{M^{sl}(P_i)\}, \psi \rangle, \text{ где} \quad (3)$$

$$M^{sl}(P_i) = \langle \{P_j \mid P_i \psi > P_j\}, M^\psi(P_i) \rangle.$$

Элементы модели имеют следующее семантическое значение в рамках предметной области авиационного производства:

- P_i – процесс.
 При этом P_i – *неделимая технологическая операция*, если не существует пары подпроцессов P_k и P_l таких, что $P_i \psi > P_k \wedge P_i \psi > P_l$
- $\psi \in M^{sl} \times M^{sl}$ – отношение частичного порядка (древовидное отношение), определяющее декомпозицию процессов.
- $\{P_j \mid P_i \psi > P_j\}$ – множество технологических подпроцессов P_j , реализующих процесс P_i .
- $M^\psi(P_i)$ – модель отношения, определяющего последовательность выполнения подпроцессов, реализующих процесс P_i .

Для каждого процесса на производстве должно быть определено исполняющее и контролирующее подразделение организационной структуры. Таким образом, требуется задать модель организационной структуры предприятия **OS**. Очевидно, что организационная структура авиационного завода также представляет собой иерархию.

$$OS = \langle \{M^{sl}(O_i)\}, \varphi \rangle, \text{ где} \quad (4)$$

$$M^{sl}(O_i) = \langle \{O_j \mid O_i \varphi > O_j\}, S_i, \theta(S_i) \rangle.$$

При этом:

- O_i – подразделение завода: цех, отдел, бюро, бригада и т.д.
- $\varphi \in M^{sl} \times M^{sl}$ – отношение частичного порядка (древовидное отношение), определяющее иерархию оргструктур.
- $\{O_j \mid O_i \varphi > O_j\}$ – множество подразделений O_j , входящих в структуру вышестоящего подразделения O_i .
- S_i – множество сотрудников (должностей), работающих *непосредственно* в данном подразделении, т.е.:
- $$S_i \cap S_j = \emptyset, \quad \forall j \mid O_i \varphi > O_j$$
- $\theta(S_i)$ – отношение частичного порядка задающее внутреннюю подчиненность (субординацию) сотрудников подразделения O_i .

Разрабатываемая модель также должна описывать взаимосвязи ее элементов. Связь процессов и ответственных за их исполнение и контроль структур, определяется отображениями исполнения и контроля. Данные отображения еще принято называть матрицами ответственности.

$$E: LC \rightarrow OS \quad - \text{ отображение исполнения} \quad (5)$$

$$E = (\{ (P_i, O_j) \mid i=1, N_P ; j=1, N_O \})$$

$$C: LC \rightarrow OS \quad - \text{ отображение контроля} \quad (6)$$

$$C = (\{ (P_i, O_j) \mid i=1, N_P ; j=1, N_O \})$$

Связь процессов производства и элементов состава изделия определяется отношениями входов χ_{in_bin} и выходов χ_{out_bin} процессов:

$$PL \chi_{in_bin} LC = \{ (U_i, P_j) \} - \text{отношение входов} \quad (7)$$

$$PL \chi_{out_bin} LC = \{ (U_i, P_j) \} - \text{отношение входов} \quad (8)$$

Также любой процесс требует использование производственных ресурсов: станков, инструментов, оснастки, материалов, которые также поступают ему на вход. Данная взаимосвязь определяется отношением обеспечения τ_{eq_bin} .

$$EQ \tau_{eq_bin} LC = \{ (E_i, P_j) \}, \quad \text{где} \quad (9)$$

$$EQ = \{ E_i \} - \text{оснастка и материалы.}$$

Третья глава **«Информационная интеграция модели действующей системы качества с моделью авиационного производства»** посвящена решению основной проблемы диссертационной работы - информационной интеграции моделей, т.е. согласованию математической модели системы качества с моделями изделия, процессов производства, ресурсов и организационной структуры предприятия, разработанными во второй главе. Точки интеграции представлены на рисунке 1.

Сущности PL и EQ имеют структуру множеств, каждый элемент которых представляет собой информационный объект, формализованный набором некоторых атрибутивных свойств $\{a_i\}$, принимающих различные значения при участии в различных процессах. Естественно, что на входе/выходе каждого процесса P_j наборы атрибутивных свойств $\{a_i\}$ объектов должны принимать лишь значения из некоторой определенной области – области качества.

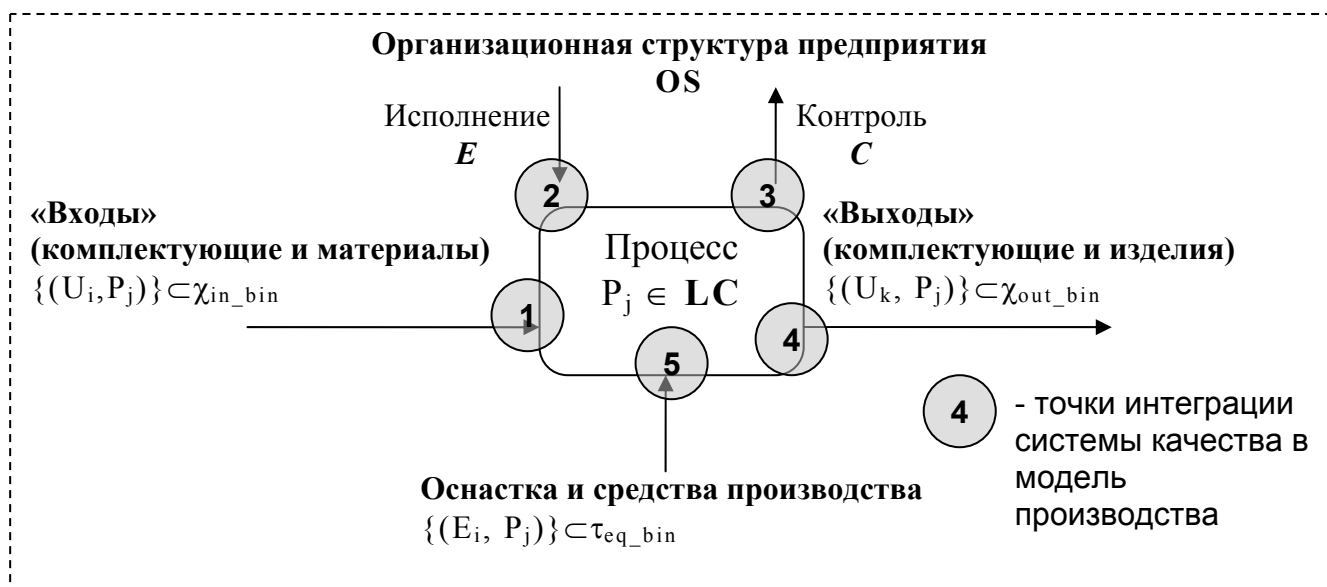


Рисунок 1. Интеграция элементов системы управления качеством в компоненты интегрированной информационной модели авиационного производства

Деталь считается качественной для входа(выхода) данного процесса, тогда и только тогда, когда вектор ее атрибутов $\{a_k(U_i)\}$ попадает в соответствующие

области качества Q_{in} (Q_{out}). Руководствуясь данными соображениями, расширим определения входов и выходов процессов путем трансформации бинарных отношений χ_{in_bin} и χ_{out_bin} в тернарные χ_{in} и χ_{out} .

$$\chi_{in} = \{(U_i, P_j, Q_{in}(U_i, P_j))\} \quad - \text{качественные входы процессов} \quad (10)$$

$$\chi_{out} = \{(U_i, P_j, Q_{out}(U_i, P_j))\} \quad - \text{качественные выходы процессов} \quad (11)$$

Аналогично доопределяем отношение обеспечения τ_{eq_bin} :

$$\tau_{eq} = \{(E_i, P_j, Q_{eq}(E_i, P_j))\} \quad - \text{качественные обеспечение} \quad (12)$$

Одним из необходимых требований, предъявляемых стандартами ИСО 9000 к системе качества предприятия, является обоснованность всех процедур и мероприятий. Это требование реализуется посредством отношения η_Q документирования областей качества.

$$\eta_Q = \{ (Q(a_i(\dots), P_j), D_k) \}, \forall Q(a_i(\dots), P_j) \neq \emptyset, \quad (13)$$

где $\{D_k\}$ – документация завода.

Определим структуру моделей процессов P_j жизненного цикла изделия.

$$P_j = (A(P_j), Pa^E(P_j), Pa^C(P_j)), \quad \text{где} \quad (14)$$

$A(P_j) = \{a_i(P_j)\}$ – множество дескриптивных атрибутивных свойств;
 $Pa^E(P_j) = \{p^E_i(P_j)\}$ – множество параметров управления, воздействие на которые через отображение E влияет на течение процесса P_j , т.е. обеспечивает управляемость процесса;
 $Pa^C(P_j) = \{p^C_i(P_j)\}$ – множество параметров контроля, значения которых обеспечивают наблюдаемость процесса P_j через отображение C .

Согласно заданию, элементы множества $A(P_j)$ содержат общее описание процесса, опирающееся на некоторый нормативный документ. Это требование реализуется через отношение η_P документирования процессов.

$$\eta_P = \{(a_i(P_j), D_k)\}, \forall P_j \quad - \text{документирование процессов} \quad (15)$$

Процедуры управления процессами и их контроля согласно требованиям стандартов ISO 9000 также должны быть задокументированы. Это реализуется через следующие отношения.

$$\eta_{PE} = \{(p^E_i(P_j), D_k)\}, \forall p^E_i(P_j) \quad - \text{документирование параметров управления} \quad (16)$$

$$\eta_{PC} = \{(p^C_i(P_j), D_k)\}, \forall p^C_i(P_j) \quad - \text{документирование параметров контроля} \quad (17)$$

В разрабатываемой автоматизированной системе управления качеством авиационного производства обратная связь, а также механизм накопления статистических данных о течении процессов реализованы через систему отчетности. Структура отчета:

$$R = (t, \{d_i\}, \xi), \quad \text{где} \quad (18)$$

t – момент времени актуальности отчета;

$\{d_i\}$ – множество показателей отчета (данные);
 ξ – специальное отношение на множестве $\{d_i\}$, определяющее форму («бланк») отчета.

При этом $\{\xi_i\}$ – реестр отчетов предприятия.

Для форм отчетов также вводится отношение документирования:

$$\eta_R = \{ (\xi_i, D_k) \}, \forall \xi_i \quad (19)$$

Система отчетности предприятия включает в себя отчеты по параметрам процессов, состояниям элементов состава изделия и средствам обеспечения. Каждому отчету ставится также в соответствие подразделение или сотрудник, ответственный за составление данного отчета:

$$\mu_{PE_n} = \{ (p^E_i(P_j), \xi_k, O_m) \}, \forall p^E_i(P_j) \quad (20)$$

$$\mu_{PC} = \{ (p^C_i(P_j), \xi_k, O_m) \}, \forall p^C_i(P_j) \quad (21)$$

$$\mu_{PL} = \{ (a_i(U_j), \xi_k, O_m) \}, \forall a_i(U_j) \quad (22)$$

$$\mu_{EQ} = \{ (a_i(E_j), \xi_k, O_m) \}, \forall a_i(E_j) \quad (23)$$

Как отмечалось, *основным документом, регламентирующим процесс сертификации продукции на отечественных авиационных заводах, является «Руководство по сертификации и надзору за производством изделий авиационной техники», содержащее шестнадцать типовых протоколов оценки функций системы качества предприятия.* Пример фрагмента протокола № 4, «Процессы изготовления», приведен на рисунке 2.

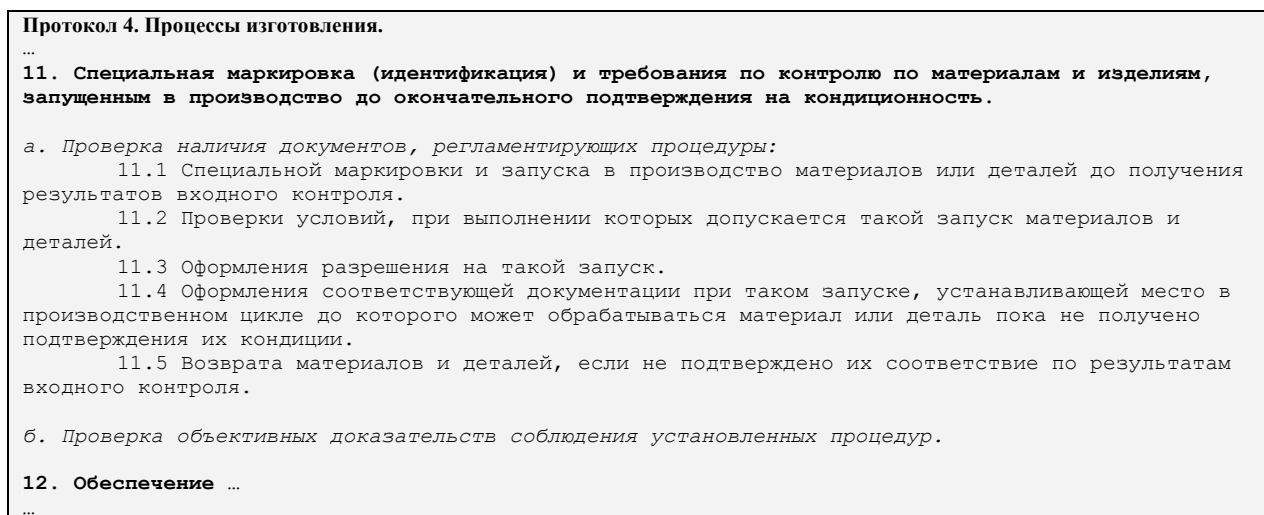


Рисунок 2. Фрагмент текста протокола № 4, «Процессы изготовления»

Как видно из примера, протокол фактически описывает сложную k-значную предикатную функцию – функцию качества.

$$FQ^1 = \langle \{ FQ^1_i \}, \psi^1 \rangle \quad (24)$$

$$FQ^1_i, \dots, FQ^{16}_i \quad \text{– подфункции качества;}$$

$$FQ^{16} = \langle \{ FQ^{16}_i \}, \psi^{16} \rangle, \quad \text{где} \quad (25)$$

ψ^1, \dots, ψ^{16} – древовидные отношения частичного порядка задающие зависимость на множестве подфункций качества.

Значение подфункции качества рекурсивно определяется следующим образом.

$$FQ = f(FQ_1, \dots, FQ_K) = \begin{cases} \text{«Выполнена»} & , \text{ если } FQ_i = \text{«Выполнена»}, \forall i=1, K; \\ \text{«Выполнена частично»} & , \text{ если } \exists i, j=1, K | \\ & (FQ_i = \text{«Выполнена частично»}) \vee \\ & ((FQ_i = \text{«Выполнена»}) \wedge \\ & (FQ_j = \text{«Не выполнена»} \vee FQ_j = \text{«Выполнена частично»}); \\ \text{«Не выполнена»} & , \text{ если } FQ_i = \text{«Не выполнена»}, \forall i=1, K. \end{cases} \quad (26)$$

$$f(X) = \begin{cases} \text{«Выполнена»} & , \text{ если } \exists D_j | (X, D_j) \in \omega; \\ \text{«Не выполнена»} & , \text{ если } \forall D_j | (X, D_j) \notin \omega. \end{cases} \quad (27)$$

В конечном итоге выполнимость функций качества определяется значениями базовых подфункций качества, значение которых в свою очередь определяется их участием в отношении сертификации.

$$\omega = \{ (X_i, D_j) \} \quad - \text{отношение сертификации.} \quad (28)$$

Отношение сертификации связывает требования руководства по сертификации с множеством нормативной документацией (Руководством по качеству) завода. Множество документации в свою очередь связано отношениями документирования с процессами производства, их контролирующими и управляющими параметрами, системой отчетности, и областями качества параметров элементов состава изделия соответственно. Следовательно, попарные произведения отношения ω и инволюций соответствующих отношений документирования позволяет выполнить поэлементную сертификацию производства.

$$\omega_{\eta_P}^{-1} = \{ (X_k, a_i(P_j)) \} \quad - \text{сертификация процессов производства} \quad (29)$$

$$\omega_{\eta_{PC}}^{-1} = \{ (X_k, p_i^C(P_j)) \} \quad - \text{сертификация параметров контроля} \quad (30)$$

$$\omega_{\eta_{PE}}^{-1} = \{ (X_k, p_i^E(P_j)) \} \quad - \text{сертификация параметров управления} \quad (31)$$

$$\omega_{\eta_R}^{-1} = \{ (X_k, \xi_i) \} \quad - \text{сертификация системы отчетности} \quad (32)$$

$$\omega_{\eta_Q}^{-1} = \{ (X_k, Q(a_i(\dots), P_j)) \} \quad - \text{сертификация областей качества} \quad (33)$$

где

X_k – требование Руководства по сертификации;

$a_i(P_j)$ – дескриптивный атрибут процесса жизненного цикла изделия;

$p_i^C(P_j)$ – параметр контроля процесса жизненного цикла изделия;

$p_i^E(P_j)$ – параметр управления процессом жизненного цикла изделия;

ξ_i – форма отчета;

$Q(a_i(\dots), P_j)$ – область качества атрибутов элемента состава изделия при входе/выходе из процесса.

Таким образом, удалось обеспечить связь моделей управления качеством микро-уровня – в плоть до выполнения технологических операций над конкретными деталями, с моделями управления качеством на макро-уровне – управление предприятием и его сертификация Авиационным Регистром Межгосударственного Авиационного Комитета и Независимой инспекцией.

Рассмотрим метод описания производства с использованием разработанной интегрированной информационной модели на примере процесса изготовления обтекателя законцовки крыла самолета Ан-140, производимого на ЗАО «АВИАКОР – авиационный завод» (г.Самара) в 2002-2005 гг.

Множество документации **D** представляется следующим образом:

D = { D₁ = «СБОРОЧНЫЙ ЧЕРТЕЖ 77.00.2312.050.000»,
D₂ = «СБОРОЧНЫЙ ЧЕРТЕЖ 77.00.2312.051.000»,
D₃ = «СБОРОЧНЫЙ ЧЕРТЕЖ 77.00.2312.052.000»,
D₄ = «СБОРОЧНЫЙ ЧЕРТЕЖ 77.00.2312.053.000»,
D₅ = «СБОРОЧНЫЙ ЧЕРТЕЖ 77.00.2312.054.000»,
D₆ = «ГОСТ 21631-76», D₇ = «ОСТ1 33264-89»,
D₈ = «ОСТ1 34100-80», D₉ = «ОСТ1 34097-80»,
D₁₀ = «ОСТ1 34099-80», D₁₁ = «ОСТ1 34509-80»,
D₁₂ = «ОСТ1 90246-77», D₁₃ = «СТП 535.18.651»,
D₁₄ = «СТП 535.03.609»}.

Множество элементов состава изделия **PL**:

PL = { U₁ = «77.00.2312.050.000 ОБТЕКАТЕЛЬ ЗАКОНЦОВКИ КРЫЛА»,
U₂ = «77.00.2312.051.001 КАРКАС ОБТЕКАТЕЛЯ ЗАКОНЦОВКИ»,
U₃ = «77.00.2312.052.001 ДИАФРАГМА 1»,
U₄ = «77.00.2312.053.001 ДИАФРАГМА 2»,
U₅ = «77.00.2312.054.001 ДИАФРАГМА 3»,
U₆ = «77.00.2312.051.002 КАРКАС ОБТЕКАТЕЛЯ ЗАКОНЦОВКИ»,
U₇ = «77.00.2312.052.002 ДИАФРАГМА 1»,
U₈ = «77.00.2312.053.002 ДИАФРАГМА 2»,
U₉ = «77.00.2312.054.002 ДИАФРАГМА 3» }.

Иерархическое отношение ρ на множестве **PL** определяется как

$\rho = \{ (U_1, U_2), (U_1, U_3), (U_1, U_4), (U_1, U_5), (U_1, U_6), (U_1, U_7), (U_1, U_8), (U_1, U_9) \}$.

Множество **LC** технологических процессов:

LC = { P₁ = «СБОРКА СБ77.00.2312.050.000», P₂ = «СБОРКА СБ77.00.2312.051.000»,
P₃ = «СБОРКА СБ77.00.2312.052.000», P₄ = «СБОРКА СБ77.00.2312.053000»,
P₅ = «СБОРКА СБ77.00.2312.054000»}.

Иерархическое отношение ψ процессов на множестве **LC** задается так:

$\psi = \{ (P_1, P_2), (P_1, P_3), (P_1, P_4), (P_1, P_5) \}$.

Сформируем отношения χ_{in} входов и χ_{out} выходов процессов на основе данных «Сборочного чертежа 77.00.2312.050.000»:

$\chi_{in} = \{ (P_1, U_2), (P_1, U_3), (P_1, U_4), (P_1, U_5), (P_1, U_6), (P_1, U_7), (P_1, U_8) \}$,
 $\chi_{out} = \{ (P_1, U_1), (P_2, U_2), (P_2, U_6), (P_3, U_3), (P_3, U_7), (P_4, U_4), (P_4, U_8), (P_5, U_5), (P_5, U_9) \}$.

Отметим, что в отношении входов χ_{in} для краткости примера учтены только входы основного процесса P₁=«СБОРКА СБ77.00.2312.050.000».

Множество оснастки процесса **EQ**:

EQ = { E₁ = («77.00.2312.050.009 ОКАНТОВКА : ЛИСТ Д16Ч.А.М 1,5X260X1020», 1),
E₂ = («77.00.2312.050.011 ПЛАСТИНА : ЛИСТ Д16.А.М 1,2X120X300», 1),
E₃ = («77.00.2312.050.013 ШИНА : ЛИСТ Д16.А.М 1,5X15X1700», 1),
E₄ = («77.00.2312.050.010 ОКАНТОВКА : ЛИСТ Д16Ч.А.М 1,5X260X1020», 1),
E₅ = («77.00.2312.050.012 ПЛАСТИНА : ЛИСТ Д16.А.М 1,2X120X300», 1),

$E_6 = (\langle 77.00.2312.050.014 \text{ ШИНА : ЛИСТ Д16.А.М 1,5X15X1700} \rangle, 1)$,
 $E_7 = (\langle 77.00.2312.050.003 \text{ ЛЕНТА : ЛИСТ Д16.А.Т 1X10X165} \rangle, 4)$,
 $E_8 = (\langle 77.00.2312.050.005 \text{ ЛЕНТА : ЛИСТ Д16.А.Т 1X10X254} \rangle, 4)$,
 $E_9 = (\langle 77.00.2312.050.007 \text{ ЛЕНТА : ЛИСТ Д16.А.Т 1X10X355} \rangle, 2)$,
 $E_{10} = (\langle \text{ГАЙКА 5-К-КД} \rangle, 20)$,
 $E_{11} = (\langle \text{ЗАКЛЕПКА 2,6-5-АН.ОКС} \rangle, 40)$,
 $E_{12} = (\langle \text{ЗАКЛЕПКА 2,6-6-АН.ОКС} \rangle, 25)$,
 $E_{13} = (\langle \text{ЗАКЛЕПКА 3,5-11-БП} \rangle, 2)$,
 $E_{14} = (\langle \text{ЗАКЛЕПКА 3,5-8-АН.ОКС} \rangle, 70)$,
 $E_{15} = (\langle \text{ЗАКЛЕПКА 3,5-11-АН.ОКС} \rangle, 60)$,
 $E_{16} = (\langle \text{ШАЙБА 1-3,5-8-АН.ОКС} \rangle, 130) \}$.

Отметим что, элементы учитывают количество деталей, требуемое для сборки. На основании данных о параметрах комплектующих сформируем области качества:

$$Q = \{ Q_1 = \langle 1,5 \times 260 \times 1020 \rangle, Q_2 = \langle 1,2 \times 120 \times 300 \rangle, Q_3 = \langle 1,5 \times 15 \times 1700 \rangle, \\ Q_4 = \langle 1 \times 10 \times 165 \rangle, Q_5 = \langle 1 \times 10 \times 254 \rangle, Q_6 = \langle 1 \times 10 \times 355 \rangle \}.$$

Отношение τ_{eq} качественного обеспечения процессов определяется как:

$$\tau_{eq} = \{ (E_1, P_1, Q_1), (E_2, P_1, Q_2), (E_3, P_1, Q_3), (E_4, P_1, Q_1), (E_5, P_1, Q_2), (E_6, P_1, Q_3), \\ (E_7, P_1, Q_4), (E_8, P_1, Q_5), (E_9, P_1, Q_6), (E_{10}, P_1, \emptyset), (E_{11}, P_1, \emptyset), (E_{12}, P_1, \emptyset), \\ (E_{13}, P_1, \emptyset), (E_{14}, P_1, \emptyset), (E_{15}, P_1, \emptyset), (E_{16}, P_1, \emptyset) \}.$$

Организационная структура ограничивается одним подразделением:

$$OS = \{ O_1 = \langle \text{Механосборочный цех № 8} \rangle \}.$$

Соответственно отображения исполнения E и контроля C будут выглядеть следующим образом:

$$E = \{ (O_1, P_1), (O_1, P_2), (O_1, P_3), (O_1, P_4), (O_1, P_5) \}, \quad C = \{ (O_1, P_1), (O_1, P_2), (O_1, P_3), (O_1, P_4), (O_1, P_5) \}.$$

Система отчетности по данной сборке:

$$R = \{ \xi_1 = \langle \text{Протокол качества изделия} \rangle, \xi_2 = \langle \text{Запись о контроле комплектующих изделий} \rangle \}, \\ \mu_{PL} = \{ (P_1, \xi_1, O_1), (P_2, \xi_1, O_1), (P_3, \xi_1, O_1), (P_4, \xi_1, O_1), (P_5, \xi_1, O_1) \}, \\ \mu_{EQ} = \{ (E_1, \xi_2, O_1), (E_2, \xi_2, O_1), \dots, (E_{16}, \xi_2, O_1) \}.$$

Определим отношения документирования процессов η_P , отчетности η_R и областей качества η_Q :

$$\eta_P = \{ (P_1, D_1), (P_2, D_2), (P_3, D_3), (P_4, D_4), (P_5, D_5) \} \\ \eta_Q = \{ (Q_1, D_{12}), (Q_2, D_6), (Q_3, D_6), (Q_4, D_6), (Q_5, D_6), (Q_6, D_6) \} \\ \eta_R = \{ (\xi_1, D_{13}), (\xi_2, D_{14}) \}$$

Подмножество требований «Руководства по сертификации и надзору за производством изделий авиационной техники» АР МАК, относящееся к рассматриваемому примеру выглядит следующим образом:

$$X = \{ X_1 = \langle 4.3.1 \text{ Наличие Перечня и комплекта ДТП и НТД по технологии изготовления ...} \rangle, \\ X_2 = \langle 10.19.1 \text{ Процедуры должны определять объем применяемого входного контроля ...} \rangle, \\ X_3 = \langle 4.15.1 \text{ Документирования критериев приемки/отбраковки для назначенных методов ...} \rangle \}.$$

Построим отношение сертификации областей качества $\omega \eta_Q^{-1}$, отчетов $\omega \eta_R^{-1}$ и процессов $\omega \eta_P^{-1}$:

$$\omega \eta_P^{-1} = \{ (X_1, P_1), (X_1, P_2), (X_1, P_3), (X_1, P_4), (X_1, P_5) \} \\ \omega \eta_Q^{-1} = \{ (X_2, Q_1), (X_2, Q_2), (X_2, Q_3), (X_2, Q_4), (X_2, Q_5), (X_2, Q_6) \} \\ \omega \eta_R^{-1} = \{ (X_3, \xi_1), (X_3, \xi_2) \}$$

Таким образом, данный небольшой пример обобщенно демонстрирует связь процесса изготовления конкретного элемента самолета с глобальной системой управления качеством уровня сертификации всего производства.

В четвертой главе **«Разработка автоматизированной системы информационной поддержки управления качеством продукции авиационного производства»** рассмотрены вопросы разработки компьютерной автоматизированной системы, реализующей спроектированную информационную модель.

Применение процессного подхода, лежащего в основе методологии CALS, диктует нам необходимость разделения компонентов разрабатываемой автоматизированной системы по их функциональному предназначению, т.е. выполнить функциональную декомпозицию системы.

Компоненты системы являются комплексами проблемно-ориентированных программных модулей, обеспечивающих автоматизацию того или иного процесса авиационного предприятия. Функциональная декомпозиция автоматизированной системы приведена в таблице.

Таблица 2. Функциональная декомпозиция автоматизированной системы информационной поддержки управления качеством авиационного производства

Функция	Модуль	Подсистема
Хранение данных и метаданных ИИМ	СУБД	Информационное хранилище данных (ИХД)
Доступ к данным и метаданным ИИМ	Менеджер ИХД	
Управление метаданными ИИМ	Модуль администрирования метаданных	Подсистема администрирования ИХД
Управление данными ИИМ	Модуль администрирования данных	
Создание электронного описания изделия «Самолет»	Интегрированная база данных состава изделия	Подсистема подготовки производства
Выделение в составе изделия конструктивных узлов и агрегатов		
Создание электронного описания «дерева процессов»	Модули планирования производства	
Формирование технологических комплектов и маршрутов		
Планирование производства («расцеховка», «группы опережения»)		
Планирование ресурсов (материалы, комплектующие, оснастка)		
Выдача производственных планов и заданий производственным структурам (цехам, лабораториям)	Модуль управления изготовлением изделия	Подсистема информационного обеспечения производственных процессов
Обеспечение нормативной, технологической и справочной документацией процессов изготовления	Модуль документации	
Сбор отчетной информации по процессам производства, изделиям и ресурсам	Модуль отчетности	
Анализ текущих показателей качества процессов и продукции	Модуль оперативного анализа	Экспертно-аналитическая подсистема
Анализ сводных показателей качества производства	Модуль статистического анализа	
Анализ производственной системы (оргструктуры, процессов, документации) с целью постоянного повышения качества производства	Модуль системного анализа производства	

В качестве языка компьютерного описания разработанной модели использовался язык XML. Являясь сегодня одним из стандартных языков-форматов описания информационных бизнес-моделей, XML позволяет унифицировать способ хранения и передачи данных между различными

автоматизированными модулями CALS-системы. Пример фрагмента схемы структуры данных на языке XML приведен на рисунке 3.

```

<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
<xs:schema targetNamespace="http://tempuri.org/XMLSchema.xsd" elementFormDefault="qualified"
xmlns="http://tempuri.org/XMLSchema.xsd" xmlns:mstns="http://tempuri.org/XMLSchema.xsd" xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema">
<!--~~~~~ Руководство по сертификации ~~~~~-->
<xs:element name="sertification">
  <xs:complexType> <xs:sequence>
    <xs:element name="company" type="xs:string" />
    <xs:element name="title" type="xs:string" />
    <xs:element name="date" type="xs:date" />
    <xs:element name="subfunctions">
      <xs:complexType> <xs:sequence>
        <xs:element name="function" type="functionType" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded" />
      </xs:sequence> </xs:complexType>
    </xs:element>
  </xs:sequence> </xs:complexType>
</xs:element>
<!--~~~~~ Подфункция качества ~~~~~-->
<xs:complexType name="functionType">
  <xs:sequence>
    <xs:element name="id" type="xs:integer" />
    <xs:element name="title" type="xs:string" />
    <xs:element name="description" type="xs:string" />
    <xs:element name="subfunctions">
      <xs:complexType> <xs:sequence>
        <xs:element name="function" type="functionType" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded" />
      </xs:sequence> </xs:complexType>
    </xs:element>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
</xs:schema>

```

Рисунок 3. Фрагмент схемы структуры данных на языке XML

Для реализации технологических аспектов использовался ряд технологий и программных продуктов компании Microsoft (MSVC++ , MFC, MSXML). Пример пользовательского интерфейса системы приведен на рисунке 4.

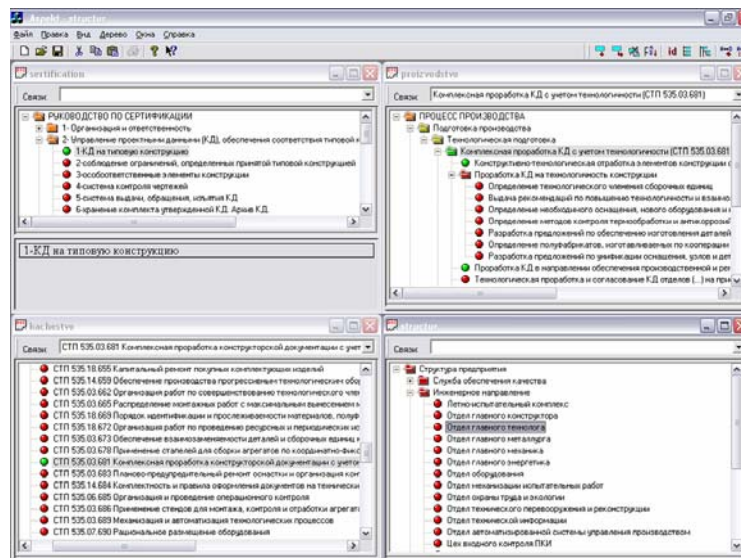


Рисунок 4. Пользовательский интерфейс модуля администрирования метаданных

В заключении были обобщены основные этапы проведенной работы и полученные в них результаты.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

В ходе работы над диссертацией были получены следующие теоретические и практические результаты, выносимые на защиту.

1. Проведена формализация действующей системы управления качеством авиационного производства, позволившая представить требования руководства по сертификации авиационного производства в виде предикатных функций – функций качества.
2. Разработаны математические модели состава изделия, процессов производства, организационной структуры завода, нормативной, конструкторской и технологической документации, ориентированные на интеграцию с моделью системы управления качеством.
3. Выполнена интеграция разработанных математических моделей с моделью системы качества авиационного завода в рамках единого информационного пространства предприятия. Данный подход обеспечивает связь моделей управления качеством микро-уровня – вплоть до выполнения технологических операций над конкретными деталями, с моделями управления качеством на макро-уровне – управлением предприятием и его сертификацией Авиационным Регистром Межгосударственного Авиационного Комитета и Независимой инспекцией. Это позволяет определять значения функций качества на моделях, описывающих производственную среду.
4. Спроектирована функциональная структура автоматизированной системы информационной поддержки управления качеством на авиационном производстве, позволяющая управлять информацией о качестве авиационного производства и анализировать ее.
5. Спроектированы компьютерные структуры данных описания математических моделей состава изделия, процессов производства и системы качества с использованием языка XML. Принципиальной новизной является уход от традиционного реляционного подхода к описанию структур данных, который не обеспечивает требуемой эффективности при моделировании сложных иерархических систем.
6. Разработаны программные модули администрирования данных описывающих модель управления качеством авиационного производства.

Автоматизация управление информацией о качестве продукции и производственных процессов позволит повысить эффективность управления качеством производства за счет увеличения скорости доступа к информации, за счет исключения дублирования данных разрозненными источниками.

Автоматизация вычисления значений функций качества на различных уровнях детализации позволит анализировать эффективность системы управления качеством в различных подразделениях, направлениях деятельности предприятия и этапах производственного процесса.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ:

1. Журавлев Д.Ю. Формализация нерегулярных информационных структур при разработке автоматизированных систем // Вестник СГАУ. Серия: Актуальные проблемы радиоэлектроники. Выпуск 8. - Самара: СГАУ, 2003. - С. 16-19
2. Журавлев Д.Ю. Автоматизированное управление качеством на авиационном производстве // Управление движением и навигация летательных аппаратов: Сб. тр. XI Всерос. научн.-техн. семинара по управлению движением и навигации летательных аппаратов. - Самара: СГАУ, 2003. - С. 295-298
3. Калентьев А.А., Журавлев Д.Ю. Интеллектуальные системы в обеспечении качества продукции на авиационном производстве // Интеллектуальные системы: Труды Шестого международного симпозиума. – М.: РУСАКИ, 2004. – С. 241-243
4. Калентьев А.А., Журавлев Д.Ю. Применение CALS-технологий в управлении качеством на современном авиационном производстве // Проблемы качества, безопасности и диагностики в условиях информационного общества: Материалы научно-практической конференции. – М.: МИЭМ, 2004. – С. 38-39
5. Журавлев Д.Ю. Разработка системы качества на авиационном производстве с использованием CALS-технологий // Качество и полезность в экономической теории и практике: Материалы научно практической конференции. – Новосибирск: НГУЭУ, 2004. – С. 24-25
6. Журавлев Д.Ю. Информационное обеспечение системы качества авиастроительного предприятия // Информация, инновации, инвестиции: Материалы Всероссийской (с международным участием) конференции. – Пермь: Пермский ЦНТИ, 2004. – С. 54-56
7. Калентьев А.А., Журавлев Д.Ю. Автоматизация менеджмента качества на авиационном производстве: проблемы и решения // Информационные, измерительные и управляющие системы (ИИУС-2005): Материалы Международной научно-технической конференции. – Самара: СГТУ, 2005. – С. 63-65
8. Калентьев А.А., Журавлев Д.Ю. Автоматизация менеджмента качества на авиационном производстве: проблемы и решения // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. Выпуск 33. – Самара: СГТУ, 2005. – С. 121-123

Подписано в печать 30.06.2006. Формат 60/84¹/₁₆

Бумага офсетная. Печать оперативная.

Усл. печ. л. 1,00. Тираж 100 экз.

Отпечатано в Самарском государственном
аэрокосмическом университете
443086, г.Самара, Московское шоссе, 34