

*На правах рукописи*

**Киселев Денис Юрьевич**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ТЕХНИЧЕСКОГО  
ОБСЛУЖИВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ГРАЖДАНСКОЙ  
АВИАЦИИ НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**Специальность 05.02.22. Организация производства (машиностроение).**

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

Самара 2009

Работа выполнена на кафедре «Эксплуатация авиационной техники» государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева»

Научный руководитель	доктор технических наук, профессор Коптев Анатолий Никитович
Официальные оппоненты:	доктор технических наук, профессор Морозов Владимир Васильевич  кандидат технических наук Джафаров Ариф Мехди оглы
Ведущая организация	Федеральное государственное унитарное предприятие «Государственный научно- производственный ракетно-космический центр ЦСКБ – «ПРОГРЕСС»

Защита состоится 30 июня 2009г. в 12 часов на заседании диссертационного совета Д 212.215.03 при государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева» (СГАУ) по адресу: 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке СГАУ

Автореферат разослан 29 мая 2009 года

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат технических наук

Клочков Ю.С.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В процессе жизненного цикла воздушного судна (ВС) от момента начала его эксплуатации и до списания одним из основных этапов является техническая эксплуатация, важнейшей составной частью которой является система технического обслуживания (ТО). Процесс ТО существенно влияет на уровень безопасности и интенсивности полетов, на снижение расходов при рациональной организации этого процесса и в целом на себестоимость авиаперевозок.

Важными составляющими этого процесса являются специалист по ТО, информационная система, обеспечивающая его интеллектуальную поддержку, и технические средства. В ходе выполнения операций по ТО существует группа задач, требующая поддержки принятия решения специалистом.

Этими задачами управляют различные уровни системы эксплуатации авиационной техники. Чтобы координировать работу этих уровней системы ТО, они организованы в иерархическую структуру управления, нижним уровнем которой является специалист, реализующий конкретный технологический процесс ТО.

Для форм управления, которым соответствуют действия и операции по принятию решения, совершаемые не на одном, а на нескольких уровнях иерархии организации, реализация принятия решения осуществляется с использованием автоматизированных рабочих мест и активного центра системы: человека-организатора.

Обязательным этапом для эффективного управления процессами должно быть формирование некоторой программы поведения (последовательности действий, операций). Эта программа соответствует представлениям специалиста по ТО о производственном процессе и его реакции на управляющее воздействие и представляет собой опережающую (перспективную) форму отображения структуры производственного процесса и его динамического развития, в виде «информационной модели».

Составление программы действий производится для достижения поставленной человеком-организатором цели, на основе определенной направленности всего процесса управления. Для достижения поставленной цели осуществляются организаторские действия.

Организаторские действия, кроме специалиста по ТО, так же совершаются всем аппаратом управляющей системы. Он включает, кроме главной и ряда вспомогательных систем информации (автоматизированные рабочие места), свои внутренние каналы связи, блоки переработки информации, ее приема по обратным связям и т. п.; словом, это система с разветвленной сетью подсистем, где есть свои градации непосредственного и разнообразных опосредствований; именно последние объединены в информационных системах. От остальных типов действий, выражающих зависимости одного объекта от другого, организаторские функции как раз и отличаются использованием систем информации и специфических информационных связей.

Таким образом, одной из центральных проблем эффективного управления является проблема информационной поддержки при создании

интегрированных производств, в частности производства работ по ТО со специалистом в качестве лица принимающего решения.

Решению задач формирования производственных процессов и процедур ТО, непосредственно связанных с поддержанием летной годности воздушных судов гражданской авиации (ВС ГА) посвящено множество работ отечественных и зарубежных авторов. Результаты этих работ применяются достаточно успешно при технической эксплуатации отечественных и зарубежных типов ВС ГА, однако комплексный системный подход к нижнему уровню иерархии управления производственными процессами ТО с учетом человеческого фактора практически не рассматривался.

Существующие теоретические разработки и практические методики по формированию производственных процессов ТО направлены, в основном, на решение задач разработки методов формирования и оптимизации режимов ТО агрегатов, систем и оборудования ВС ГА в рамках существующих организационных структур инженерно-авиационных служб авиакомпаний.

В указанных направлениях исследований процессов технической эксплуатации ВС ГА следует отметить успешные работы Смирнова Н.Н., Воробьева В.Г., Барзиловича Е.Ю., Сакача Р.В., Мулкиджанова И.К., Ицковича А.А., Чинючина Ю.М., Далецкого С.В., Петрова А.Н., Деркача О.Я, Андропова А.М, Зубкова Б.В., Куклева Е.А., Новожилова Г.В., Прокофьева А.И., Шапкина В.С., Шпилева К.Н. и др.

Отсутствие методологии комплексного подхода к нижнему уровню иерархии управления производственными процессами ТО вызывает большие организационно-технические затруднения и значительные материальные затраты на их обеспечение.

В процессе исследования программ ТО для различных типов ВС определена необходимость совершенствования системы организации производственных процессов, осуществляемых специалистами нижнего уровня иерархии, на базе современных информационных технологий.

Диссертационная работа посвящена разработке методов, моделей и алгоритмов формирования эффективных форм управления системой организации производственных процессов ТО специалистом нижнего уровня иерархии технической эксплуатации на базе создания систем информации.

Цель работы и задачи исследования. Повышение эффективности системы технической эксплуатации путем разработки системы информационной поддержки принятия решения по организации производственных процессов ТО ВС ГА.

Для достижения этой цели в работе поставлены и решены следующие основные задачи:

1. Анализ состояния теории и практики организации ТО воздушных судов гражданской авиации и современных тенденций его совершенствования;
2. Разработка принципов организации системы технического обслуживания ВС ГА с учетом человеческого фактора;
3. Разработка структурной и имитационной модели ТО ВС ГА с целью анализа уровня эффективности организации производственных процессов ТО.

4. Оценка места и роли интерактивного электронного технического руководства (ИЭТР) в системе информационной поддержки принятия решения при реализации производственных процессов ТО агрегатов и систем ВС.
5. Создание моделей преобразования действующей бумажной документации на ВС в ИЭТР.
6. Разработка, опытная апробация ИЭТР в условиях производственного процесса ТО и в учебном процессе при подготовке специалистов по направлению «Эксплуатация и испытания авиационной и ракетно-космической техники».
7. Обоснование эффективности ИЭТР при ТО систем и агрегатов ВС.

Объектом исследования является система организации производственных процессов ТО воздушных судов ГА.

Содержание диссертации соответствует области исследования в рамках специальности 05.02.22 - Организация производства (по отраслям) (п. 3. Разработка методов и средств информатизации и компьютеризации производственных процессов, их документального обеспечения на всех стадиях; п. 4. Моделирование и оптимизация организационных структур и производственных процессов, вспомогательных и обслуживающих производств. Экспертные системы в организации производственных процессов) паспорта номенклатуры специальностей научных работников (технические науки).

Предметом исследования являются методы, модели и средства построения производственных процессов ТО на основе информационных технологий:

1. Средства информационной поддержки принятия решения по совершенствованию и при организации производственных процессов ТО ВС ГА.
2. Методы и средства моделирования задач организации производственных процессов ТО.
3. Принципы организации производства в системе ТО авиационной техники и структура эксплуатационной документации, устанавливающей правила взаимодействия в системе.
4. Модели преобразования действующей эксплуатационной документации в интерактивные электронно-технические руководства.
5. Информационные средства создания интерактивных электронно-технических руководств.

Методы исследования. Решение задач диссертационной работы осуществлялось на основе системно-информационного подхода к анализу процессов управления, с использованием современных методов структурного моделирования с использованием CASE-средств (на основе IDEF0, IDEF3 и DFD) и имитационного моделирования, алгоритмизации процессов функционирования сложных систем, теории сетей Петри, теории распознавания образов, эмпирических методов оценки параметров эффективности организации производственных процессов ТО, теории принятия решения.

На защиту выносятся:

1. Обобщенная модель организации производственного процесса ТО на основе дискретной ситуационной сети, описывающей в общем виде ситуационное поведение специалиста в системе ТО ВС ГА.
2. Методика структурно-имитационного моделирования системы ТО для анализа и количественной оценки совершенства структуры и эффективности производственного процесса ТО узлов, агрегатов и систем ВС ГА на примере ТО двигателя Д-18.
3. Модель взаимодействия в системе информационной поддержки принятия решения при реализации производственных процессов ТО ВС ГА.
4. Модели преобразования действующей эксплуатационной документации в интерактивные электронно-технические руководства по ТО ВС ГА.

Научная новизна работы состоит в том, что:

1. Предложена обобщенная модель организации производственного процесса ТО на основе дискретной ситуационной сети, описывающая в общем виде ситуационное поведение специалиста в системе ТО ВС ГА при непосредственном осуществлении технологических операций.
2. Разработана методика структурно-имитационного моделирования производственного процесса ТО на основе модели IDEF0 с дополнительным введением потоков работ (IDEF3) и потоков данных (DFD), позволяющая определить характеристики и необходимые ресурсы для его выполнения.
3. Синтезирована модель взаимодействия в системе информационной поддержки принятия решения при реализации производственных процессов ТО ВС ГА, описывающая интерфейсы между участниками в ходе выполнения технологических операций по ТО.
4. Созданы модели преобразования в ИЭТР действующей эксплуатационной документации на ВС, длительное время находящихся в эксплуатации.

Практическая значимость работы:

1. Разработанные методики и модели позволяют анализировать и совершенствовать организацию производственных процессов ТО ВС ГА.
2. Методика структурно-имитационного моделирования позволяет оценить и определить характеристики эффективности системы ТО, а так же оценить их изменение при реорганизации производственного процесса.
3. Модели преобразования действующей эксплуатационной документации в ИЭТР, использование которых позволяет повысить эффективность процессов ТО для ВС находящихся в эксплуатации.
4. Разработанные разделы ИЭТР по ТО двигателя Д-18 нашли применение при практическом выполнении ТО и в учебном процессе при подготовке специалистов по направлению «Эксплуатация и испытания авиационной и ракетно-космической техники».

Реализация результатов. Решаемые в диссертационной работе вопросы являются составной частью исследований, проводимых по темам:

1. № 2.2.3.5680 «Совершенствование научно-методического обеспечения учебного комплекса «Учебный аэродром Самарского государственного

аэрокосмического университета» как базы практической подготовки студентов авиационных факультетов университета на 1 – 4 курсах»

2. В рамках договора № ЦКТ-3/938 ВДА-05 на целевую контрактную подготовку специалистов по техническому обслуживанию самолета Ан-124 от 06.07.2005

3. В рамках договора №19/07 «Исследование и оптимизация системы технического обслуживания и ремонта малой авиационной техники» от 01.04.2007г.

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано 6 печатных работ общим объемом 55 стр.

Апробация работы. Основные положения диссертации доложены на:

- Всероссийском научно-техническом семинаре «Управление движением и навигацией летательных аппаратов», 2009, Самара, СГАУ.

- Семинаре по неразрушающим методам контроля «Совершенствование технологических процессов технического обслуживания», 2007, Самара, СГАУ.

- IV всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективы менеджмента организаций в России», 2009, Самара, СГАУ.

Структура и объем работы Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников из 123 наименований, изложена на 167 страницах, включая 2 таблицы, 51 рисунок.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

*Во введении* обоснована актуальность темы, определены объект и предмет исследований, сформулированы цель и задачи, научная новизна и практическая значимость работы, изложены основные положения, выносимые на защиту.

*В первой главе* - «Состояние теории и практики технического обслуживания ВС ГА» - проведен анализ методов синтеза структуры систем и средств поддержки жизненного цикла изделий, рассмотрены вопросы автоматизации управления производственными процессами и пути ее совершенствования.

Определены понятия организационного подхода, степень функциональности и основные принципы организации. Рассмотрены способы динамического и информационного взаимодействия элементов систем. Описаны структурный, энергетический, динамический и информационный аспекты организации систем. Показано, что при преобразовании высокоорганизованных систем информационный способ регуляции имеет решающее значение. Определена роль информации для нужд управления и формирования эффективных систем обслуживания.

Проанализированы методы синтеза структуры систем (рисунок 1). Показаны их достоинства и недостатки. Обоснована необходимость использования графического и структурного методов синтеза в объединенном подходе при исследовании структуры организации систем.

Проведен анализ информационных технологий, используемых в автоматизированном управлении производственными процессами. Рассмотрена нормативно-руководящая документация, которой подчиняется создание структур информационно-управляющих систем (ИУС). Показана возможность

использования CALS-технологий для создания ИУС в рамках как российских, так и международных стандартов.

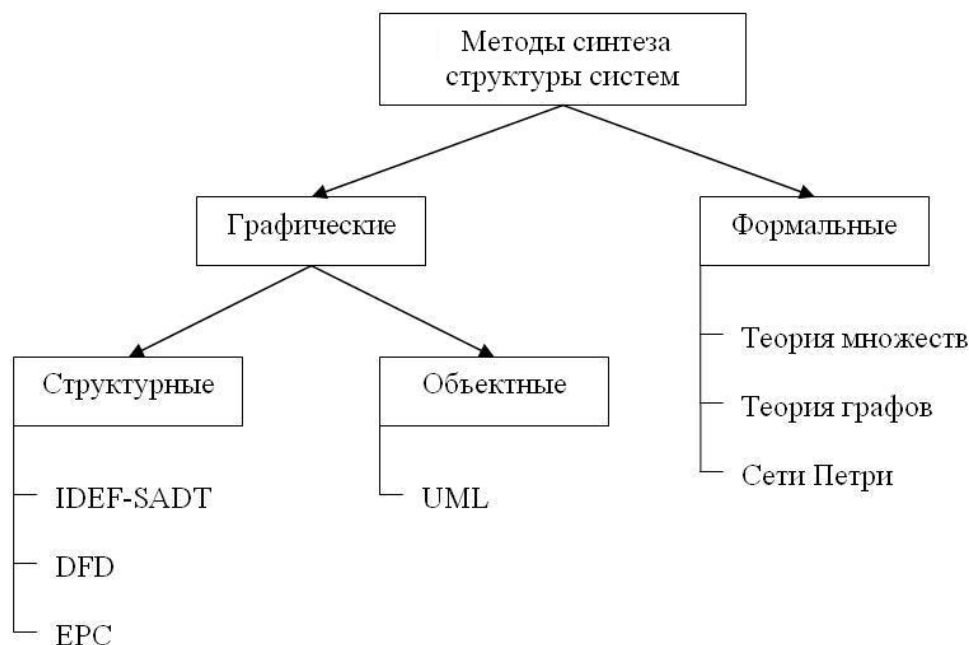


Рисунок 1. Методы синтеза структуры систем

Обоснована необходимость оптимизации информационного обеспечения принятия решений специалистом при практической реализации производственных процессов ТО.

На основе проведенного анализа сформулированы цели и задачи исследования.

**Во второй главе** - «Моделирование и анализ организации производственных процессов технического обслуживания ВС ГА» для комплексного подхода к решению проблемы совершенствования производственных процессов ТО на основе информационных технологий, рассмотрены вопросы использования совокупности методов, предназначенных для моделирования системы.

В данной главе основное внимание уделено следующим аспектам совершенствования организации системы технического обслуживания:

- разработке обобщенной структуры технического обслуживания;
- структурному моделированию, позволяющему формализовать и описать структуру системы технического обслуживания;
- имитационному моделированию, позволяющему строить модели, описывающие процессы так, как они проходили бы в действительности. Такую модель можно «проиграть» во времени как для одного испытания, так и заданного их множества. По этим данным можно получить достаточно устойчивую статистику;
- анализу моделей управления техническим обслуживанием.



Для построения обобщенной модели системы организации технического обслуживания используется дискретная ситуационная сеть, которая представлена в виде графа (рисунок 2).

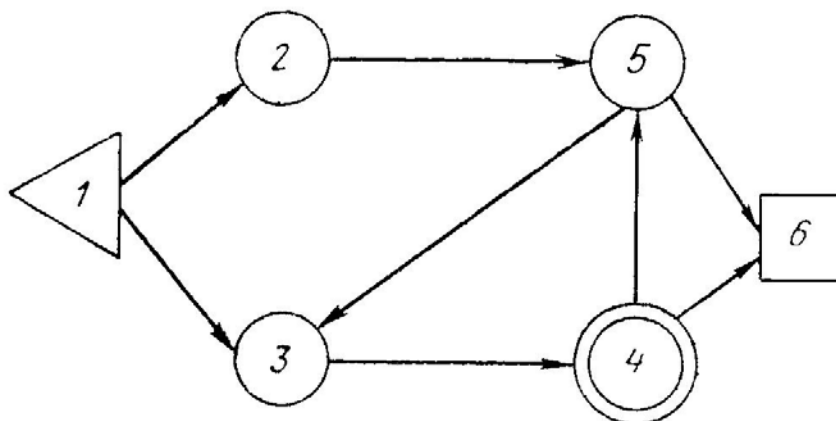


Рисунок 2. Обобщенная модель системы организации ТО

На рисунке 2 показан граф, у которого вершина 1 является истоком (пункты поступления информации в систему о процессе (операциях) выполнения ТО), вершина 6 – стоком (пункты поглощения информации), вершина 4 – динамическим решателем (специалист, выполняющий операции и принимающий решения), а остальные вершины — статическими решателями (реализация частных взаимодействий, единичных актов и процессов взаимодействия). Данная модель, в общем случае, представляет структуру ТО. Для более детального изучения производственных процессов предлагается использовать структурный метод создания моделей систем.

Проведенный в первой главе данного исследования анализ позволил сделать вывод, что первоначально для построения модели организации системы целесообразней всего использовать функциональное моделирование IDEF0 для систем с четко формализованными процессами. Функциональная модель является базисом для дальнейшего анализа и количественной оценки системы технического обслуживания.

Функциональная модель системы дополняется моделями потоков работ IDEF3 и моделями потоков данных DFD. По диаграммам DFD можно определить требуемые ресурсы для выполнения операций, определить движение информационных и ресурсных потоков. Использование DFD диаграмм совместно с IDEF3 и дальнейшее преобразование функциональной модели в имитационную, позволяет определить параметры производственного процесса, найти “узкие” места, зависящие как от наличия свободных ресурсов, так и в том числе от квалификации исполнителей.

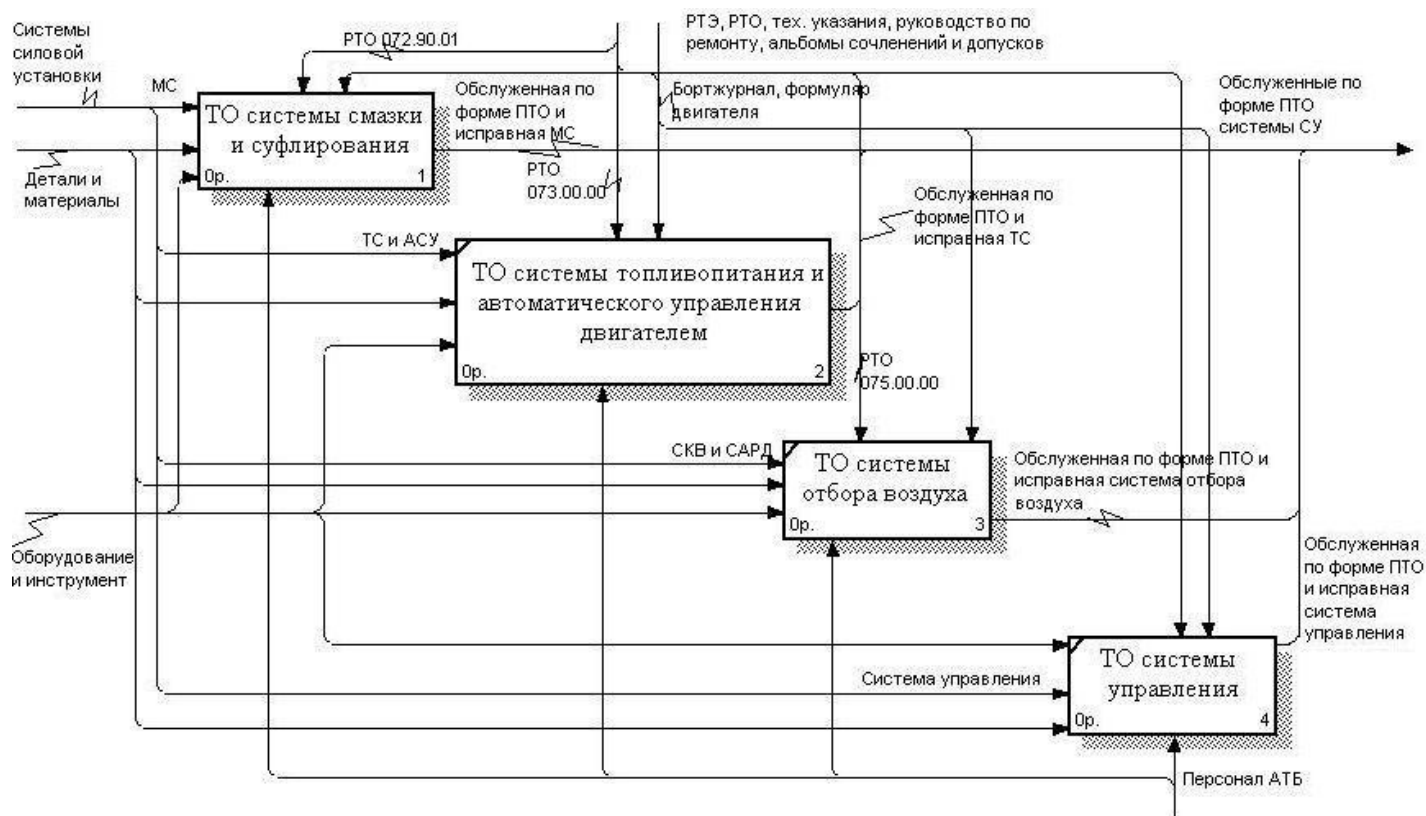


Рисунок 3. Пример среза функциональной модели “Техническое обслуживание силовой установки”

Имитационное моделирование состоит из двух этапов: создания модели и анализа построенной модели с целью принятия решения. В работе излагается преобразование структурной модели технической эксплуатации ВС на примере самолета Ан-124-100 в имитационную. Далее по имитационной модели определены параметры эффективности процесса технического обслуживания. Имитационная модель технического обслуживания обратного клапана маслонасоса двигателя Д-18 представлена на рисунке 4, рассчитанные временные характеристики отображены на рисунках 5 и 6.



Рисунок 4. Имитационная модель процесса технического обслуживания обратного клапана маслонасоса

На рисунке 5 представлен результат расчета времени затрат на ТО одного изделия. Для получения устойчивой статистики проведены расчеты временных затрат на ТО 1000 изделий, результаты расчета показаны на рисунке 6.

### Время выполнения операций

Общее время на каждый объект	Средняя величина	Минимальное значение	Максимальное значение
Демонтаж и монтаж МА-18	1.3595	1.2912	1.4463
Демонтаж и монтаж обратного клапана МА-18	0.6955	0.6546	0.7423
Демонтаж МА-18	0.6336	0.6002	0.6626
Демонтаж обратного клапана	0.3088	0.2843	0.3325
Монтаж МА-18	0.7260	0.6627	0.7965
Монтаж обратного клапана	0.3867	0.3547	0.4226
Регулировка перепада давления на входе в двигатель	0.2142	0.2036	0.2240
ТО маслоагрегата МА-18	2.2855	2.1494	2.4216

Рисунок 5. Временные затраты на каждую операцию при обслуживании одного изделия



Рисунок 6. Расчет временных характеристик по имитационной модели

Из рисунков 5 и 6 можно определить на какую операцию по ТО маслоагрегата затрачивается наибольшее количество времени и,

проанализировав ее, можно предложить мероприятия по сокращению её продолжительности, с учетом сохранений требований по обеспечению безопасности полетов.

При рассмотрении модели управления техническим обслуживанием воздушных судов была выдвинута гипотеза о том, что деятельность специалиста при решении задач ТО ВС ГА состоит в формировании структурной модели отношений между элементами. Было предложено использовать в качестве модели управления двух уровневую структуру (рисунок 7).

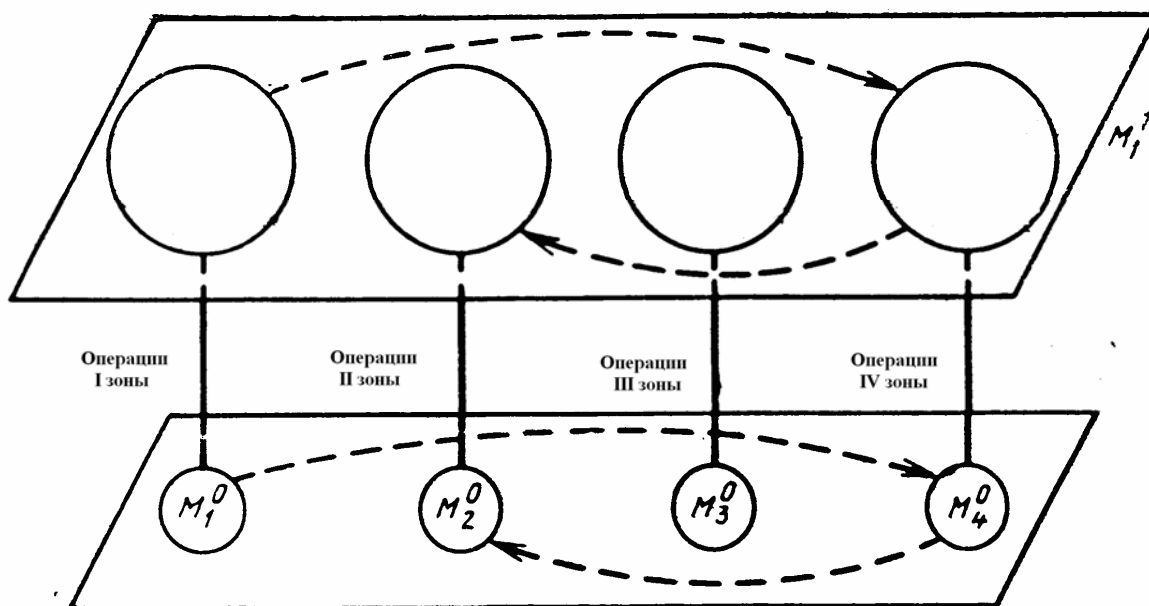


Рисунок 7 – Модель двухуровневой структуры управления

Модель первого уровня  $M_1^1$  состоит из четырех классов операций: операции первой зоны, второй зоны; третьей и четвертой. Последовательность функционирования классов  $M_1^1$  определяет последовательность функционирования моделей нулевого уровня. Принцип экстраполяции, заложенный в данную модель может быть использован для систем, состоящих из любого числа уровней.

**Третья глава** «Разработка системы информационной поддержки принятия решения при реализации производственных процессов ТО ВС ГА» посвящена основам построения систем ТО ВС ГА на базе современных информационных технологий. Разработана модель системы информационной поддержки принятия решения (рисунок 8), которая описывает взаимодействие участников производственного процесса технического обслуживания. Эта модель определяет взаимодействие между: интерфейсом смежников; интерфейсом бригады; интерфейсом со специалистом-оператором; процессом ТО; оперативной программой.

Предложено практическую реализацию системы информационной поддержки принятия решения осуществить путем создания специализированной автоматизированной системы.

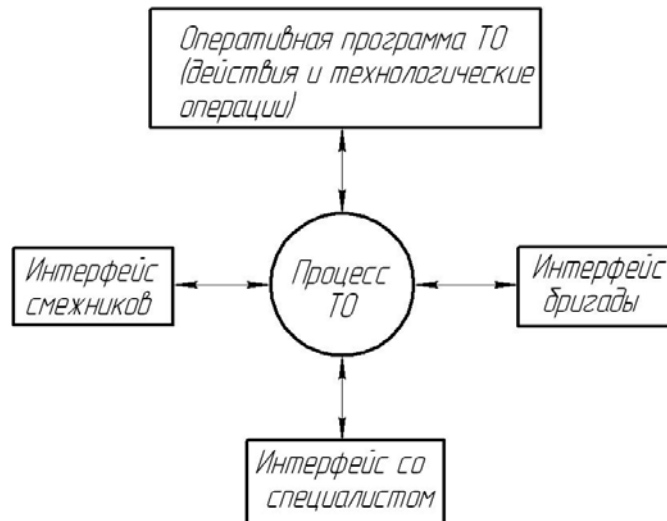


Рисунок 8. Модель взаимодействия участников производственного процесса ТО

Для синтеза этой системы, предложено смоделировать её при помощи сети Петри, что позволяет создать математически строгое описание модели с разделением событий (переходов) и условий их выполнения (рисунок 9).

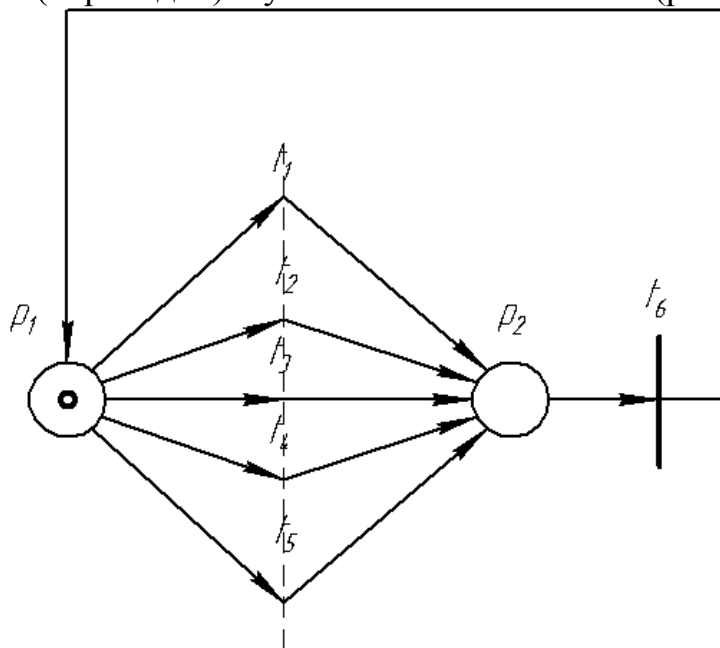


Рисунок 9. Представление сетью Петри модели автоматизированной системы

На рисунке 9 представлены шесть событий и два условия их совершения. Для осуществления событий  $t_i$ , необходимо выполнить условия  $p_i$ .

Событиями являются:

- $t_1$  — выборка и хранение информации о технологических операциях;
- $t_2$  — обработка информации;
- $t_3$  — взаимодействие со специалистом;
- $t_4$  — взаимодействия с бригадой;
- $t_5$  — взаимодействия со смежниками;

$t_6$  — повторение селекции.

В анализ автоматизированной системы, с использованием представления при помощи сети Петри, может быть введена нисходящая иерархическая структура, а каждое событие (переход) в сети высокого уровня может быть разложено на свое собственное представление сетью Петри. Эта декомпозиция выполняется для каждого события (перехода) для любого количества уровней до тех пор, пока декомпозиция каждого уровня сохраняет смысл.

В качестве примера приведена гибкая производственная система (ГПС) технического обслуживания, представленная на рисунке 10, которая включает:

1. Определенное число производственных зон обслуживания.

2. Базы данных ГПС ТО (накопитель информации о технологических процессах ТО).

3. Гибкий автоматический транспортный механизм для загрузки информации о технологических операциях из заданного процесса ТО.

4. ГПС системы транспортировки информации, которая передает информацию между автоматизированным рабочим местом и базой данных.

5. Подсистему технического контроля и диагностики.

6. Станцию диспетчера управления, контролирующего некоторые операции сети.

Используемые события (переходы) соответствуют главным компонентам. Переход  $t_1$  соответствует автоматизированной системе для транспортировки информации;  $t_2$  — автоматизированной системе для производства ТО;  $t_3$  — автоматизированной системе для контроля;  $t_4$  — автоматизированной системе для диспетчерского управления. Функционирование происходит следующим образом: когда переход  $t_1$  активируется и срабатывает, информация, касающаяся различных конструкций и систем ВС, находящихся в обслуживании, используется для перемещения этих компонент по различным производственным ячейкам и зонам накопления.

Часть этой информации поступает в компонент диспетчерского управления, тем самым обеспечивается контроль и анализ статуса системы транспортировки информации, для обеспечения технологического процесса ТО.

Автоматизированная система управления качеством корректирует статус системы путем активизирования автоматизированной системы диспетчерского управления. Кроме того, она активизирует автоматизированную систему транспортировки информации, чтобы накапливать информацию о выполнении технологического процесса, для завершения производства ТО, устранения неисправности или замены агрегатов.

Представление ГПС сетью Петри используется для анализа эффективности системы. Эффективность системы определяется двумя параметрами – временем и стоимостью.

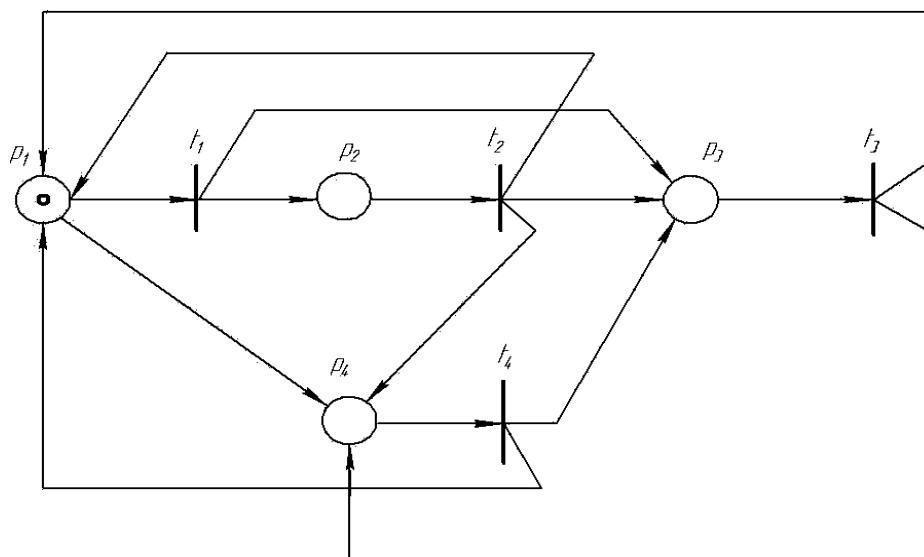


Рисунок 10 – Пример информационной системы для ГПС

Существующие ИУС ТО авиапредприятий построены на основе разветвленного взаимодействия локальных автоматизированных систем решающих отдельные задачи. Предлагается создавать ИУС авиапредприятий, основанных на схеме взаимодействия, представленной на рисунке 11. Достоинством такого взаимодействия, по сравнению с существующим, была бы менее разветвленная структура, с доступом специалиста к различной информации посредством единого интерфейса, что позволит обеспечить быстрый и более достоверный обмен данными.

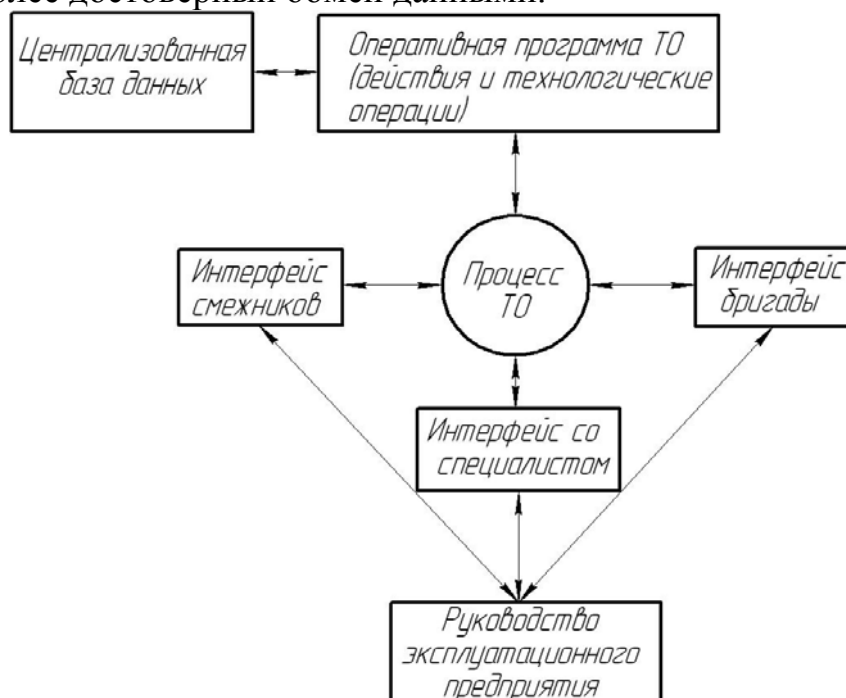


Рисунок 11. Схема взаимодействия в автоматизированной системе авиапредприятия

Предлагаемую схему взаимодействия можно реализовать на основе CALS-технологий.

Интерфейс взаимодействия со специалистом в данном случае представляет собой ИЭТР, которое объединяет часть разветвленной организационно-

информационной структуры организации ТО, а именно: группу информационного обеспечения, группу принятия технического решения и технологии.

Формирование особого класса систем информации, выполняющих функции организаторов сложных процессов ТО требует развития формального аппарата при решении задач взаимодействия. Модель организации взаимодействия при ТО представляет собой Марковский процесс, который позволяет перейти к рассмотрению теоретических проблем идентификации и измерения состояний систем.

$$\begin{aligned}\rho_s(\tilde{s}_t, \tilde{\omega}_t) &= \rho_s(\tilde{s}_{t'}, \tilde{\omega}_{t'}) = s_t, \\ \rho_\omega(\tilde{s}_t, \tilde{\omega}_t) &= \rho_\omega(\tilde{s}_{t'}, \tilde{\omega}_{t'}) = \omega_t,\end{aligned}$$

где  $s$  и  $\omega$  – множество состояний двух взаимодействующих систем  
 $\rho$  – функция взаимодействия.

Задача оценки состояния объекта ТО может быть сформулирована как задача распознавания образа на основе информации о его динамике. При этом максимальное значение информации, которую может получить анализатор о каждом из распознаваемых объектов, основано на Байесовском подходе и составляет:

$$\begin{aligned}I_{\max}(\alpha_K) &= \sum_{X \in X_{ju}} P(\alpha_K) P(X/\alpha_K) \log_2 [P(\alpha_K) P(X/\alpha_K)] + \\ &+ \sum_{Y \in Y_{ju}} P(\alpha_K) P(Y/\alpha_K) \log_2 [P(\alpha_K) P(Y/\alpha_K)];\end{aligned}$$

где  $P(X/\alpha_K)$ ,  $P(Y/\alpha_K)$  – условные вероятности гипотез предполагающих, что предьявленная распознающей системе реализация соответственно  $X$  и  $Y$  является реализацией объекта  $\alpha_K$ .

$P(\alpha_K)$  – вероятность появления реализации каждого объекта.

Модель распознавания состояний и трансформации объекта основывается на предположении, что в общем случае оцениваемый объект имеет многоуровневую структуру составных частей, каждая из которых имеет для изменения состояния свои степени свободы. В результате у каждой из частей может наблюдаться независимость и самостоятельность в характере ее динамики, в способе подвергаться преобразованиям.

**В четвертой главе «Разработка методики создания интерактивных электронно-технических руководств»** представлены модели преобразования существующей документации для технического обслуживания воздушных судов в ИЭТР различных уровней с учетом требований, предьявляемых к руководствам.

Обоснована необходимость перехода от бумажной документации к электронной эксплуатационной документации, созданной в рамках CALS-технологий.

Описаны уровни ИЭТР, их достоинства и недостатки.

Произведен анализ программных продуктов для создания ИЭТР представленных на российском рынке. На основе проведенного анализа было



выбрано программное обеспечение отвечающее основным требованиям, предъявляемым к системам разработки ИЭТР:

- Соответствие международным стандартам, в частности АЕСМА1000D;
- Объединение текстовой информации с аудио и видеоданными и трехмерными моделями;
- Централизованное администрирование системы и управление правами пользователя;
- Автоматизированное управление кодификацией информации.

Созданы модели преобразования действующей документации в ИЭТР различных классов. Для различных классов ИЭТР с учетом их особенностей, рассмотрено расширение их функциональных возможностей при использовании экспертных систем. На основе моделей и с учетом выбранного программного обеспечения подготовлены разделы ИЭТР 4-го класса для технического обслуживания двигателя Д-18 самолета Ан-124-100, фрагмент которого приведен на рисунке 12.

В ИЭТР включена экспертная система, позволяющая принимать решения о техническом состоянии объекта, находящегося в эксплуатации, на основе количества информации, определяемого по методу Байеса.

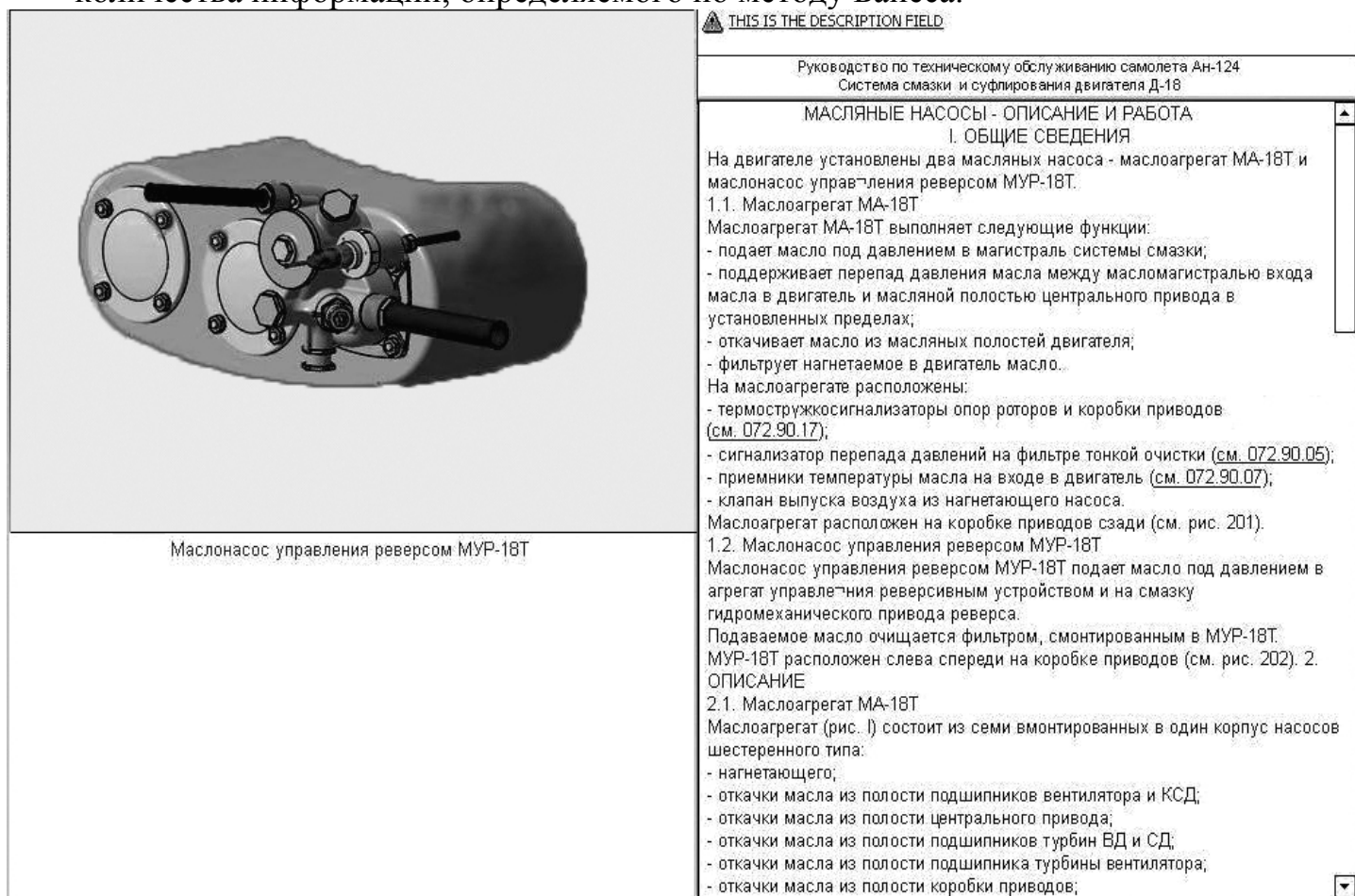


Рисунок 12. Фрагмент ИЭТР для технического обслуживания маслосистемы двигателя Д-18

Данное ИЭТР может использоваться как при проведении конкретных технологических операций, так и при обучении специалистов по ТО.

Был проведен оценочный расчет экономического эффекта от внедрения созданного руководства в зависимости от сокращения времени проведения операций по ТО.

$$\mathcal{E} = \frac{T_{\text{год.нал.}}}{T_{\text{МТО}}} T_{\Delta} \cdot n \cdot (C_{\text{ном-час}} \cdot K_{\text{СН}} + C_{\text{простой ВС}}) - A - N,$$

где  $T_{\text{год.нал.}}$  – средний годовой налет самолета Ан-124-100:  $T_{\text{год.нал.}} = 2200$  ч.;

$T_{\text{МТО}}$  – регламентное время наработки ВС между соседними периодическими ТО:  $T_{\text{МТО}} = 300$ ч.;

$T_{\Delta}$  – выигрыш во времени выполнения работы при использовании разработанного электронно-технического руководства, директивное время выполнения формы – 84 чел.ч:

$C_{\text{ном-час}}$  – стоимость нормо-часа,  $C_{\text{ном-час}} = 714,3$  руб./ч.;

$K_{\text{СН}}$  – коэффициент, учитывающий соц. налоги:  $K_{\text{СН}} = 1,26$ ;

$n$  – количество ВС, эксплуатируемых на предприятии:  $n = 10$ ;

$C_{\text{простой ВС}}$  – стоимость одного часа простоя ВС на ТО:  $C_{\text{простой ВС}} = 92000$ руб./час;

$A$  – стоимость поддержки созданного ИЭТР:  $A = 0,15 \cdot C_{\text{ИЭТР}}$ .

$N$  – стоимость создания ИЭТР. Стоимость создания всего руководства составит  $N = 22400000$  руб.

Для 5%-го сокращения времени с учетом затрат на создание ИЭТР прибыль составит 2853206 руб. Ниже приведен график зависимости относительной прибыли/убытка авиакомпании “Волга-Днепр” от сокращения времени проведения ТО.

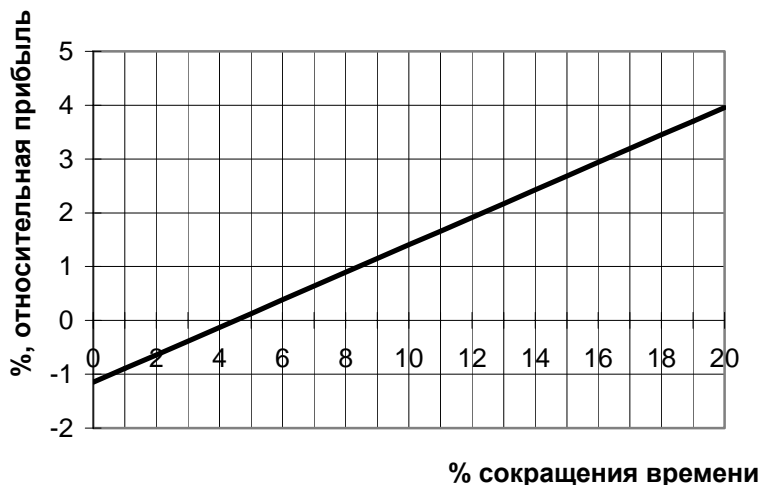


Рисунок 13. График зависимости относительной прибыли от сокращения времени проведения ТО

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

В ходе проведенного исследования были сделаны следующие выводы и получены результаты:

1. Необходимость постоянного снижения затрат на техническую эксплуатацию ВС определяет актуальность и важность решения задач повышения эффективности производственных процессов ТО. Решение этих

задач возможно как путем совершенствования структуры организации производственных процессов с использованием современных методов и средств структурного и имитационного моделирования, так и путем создания информационной поддержки принятия решения при ТО на основе CALS-технологий.

2. Предложена модель организации производственных процессов ТО ВС на основе дискретной ситуационной сети. Модель позволяет в обобщенном виде описывать взаимодействия в системе ТО при реализации производственных процессов, в том числе, и ситуационное поведение специалиста при решении задач по ТО агрегатов и систем ВС.

3. Разработана методика структурно-имитационного моделирования производственных процессов ТО с использованием структурного моделирования на основе SADT-технологий с последующим преобразованием в имитационную модель. Методика позволяет определить и сделать сравнительный анализ характеристик производственных процессов (время выполнения, стоимость и трудоемкость работ). С применением методики проведен анализ эффективности процессов ТО двигателя Д-18 самолета Ан-124.

4. На основе моделирования взаимодействия в системе информационной поддержки принятия решений при реализации производственных процессов ТО ВС показано, что наиболее эффективную схему взаимодействия можно реализовать с использованием CALS-технологий. Интерфейсом взаимодействия в этом случае представляет собой ИЭТР, которое является для специалиста по ТО средством доступа в единое информационное пространство обмена данными.

5. Показано, что практическая реализации производственных процессов ТО ВС неразрывно связано с задачей определения технического состояния объектов ТО, которая может быть сформулирована как задача распознавания образов. Достоверность решения подобных задач напрямую зависит от количества информации о техническом состоянии объекта. Предложен критерий оценки количества информации о техническом состоянии объекта ТО, основанный на Байесовском подходе.

6. Созданы модели преобразования существующей документации в ИЭТР с целью повышения эффективности производственных процессов при выполнении специалистом действий по ТО.

7. С использованием моделей разработано ИЭТР по ТО двигателя Д-18 самолета Ан-124-100, с включенной в него экспертной системой принятия решения, позволяющее: уменьшить время выполнения операций по ТО за счет сокращения времени поиска необходимой информации; снизить количество ошибок при выполнении ТО; использовать при проведении операций менее опытный персонал.

8. Произведен расчет предполагаемого экономического эффекта, от внедрения созданного ИЭТР, который составляет в сумме 2853206 руб.

Разработанное ИЭТР находится в опытной апробации в авиакомпании «Волга-Днепр», а так же используется в учебном процессе при подготовке

специалистов по направлению «Эксплуатация и испытания авиационной и ракетно-космической техники». Акты использования прилагаются.

### **Перечень публикаций по теме диссертации**

в журналах, рекомендованных ВАК:

1. Бочкарев, С.К. Информационная поддержка этапа технической эксплуатации в жизненном цикле изделий авиационной техники [Текст] / С.К. Бочкарев, В.А. Зрелов, Д.Ю. Киселёв, Ю.В. Киселёв, М.Е. Проданов // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королева. – Самара, 2007. Вып. 1(12). – С. 236-246.

в других изданиях:

2. Киселев, Д.Ю. Современные принципы организации взаимодействия в системе технической эксплуатации воздушных судов [Текст] / Д.Ю. Киселев, Ю.В. Киселев, А.Н. Коптев // Сборник статей семинара по неразрушающим методам контроля «Совершенствование технологических процессов технического обслуживания». – Самара: СГАУ, 2007. – С. 96-104.

3. Говердовский, С.А. Энтропийная оценка информативности систем контроля и диагностики авиационной техники [Текст] / С.А. Говердовский, Д.Ю. Киселев, Ю.В. Киселев, С.Н. Тиц // Сборник статей семинара по неразрушающим методам контроля «Совершенствование технологических процессов технического обслуживания». - Самара: СГАУ, 2009. – С. 78-89.

4. Зрелов, В.А. Разработка описания информационной поддержки жизненного цикла изделия на примере авиационного подшипника [Текст] / В.А. Зрелов, Д.Ю. Киселёв, М.Е. Проданов // Вестник СФ МГУП. – М., 2004. – Вып. 4. – С.47–60.

5. Киселев, Д.Ю. Разработка методики подготовки интерактивных электронно-технических руководств как основы информационной поддержки процессов технического обслуживания воздушных судов [Текст] / Д.Ю. Киселев // Сборник статей IV всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективы менеджмента организаций в России». - Самара: СГАУ, 2009. – С. 17-22.

6. Киселев, Д.Ю. Совершенствование производственных процессов технического обслуживания воздушных судов на основе современных информационных технологий [Текст] / Д.Ю. Киселев // Сборник статей IV всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективы менеджмента организаций в России». - Самара: СГАУ, 2009. – С. 28-34.