

*На правах рукописи*

**ПОДДУБНЫЙ ИГОРЬ ВЛАДИМИРОВИЧ**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОСЛЕПРОДАЖНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ  
АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ ПУТЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СТРУКТУР И ПРОЦЕССОВ**

2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация.  
Организация производства

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

Самара – 2023

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» на кафедре эксплуатации авиационной техники.

Научный руководитель:

**Ковалев Михаил Анатольевич**, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», проректор по общим вопросам, профессор кафедры эксплуатации авиационной техники.

Официальные оппоненты:

**Иващенко Антон Владимирович**, доктор технических наук, профессор, директор передовой медицинской инженерной школы, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный медицинский университет»;

**Киселев Эдуард Валентинович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Организация производства и управление качеством» Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева».

**Ведущая организация:** Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский политехнический университет», г. Москва.

Защита состоится 17 мая 2023 года в 12:00 на заседании диссертационного совета 24.2.379.05, созданного на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» по адресу: 443086, г. Самара, Московское шоссе, д.34.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», адрес сайта: [https://ssau.ru/files/resources/dis\\_protection/Poddubnyj\\_I\\_V\\_Sovershenstvovanie\\_posleprodazhnogo\\_obslyzhivaniya.pdf](https://ssau.ru/files/resources/dis_protection/Poddubnyj_I_V_Sovershenstvovanie_posleprodazhnogo_obslyzhivaniya.pdf).

Автореферат разослан \_\_\_\_ . \_\_\_\_\_ 2023 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета 24.2.379.05  
доктор технических наук, доцент

Я. А. Ерисов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Воздушное судно (ВС) является сложным объектом машиностроения и одним из основных элементов авиационной транспортной системы (АТС), которая представляет собой комплекс взаимодействующих эксплуатационных, обслуживающих предприятий (ОП) и ряда других организаций. В условиях постсоветского кризиса в России в системе АТС произошли существенные изменения. Были реформированы структура и функции органов государственной власти гражданской авиации (ГА). Министерство гражданской авиации (МГА) СССР преобразовано в Минтранс РФ, Федеральное агентство воздушного транспорта (ФАВТ) и Ространснадзор – органы законодательной и исполнительной власти с преобладанием контролирующих функций. Переход от государственной плановой экономики к рыночной привёл к изменению форм собственности авиационных предприятий. На этом этапе государство прекратило финансирование поставок авиационной техники (АТ) на авиапредприятия. В целях экономии средств началась замена существенной части парка ВС отечественного производства на ВС иностранных производителей. Эти процессы обусловили неизбежность кардинальной перестройки системы технического обслуживания (ТО). Однако вплоть до настоящего момента для построения и развития организаций по ТО ВС применяется эвристический подход, согласно которому организационная и функциональная структуры строятся на основе обобщенного опыта, сформулированного в виде государственных норм и правил. В условиях повышения требований к безопасности полетов и высокой конкуренции на рынке организаций по ТО нарабатанные шаблоны не позволяют быстро и качественно реагировать на изменения внешних условий, что приводит к значительным затратам ресурсов, прежде всего финансовых.

На этапе реорганизации структур руководители обслуживающих предприятий столкнулись с рядом проблем, решение которых требует системного, методологического подхода:

- созданию точных формализмов для решения задач выбора рациональной структуры, исходя из вводных данных, уделяется мало внимания; проблема построения организации обслуживающих производств по ТО объектов сложного машиностроения, каковыми являются ВС, изучена недостаточно; реорганизация многих структур до сих пор производится методом проб и ошибок и копирования чужих (в основном зарубежных) шаблонов;

- система нормативов и документов, которые формируют экспертную базу для решения частных задач построения организации ТО ВС, написаны на естественном языке, требования к объектам производства изложены в них в общем виде, без привязки к конкретным системам, находящимся в индивидуализированных условиях, что допускает вариативность трактовок. При этом в РФ крайне мало экспертов в области построения современных сложных социотехнических систем, какими являются обслуживающие производства ТО ВС.

В сложившихся условиях для построения рациональной структуры организации обслуживающего производства ТО ВС актуальной является задача создания методологии построения универсальной модели, лежащей в основе множества специфических задач технического обслуживания.

**Степень разработанности темы диссертации.** Анализ существующих работ показывает весьма слабое внимание к теоретической базе построения современных организационных структур ОП ВС и взаимосвязей с внутренними процессами.

Основным направлением научной деятельности является совершенствование технологических процессов при ТО и средств диагностики, улучшение эксплуатационных характеристик АТ, как это сделали Далецкий С.В., Ицкович А.А., Чинючин Ю.М., Журавлев В.И., Иванов В.С., Курило В.М. и другие.

Сегодня наиболее широко исследованы организационные производственные структуры промышленных машиностроительных предприятий, целью которых является производство и выпуск промышленной продукции определенного назначения. Вопросами фундаментальных исследований организационных структур и производственных процессов и их качества

занимались такие ученые, как Иванов Д.Ю., Засканов В.Г., Гришанов Г.М., Васин С.А., Фатхутдинов Р.А., Бойцов Б.В., Бойцов В.В., Васильев В.А., Гличев А.В., Исикава К., Лapidусс В.А., Макэлрой Дж., Тейлор Ф.У. и др. Несмотря на схожесть характера производственной деятельности очень важным отличием в производственной деятельности ОП ВС от промышленных предприятий является стохастичность состояний систем и элементов воздушных судов при обслуживании, что накладывает элемент непредсказуемости в планирование технологических процессов при выполнении основного вида деятельности – ТО ВС. Существующие эвристические методы моделирования, используемые сегодня в построении структур ОП по ТО ВС, не дают желаемого результата ввиду специфики выполнения ТО ВС по сравнению с другими видами производственных структур и являются недостаточными, и потому разработка методов моделирования организации ТО является актуальной.

**Цель работы:** повышение эффективности организации послепродажного обслуживания авиационной техники на примере организации ТО ВС.

**Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи исследования:**

1. Провести исследование состояния теории и практики методов моделирования операционного комплекса обслуживающих производств.
2. Разработать метод синтеза структурной части организации технического обслуживания, исходя из основных положений синтеза образов.
3. Разработать метод синтеза функциональной части организации пространственно-временного образа.
4. Внедрить результаты теоретических исследований на примере авиационного технического центра авиакомпании «Уральские Авиалинии».

**Объектом исследования** является организация производства технического обслуживания воздушных судов, как объект сложного машиностроения (авиационный технический центр – АТЦ).

**Предметом исследования** являются модели организационной структуры и производственных процессов авиационного технического центра.

**Область исследования** соответствует п.16 «Моделирование и оптимизация организационных структур и производственных процессов, вспомогательных и обслуживающих производств. Экспертные системы в организации производственных процессов» и п.23 «Разработка и совершенствование методов и средств планирования и управления производственными процессами и их результатами» паспорта специальности 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства.

**Научная новизна исследования** заключается в создании новых методов структурного и функционального моделирования организационных структур ОП АТ:

- Впервые предложен метод синтеза организации как комплекса взаимосвязанных элементов, обладающих набором заданных характеристик и выраженных в виде булевых функций, в рамках теоретико-множественной модели. Разработанный метод создания формальной математической модели системной организации ТО позволяет определить необходимый состав структуры ОП из условия выполнения полного комплекса задач по поддержанию ВС в состоянии летной годности.

- Разработан метод функционального моделирования организации ТО АТ, отличающийся тем, что впервые процессы ТО выражены в виде пространственно-временных конфигураций движения. С помощью метода порождающих грамматик Н. Хомского описаны действия обслуживающего персонала при ТО АТ и построение образов движения при реализации технологических процессов, планировании времени работ, количества персонала, материалов и необходимого инструмента, и оборудования, что служит инструментом для создания программ планирования и управления ресурсами в ОП при организации послепродажного обслуживания - ТО.

Методы позволяют получить изображение структуры ОП ВС на основе имеющихся исходных данных о ресурсах (человеческих, финансовых, материальных) и существующих ограничениях (экономических и законодательных).

Модели организации, полученные на основе данных о существующей структуре, можно исследовать и получать желаемые результаты (состав структуры, объем аутсорсинга, объемы производства, прибыль предприятия) и, таким образом, влиять на те или иные составляющие (количество специалистов, их квалификация, потребность в экспертных системах и современном оборудовании, количество дополнительного инвестирования) в целях выявления возможностей для ее совершенствования.

Достоинства полученных методов заключаются в том, что, в отличие от используемого сегодня эвристического подхода, они обеспечивают высокую точность результатов, не требуют затрат ресурсов и вследствие универсальности могут использоваться для исследования организации и процессов ТО ВС.

#### **Теоретическая и практическая значимость работы.**

1. Разработанные методы позволяют построить структуру обслуживающего производства авиакомпании в соответствии с требованиями Европейского агентства по безопасности полетов (EASA) и Федерального агентства воздушного транспорта (ФАВТ Минтранса России.).
2. Метод синтеза и анализа структурной части организационной системы позволяет определить состав структуры ОП АТ.
3. Математический аппарат моделирования ТО АТ позволяет определять необходимое количество ресурсов для выполнения заявленного объема работ и осуществлять планирование деятельности авиационного технического центра (АТЦ).
4. Разработанный метод формирования пространственно-временной структуры организации обслуживающего производства позволяет осуществить выбор оптимального состава структуры организации по ТО и ее наполнения в зависимости от потребностей авиакомпании и вводных данных об имеющейся инфраструктуре (цехах, офисах, инструменте, оборудовании) и необходимом авиационном персонале, а также проводить их анализ без финансовых затрат, т.е. до создания реального производства.

**Методология и методы исследования.** Решение задач диссертационной работы осуществлялось на основе теории образов, системного анализа, теории систем, теории множеств, метода порождающей грамматики Н. Хомского, теории графов.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Обоснование применения законодательно–нормативной базы государственных авиационных администраций как основы для применения экспертного метода при моделировании сложных систем технического обслуживания.
2. Метод теоретико-множественного моделирования в рамках точного формализма для определения необходимого состава структуры организации ОП ТО ВС.
3. Применение метода пространственно-временного моделирования, основанного на методе порождающих грамматик Н. Хомского, при создании функциональной составляющей структуры ТО ВС авиакомпании для создания инструмента программирования планирования и управления ресурсами при организации ТО.
4. Метод моделирования при создании реальной структуры обслуживающего производства на примере АТЦ авиакомпании «Уральские Авиалинии».

**Степень достоверности и апробация результатов.** Достоверность полученных результатов научных положений, выводов и практических рекомендаций подтверждается строгим теоретическим обоснованием и корректным применением разработанных методов на практике построения рациональной организационной структуры, а также при оптимизации процессов реорганизации структуры АТЦ авиакомпании «Уральские Авиалинии». Практические результаты и основные положения диссертационной работы докладывались на XXI Всероссийском семинаре по управлению движением и навигации летательных аппаратов (Самара, Самарский университет, 2021 г.), международной научно-

технической конференции «Проблемы и перспективы развития двигателестроения» (Самара, Самарский университет, 2021 г.), XIV Всероссийской научной конференции «Актуальные проблемы развития авиационной техники и методов ее эксплуатации» (Иркутск, Иркутский филиал МГТУ ГА, 2022 г.)

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы из 74 наименований. Общий объём диссертации составляет 168 страниц, включая 19 таблиц, 42 рисунка.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, степень её разработанности, определены цель и задачи исследования, охарактеризована научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, определены положения, выносимые на защиту, раскрыта степень достоверности и апробация работы.

**В первой главе** рассмотрены вопросы теории и практики формирования структур АТС в России и за рубежом. Представлена характеристика процесса формирования АТС ГА в России в постсоветский период. Отмечается, что реформирование государственной структуры гражданской авиации СССР, переход предприятий ГА к работе в рыночных условиях вызвал комплекс проблем, связанных с адаптацией к новым экономическим условиям и с освоением ВС иностранного производства. Первая выявленная проблема обусловлена необходимостью перестраивать внутренние связи ОП и налаживать внешние связи с государственными организациями и субподрядными предприятиями. Вторая выявленная проблема касается сертификации иностранных ВС, созданных в европейской и американской законодательно-правовой среде, осуществление которой требует перестройки законодательной базы России либо адаптации российских авиапредприятий к европейскому авиационному законодательству. Решение данных проблем упирается в необходимость модернизации организационной структуры для создания эффективного современного авиационного предприятия. В этих целях был систематизирован опыт существующих обслуживающих производств авиакомпаний, наработанный в ходе модернизации организационных структур.

Анализ практики показал:

- отсутствие в России экспертов в построении сложных структур элементов АТС, какими являются обслуживающие производства по ТО ВС;

- наличие множества разногласий между требованиями ФАВТ (Федеральное Агентство Воздушного Транспорта Минтранса РФ) и FAA (Federal Aviation Authority of USA) с EASA (European Aviation Safety Agency), несмотря на общность основы, заложенной в рекомендациях Международной организации гражданской авиации (ICAO).

В результате сложилась ситуация, когда принятие решений при перестройке структур производится путем копирования неприменимых к отечественным условиям шаблонов структур иностранных технических организаций, что приводит к значительным финансовым потерям. Такой путь на начальном этапе был избран Аэрофлотом, S7 airlines, Ural Airlines, WIM Avia, Air Union. Ввиду значительных экономических потерь часть компаний прекратила свое существование. Согласно данным статистики Росавиации из 415 компаний (1993 г.) в настоящее время только 108 продолжают операционную деятельность. Резкое сокращение стало следствием отсутствия адекватной модели, которая позволила бы при наличии определенных вводных данных воспроизвести поведение структуры организаций в различных условиях и получить результаты без построения реального производства. Проведён анализ литературы и рассмотрены методические подходы к созданию организационных структур промышленных предприятий, наиболее близких к структурам обслуживающих производств авиакомпаний. Исследованы экспертный метод, метод аналогий и метод организационного моделирования. Проведенные исследования позволили сформулировать цель и задачи диссертационной работы.

**Во второй главе** диссертации разработан метод моделирования структурной части обслуживающего производства авиакомпании, основанный на теории множеств и на положениях теории образов.

Исходя из основных положений теории образов, образ исследуемой системы представляет собой множество конфигураций, построенных из простейших неделимых объектов, составляющих структуру обслуживающего предприятия ВС. Состав неделимых объектов определен с помощью экспертного метода: в качестве экспертных оценок приняты рекомендации ИКАО и созданные на их основе более конкретизированные требования EASA к элементам структуры, описанные естественным языком.

Современный АТЦ представляет собой многозвенную структуру, которая решает множество специфических задач. К основным из них относятся:

- техническое обслуживание ВС, выполняемое в департаменте технического обслуживания (ДТО);
- выполнение процедур поддержания летной годности (ПЛГ), осуществляемое в департаменте поддержания летной годности (ДПЛГ);
- материально-техническое обеспечение (МТО), выполняемое департаментом бюджетного планирования и материально-технической поддержки (ДБПиМТП);
- обеспечение качества департаментом управления качеством (ДУК).

Нормы EASA (приложение EASA Part-145) представляют собой свод описаний всех аспектов деятельности АТЦ, касающихся ТО ВС, и ряд требований без конкретизации структуры.

Для преобразования описания в математический вид по единому принципу создано множество предикатов, описывающих основные элементы структуры. Предикаты авиационных специалистов созданы на основе утверждений, содержащих переменные, описывающие их свойства. Характеристики или свойства, присущие авиационным специалистам, описаны в требованиях EASA Part-145 в главе a35 и a30 и включают такие критерии, как образование, уровень профессиональной подготовки, опыт работы и состояние здоровья авиационного специалиста:

*АМС 145.А.35(а) Технический персонал категории В1 и В2, выполняющий ТО АТ*

*- Адекватное понимание соответствующего ВС и/или компонента(ов) ВС, которое необходимо поддерживать вместе со связанными процедурами организации, означает, что это лицо прошло обучение и имеет соответствующий опыт технического обслуживания по типу продукции и связанным процедурам организации таким образом, что это лицо понимает, как функционирует продукт, каковы бывают наиболее распространенные дефекты с соответствующими последствиями.*

Приведенное высказывание характеризует квалификацию технического специалиста и подчеркивает необходимость демонстрации:

- 1) знаний о конструкции и правилах эксплуатации типа ВС и/или компонента (наличие сертификата об их изучении);
- 2) факта периодического повторения изученного материала (наличие учебных ведомостей и экзаменационных листов);
- 3) накапливаемого опыта работы (наличие персонального дневника с записями о выполненных на ВС работах в соответствии с программой ТО);
- 4) изучения процедур организации, в которой работает специалист (наличие ведомостей и экзаменационных листов);
- 5) знаний о распространенных дефектах и их последствиях (наличие экзаменационных листов).

Полученная информация представлена в виде булевых переменных  $(h,j,g,l,v)$  соответственно, которые в образе специалиста играют роль образующих и приобретают значения  $\{1;0\}$  в зависимости от их присутствия или отсутствия.

Образ авиационного специалиста (авиатехников  $b1$  и  $b2$  и механиков  $m$ ) представлен в виде предикатов  $b1(h,j,g,l,v)$ ,  $b2(h,j,g,l,v)$  и  $m(h,j,g,l,v)$ , которые будут приобретать истинные

значения, в случае если операция конъюнкции всех включенных булевых переменных будет давать «1» или «правду».

Для упрощения записи предиката использовано понятие функции (в данном случае булевой функции и образ специалиста по самолету и двигателям (СиД):

$$b1|F(145,a30/a35), \quad (1)$$

что означает: образ специалиста  $b1$  есть функция от всех булевых переменных, взятых из высказываний в пунктах параграфа 145.a30 и a35 приложений EASA Part145.

Таким образом, созданы предикаты – образующие всех специалистов, занятых на ТО АТ авиатехников  $b1$  и  $b2$  и механиков  $m$ :

$$\begin{cases} B1 = \{b1|F(145,a35)\}; \\ B2 = \{b2|F(145,a35)\}; M \neq B1; B1 \neq B2; M \neq B2; \\ M = \{m|F(145,a30)\}. \end{cases} \quad (2)$$

Аналогичным образом построены конфигурации бригады, рабочей смены, цеха. Бригада состоит из множества авиаспециалистов различных специальностей. Бригада может быть представлена в виде:

$$B = \{b^*, b1_1, b1_2, \dots, b1_n, b2_1, \dots, b2_m, \dots, m_1, \dots, m_k\} = \{B1 \cup B2 \cup M\}. \quad (3)$$

Участок состоит из множества бригад и возглавляется инженером ( $e$ –инженер). Соответственно по аналогии с бригадой участок можно описать:

$$Se = \{e, B\} = \{e, \{b1_1, b1_2, \dots, b1_n, b2_1, \dots, b2_m, m_1, \dots, m_k\}\} = \{b_1^*, B1 \cup B2 \cup M\}. \quad (4)$$

Цех ТО состоит из самостоятельных участков, управляемых руководителем цеха  $e^*$  – инженером, обладающим достаточным опытом работы, навыками и необходимыми для руководителя цеха свойствами:

$$W = \{e^*, Se\} = \left\{ e^*, \left\{ e \{ b^*, \{ b_1 \}, \{ b_2 \}, \{ m \} \} \right\} \right\} = \left\{ e^*, \left\{ e, \{ b_1^*, \{ B1 \cup B2 \cup M \} \} \right\} \right\} \quad (5)$$

$$W_{то} = \{e, \{b_1^*, \{b_1\}, \{b_2\}, \{m\}\} \cup \{i|F(AMM; 145, a40)\} \cup \{D1 \cup \{d|F(145.a.45)\}\} \cap \{a|F(145.a.25)\}\} = \{e, \{B\} \cup \{I\} \cup \{D\} \cup \{A\}\}. \quad (6)$$

Здесь учтены элементы инфраструктуры:  $I$  – инструмент,  $A$  – производственные и офисные помещения и  $D$  – нормативная и техническая документация, используемая при ТО ВС и созданная из документации  $D1$  – предоставляемой разработчиком типа ВС.

Аналогичным образом созданы предикаты элементов, описанных в других частях EASA Part-145 и Part-M, имеющих непосредственное отношение к ТО ВС. Были созданы образы таких составляющих, как инструмент, наземное оборудование, помещения цехов, ангаров и складов.

В общем виде теоретико-множественная модель ДТО АТЦ:

$$ДТО = \{M_{то}, W_{то} \cup W_K \cup W_{тех} \cup W_{пдо} \cup W_{и}\}. \quad (7)$$

Помимо цеха технического обслуживания в департамент ТО АТЦ входят цеха обслуживания компонентов  $W_K$ , технологический отдел  $W_{тех}$ , отдел производственного планирования  $W_{пдо}$ , инструментальная кладовая  $W_{и}$ . Департамент технического обслуживания возглавляется руководителем департамента ТО – начальником производства –  $M_{то}$ .

Более детальный вид модели теоретико-множественной модели ДТО АТЦ:

$$ДТО = \left\{ \begin{array}{l} \begin{cases} B1 = \{b1|F(145, a35)\}; \\ B2 = \{b2|F(145, a35)\}; \\ M = \{m|F(145, a30)\}; \\ M \neq B1; B1 \neq B2; M \neq B2, \text{ но } M \subseteq B1; \\ e \in B1 \cap B2 \cap C; \end{cases} \\ B = \{b1_1, b1_2, \dots, b1_n, b2_1, \dots, b2_m, \dots, m_1, \dots, m_k, \emptyset\} = \{B1, B2, M\} = \{B1 \cup B2 \cup M\}; \\ Se = \{b_1^*, B\} = \{b_1^*, \{b1_1, b1_2, \dots, b1_n, b2_1, \dots, b2_m, \dots, m_1, \dots, m_k, \emptyset\}\} = \{b_1^*, B1 \cup B2 \cup M\}; \\ W = \{e, Se\} = \left\{ e, \left\{ b_1^*, \{ b1 \}, \{ b2 \}, \{ m \} \right\} \right\} = \left\{ e, \left\{ b_1^*, \{ B1 \cup B2 \cup M \} \right\} \right\}; \\ I = \{i|F(AMM; 145, a40)\}; \\ D \in D1 \cup \{d|F(145.a.45)\}; \\ A = \{a|F(145.a.25)\}. \end{array} \right. \quad (8)$$



Далее созданы конфигурации департаментов ДПЛГ, ДУК, ДБД и МТП:

$$\text{ДПЛГ} = \left\{ \begin{array}{l} E = \{e | F(M, a.706)\}; e \in B1 \cap B2 \cap C; \\ \text{AMM}|F(ac) \in \text{AMM} \text{ и } \text{AMM}|F(ac) \subset \text{AMM}; \\ \text{TSM}|F(ac) \in \text{TSM} \text{ и } \text{TSM}|F(ac) \subset \text{TSM}; \\ \text{AD}|F(ac) \in \text{AD} \text{ и } \text{AD}|F(ac) \subset \text{AD}; \\ \text{SB}|F(ac) \in \text{SB} \text{ и } \text{SB}|F(ac) \subset \text{SB}; \\ \text{MEL} \in \text{MMEL}; \text{MEL} \subset \text{MMEL}; \\ \text{MPD} \in \text{MP}; \text{MPD} \subset \text{MP}; \\ \text{ATLB}|F(ac) \in \text{ATLB} \text{ и } \text{ATLB}|F(ac) \subset \text{ATLB}; \\ \text{D1} = \{\text{MPD}, \text{MMEL}, \text{CDL}, \text{AD}, \text{SB}, \text{AMM}, \text{TSM}, \text{ATLB}, \dots, \phi\}; \\ \text{D2} = \{\text{MP}, \text{MEL}, \text{CDL}, \text{AD}|F(ac), \text{SB}|F(ac), \text{AMM}|F(ac), \text{TSM}|F(ac), \text{ATLB}|F(ac)\}; \\ \text{D2} \subset \text{D1}; \\ W_i = \{e^*, \{e\} \cup \{\text{AMM}, \text{TSM}, \text{CDL}, \text{AD}, \text{SB}, \text{MPD}, \text{MMEL}, \text{ATLB}, \dots, \phi\} \cup \{a|F(145.a.25)\}\}; \\ \text{ДПЛГ} = \{M_{\text{ДЛГ}}, W_i \cup W_p \cup W_{\text{мсс}}\}. \end{array} \right. \quad (9)$$

где  $M_{\text{ДЛГ}}$  – руководитель ДПЛГ,  $W_i$  – отдел инжиниринга,  $W_p$  – подразделение планирования ТО,  $W_{\text{мсс}}$  – инженерно-координационный центр, координирующий ТО ВС вне базы (на аутсорсинге). Уравнения с 2 по 7 системы (9) описывают структуру технической и эксплуатационной документации, применяемой при ТО в целях ПЛГ.

$$\text{ДУК} = \{M_Q, W_{qA} \cup W_{qc}\}, \quad (10)$$

$M_Q$  – руководитель департамента УК,  $W_{qA}$  – отдел аудитов,  $W_{qc}$  – отдел контроля качества ТО.

$$\text{ДБПиМТП} = \{M_{\text{МТС}}, W_{\text{лог}} \cup W_{\text{ст}} \cup W_{\text{агр}} \cup W_1 \cup W_C\}, \quad (11)$$

здесь  $M_{\text{МТС}}$  – руководитель ДБПиМТП;  $W_{\text{лог}}$  – отдел управления логистикой,  $W_{\text{ст}}$  – отдел управления складским имуществом,  $W_{\text{агр}}$  – договорной отдел;  $W_1$  – юридический отдел,  $W_C$  – подразделение таможенной очистки.

Обобщенная модель представляет собой идеальную теоретико-множественную модель технического обслуживания ВС в АТЦ.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{ДПЛГ} = \{M_{\text{ДЛГ}}, W_i \cup W_p \cup W_{\text{мсс}}\}; \\ \text{ТО} = \{\text{ТО}_{\text{ПЛ}} \cup \text{ТО}_{\text{ДВ}} \cup \text{ТО}_{\text{Ш}} \cup \text{ТО}_{\text{ВСУ}} \cup \text{ТО}_{\text{комп}}\}; \\ \text{ДБПиМТП} = \{M_{\text{МТС}}, W_{\text{лог}} \cup W_{\text{ст}} \cup W_{\text{агр}} \cup W_1 \cup W_C\}; \\ \text{ДУК} = \{M_Q, W_{qA} \cup W_{qc}\}; \\ \text{АТЦ} = \text{ДПЛГ} \cup \text{ТО} \cup \text{ДУК} \cup \text{ДБПиМТП} \end{array} \right. \quad (12)$$

Разработанный метод позволяет определить основной состав множества элементов структуры ТО и отношения между ними.

**В третьей главе** разработана методика построения пространственно-временной математической модели процессов технического обслуживания ВС. Разработан синтаксический подход к представлению процессов функционирования основных форм обслуживания ВС на примере формы Daily-check (простейшей регламентной формы ТО ВС, выполняемой один раз в 24-72 астрономических часов) для самолета А320.

Для создания формального языка вербальное описание процессов ТО переведено в математический аппарат с использованием синтаксического подхода распознавания образов и порождающей грамматики (грамматики Н. Хомского)  $G = (N, V, S, P)$ , где  $N$  – нетерминальный алфавит;  $V$  – терминальный алфавит;  $S$  – выделенный символ нетерминального алфавита, называемый аксиомой;  $P$  – конечное множество правил вывода. Нетерминальный алфавит для ТО ВС:

$$N = \{\langle In \rangle, \langle Th \rangle, \langle Pr \rangle, \langle D \rangle, \langle W \rangle, \langle M \rangle\}. \quad (13)$$

Терминальный алфавит включил в себя транскрипции, соответствующие действиям (таблица 1), выполняемым специалистом при осуществлении технологических процессов:

$$V = \left\{ \begin{array}{l} \langle vi \rangle, \langle re \rangle, \langle de \rangle, \langle me \rangle, \langle id \rangle, \langle a \rangle, \langle e \rangle, \langle du \rangle, \langle tb \rangle, \langle pr \rangle, \\ \langle n \rangle, \langle mel \rangle, \langle r \rangle, \langle crs \rangle, \langle rp \rangle, \langle d \rangle, \langle as \rangle, \langle f \rangle, \langle p \rangle \end{array} \right\} \quad (14)$$

Таблица 1-Терминальный и нетерминальный алфавиты, применимые ко всему ТО ВС

Нетерминальный алфавит N		Терминальный алфавит V	
Описание процесса		Название процедуры	Индекс (буква)
Получение информации об объекте	In	Осмотр	vi (view)
		Поиск	re (research)
		Нахождение	de (determination)
		Измерение	me (measurement)
Процесс мышления	Th	Идентификация	id (identification)
		Оценка	a (assessment)
		Оценивание	e (estimation)
Обеспечение работ	Pr	Транспортировка со склада	bu (bring up)
		Транспортировка на склад	tb (take back)
		Подготовка ТО	pr (preparation)
		Окончание ТО	n (nesting)
Принятие решения	D	Перенос времени устранения дефекта	mel
		отклонение	r (reject)
		выпуск	crs
Выполнение работы	W	Восстановление (регулировка, смазка, подтяжка и др.)	rp (repair)
		демонтаж	d(disassembling)
		монтаж	as (assembling)
		заправка (топливом, маслом, газами)	f (fill)
		переход	p (passage)
Выполнение ТО	M	maintenance	M

Построена математическая модель процессов обслуживания в виде системы уравнений:

$$\mathcal{L}_M(G) = \{\ell: M \vdash^*_G \ell, \ell \in \mathcal{L}^*\}, \quad (15)$$

где

$$G = \left( \begin{array}{l} N = \{\langle In \rangle, \langle Th \rangle, \langle Pr \rangle, \langle D \rangle, \langle W \rangle, \langle M \rangle\}; \\ V = \left\{ \begin{array}{l} \langle vi \rangle, \langle re \rangle, \langle de \rangle, \langle me \rangle, \langle id \rangle, \langle a \rangle, \langle e \rangle, \langle du \rangle, \langle tb \rangle, \langle pr \rangle, \langle n \rangle, \\ \langle mel \rangle, \langle r \rangle, \langle crs \rangle, \langle rp \rangle, \langle d \rangle, \langle as \rangle, \langle f \rangle, \langle p \rangle \end{array} \right\}; \\ M; \\ \langle M \rangle \rightarrow \langle In \rangle \langle Th \rangle \langle D \rangle \langle Pr \rangle \langle W \rangle \langle Pr \rangle \langle Th \rangle \langle D \rangle; \\ \langle \ell_1 \rangle \rightarrow \langle vi \rangle \langle re \rangle \langle de \rangle \langle me \rangle \langle id \rangle \langle a \rangle \langle crs \rangle \langle p \rangle; \\ \langle \ell_2 \rangle \rightarrow \langle vi \rangle \langle re \rangle \langle de \rangle \langle me \rangle \langle id \rangle \langle a \rangle \langle r \rangle \\ \langle \ell_3 \rangle \rightarrow \langle vi \rangle \langle re \rangle \langle de \rangle \langle me \rangle \langle id \rangle \langle a \rangle \langle r \rangle \langle pr \rangle \langle bu \rangle \langle d \rangle \langle as \rangle \langle n \rangle \langle tb \rangle \langle crs \rangle \langle p \rangle; \\ \langle \ell_4 \rangle \rightarrow \langle vi \rangle \langle re \rangle \langle de \rangle \langle me \rangle \langle id \rangle \langle a \rangle \langle r \rangle \langle e \rangle \langle pr \rangle \langle bu \rangle \langle rp \rangle \langle n \rangle \langle tb \rangle \langle crs \rangle \langle p \rangle; \\ \langle \ell_5 \rangle \rightarrow \langle vi \rangle \langle re \rangle \langle de \rangle \langle me \rangle \langle id \rangle \langle a \rangle \langle r \rangle \langle e \rangle \langle mel \rangle \langle crs \rangle \langle p \rangle. \end{array} \right). \quad (16)$$

Для создания модели (15) использован созданный формальный язык, описывающий возможные цепочки  $\ell$  событий и технологических процессов, составленные по правилам, которые в свою очередь в реальных ситуациях являются технологиями разработчика ВС и приводят к исправному состоянию воздушного судна.

Аналогичным образом строятся языки для различных работ по обслуживанию ВС, к примеру для программных операций, используемых в периодическом ТО для каждой системы в отдельности либо для ремонта элементов конструкции ВС.

Помимо технологических операций, выполняемых непосредственно при ТО ВС, возможно создать языки процессов, осуществляемых в логистике, информационном обеспечении и управлении качеством. Затем методом конкатенации языков, т.е. их различного объединения, мы получим все варианты цепочек, выстраиваемых в функциональную структуру АТЦ в рамках ее организационной структуры.

Создан описательный язык - визуальные образующие – конкретные технологические процедуры (таблица 2), которые соответствуют технологическим процессам разработчика ВС и внутренним процедурам технической организации.

На примере обслуживания шины колеса на ВС в зонах 11 или 16 (рисунок 1) для создания конфигурации использованы символы, описанные в таблице 2, построена пространственно-временная диаграмма (рисунок 2).

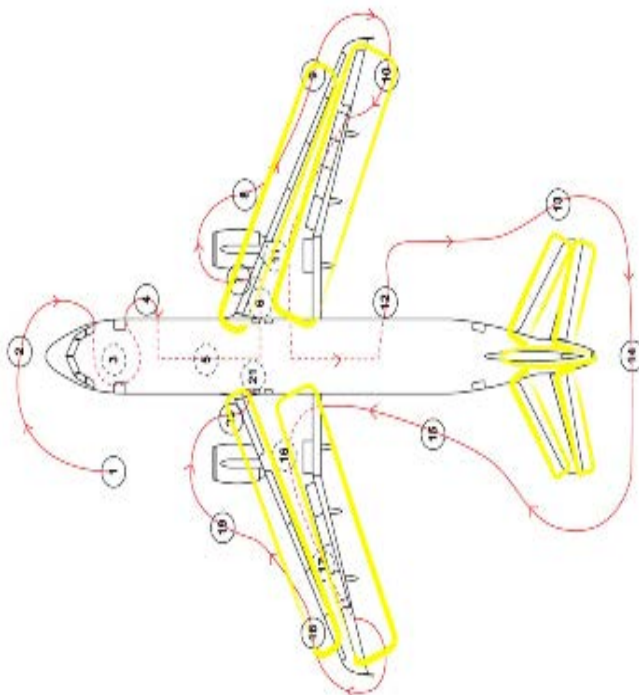


Рисунок 1- Визуальный осмотр ВС по маршруту в процессе Daily-check

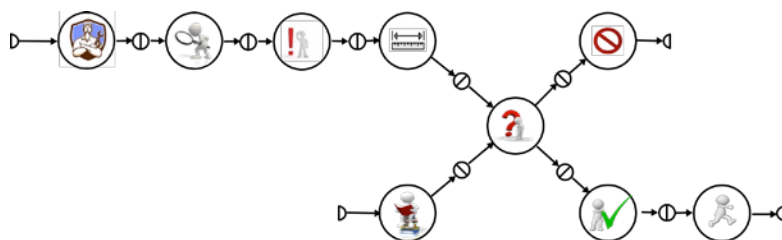


Рисунок 2 - Конфигурация обслуживания шины колеса стойки шасси






Полученная конфигурация состоит из образующих, обладающих признаками (описанием, временем и количеством исполнителей), что дает возможность смоделировать определенную часть процесса с конечным результатом, описать время, за которое она будет выполнена, и количество необходимых исполнителей для ее выполнения. Данная диаграмма соответствует цепочке исправного состояния элемента:

$$\{L_1\} \rightarrow \{vi\}\{re\}\{de\}\{me\}\{id\}\{a\}\{crs\}\{p\} \quad (17)$$

В привязке к нумерации таблицы 2 она показывает следующую последовательность образующих – процессов:

- специалист производит поиск (2) видимых повреждений, изучает боржурнал на наличие предшествующих записей о ранее обнаруженных повреждениях;
- обнаруживает (3) и отмечает вновь найденные повреждения и фиксирует текущие значения параметров, обязательных к измерению;
- производит замер (4) текущих параметров ранее отмеченных повреждений;
- обращается к документации разработчика (5), сопоставляя информацию из технической документации с полученными данными о повреждениях и состоянии индикаторов;
- инженер или бригадир на основании предоставленных данных производит их оценку (6) и либо отбраковывает (14) элемент, отклоняя от эксплуатации с оформлением бортового журнала (внося причину отклонения от эксплуатации), либо допускает (15) элемент к дальнейшей эксплуатации с оформлением бортового журнала (при обнаружении новых повреждений и внесении новых значений измерений, обязательных к контролю).

Таблица 2-Символы и характеристики технологических процессов ТО

№	Описание простых технологических процессов	Название	Символ	Индекс	Свойства - ресурсы (целевые показатели)			
					время	Специалисты	материалы	инструмент
1	Визуальный осмотр агрегата при ТО ( <b>view</b> )	Осмотр		vi	t <sub>1</sub>	X	0	Y <sub>1</sub>
2	Поиск факторов неработоспособности агрегата, узла, детали $\delta_j^o$ . Изучение бортовой документации ( <b>research</b> )	Поиск		re	t <sub>2</sub>	X	0	Y <sub>2</sub>
3	Обнаружение фактора неработоспособности, либо остановка внимания на объекте, требующем измерения ( <b>determination</b> )	Нахождение		de	t <sub>3</sub>	X	0	0
4	Замер параметра $x_i^o$ ( <b>measurement</b> )	Замер		me	t <sub>4</sub>	X	0	Y <sub>4</sub>
5	Определение допуска $\delta_j^i$ или поля допусков параметра $x_i^i$ в технической документации ( <b>identification</b> )	Идентификация		id	t <sub>5</sub>	X	0	Y <sub>5</sub>
6	Сравнение найденного фактора $\delta_j^o$ и параметра $x_i^o$ с эталонами $\delta_j^i$ и $x_i^i$ ( <b>assessment</b> )	Оценка		a	t <sub>6</sub>	X	0	0
7	Перемещение запчасти со склада на воздушное судно для установки ( <b>bring up</b> )	Транспорт 1		bu	t <sub>7</sub>	X	Z <sub>7</sub>	Y <sub>7</sub>
8	Перемещение снятой отстраненной от эксплуатации части на склад неисправных агрегатов ( <b>take back</b> )	Транспорт 2		tb	t <sub>8</sub>	X	Z <sub>2</sub>	Y <sub>8</sub>
9	Подготовительные работы по замене неисправного агрегата ( <b>preparation</b> )	Подготовка		pr	t <sub>9</sub>	X	Z <sub>9</sub>	Y <sub>9</sub>
10	Заключительные работы по замене, приборка рабочего места ( <b>nesting</b> )	Приборка		n	t <sub>10</sub>	X	Z <sub>10</sub>	Y <sub>10</sub>
11	Демонтажные работы ( <b>disassembling</b> )	Демонтаж		d	t <sub>11</sub>	X	0	Y <sub>11</sub>
12	Монтажные работы ( <b>assembling</b> )	Монтаж		as	t <sub>12</sub>	X	Z <sub>12</sub>	Y <sub>12</sub>
13	Заправка системы рабочим газом или жидкостью, если это требуется ( <b>fill</b> )	Заправка		f	t <sub>13</sub>	X	Z <sub>13</sub>	Y <sub>13</sub>
14	Принятие решения об отстранении агрегата от эксплуатации ( <b>reject</b> )	Отклонение		r	t <sub>14</sub>	X	0	0
15	Принятие решения об исправности	Допуск		crs	t <sub>15</sub>	X	0	0
16	Переход к следующей зоне осмотра ( <b>passage</b> )	Переход		p	t <sub>16</sub>	X	0	0
17	- Сопоставление оценок и данных и оценивание состояния ВС или его элемента как «исправного» или «неисправного»; - Анализ оценок и состояния имеющихся ресурсов (материальных, человеческих, информационных) ( <b>estimation</b> )	Оценивание		e	t <sub>17</sub>	X	0	0





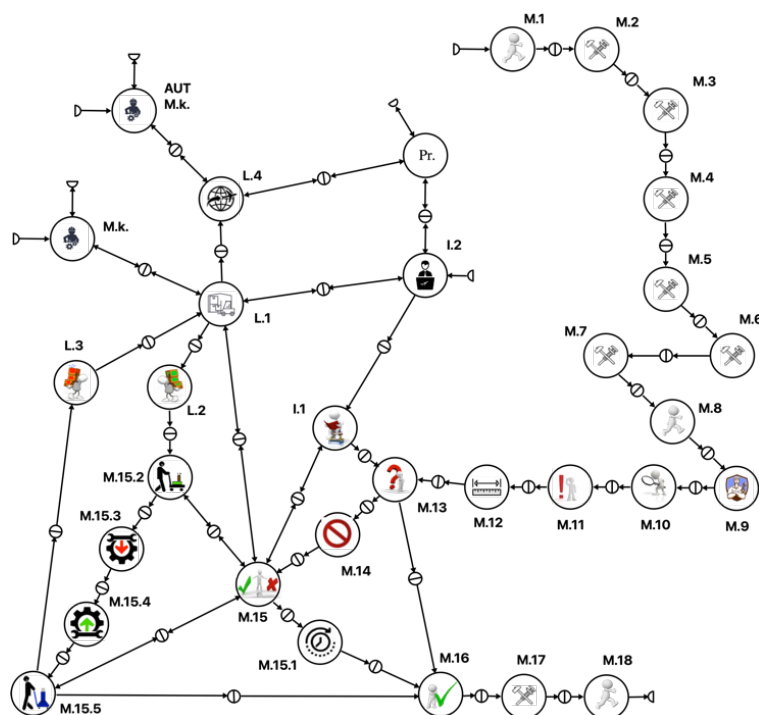


Рисунок 4 - Изображение обслуживания стойки шасси

Таблица 3 - Описание изображения обслуживания стойки шасси

	Индекс	Описание образующей (макροобразующей)
1	M.1	Переход от зоны 5(15) к зоне 6 (16)
2	M.2-M.7	Обслуживание элементов стойки шасси
3	M.8	Переход к обслуживанию второго тормоза
4	M.9	Осмотр второго тормоза
5	M.10	Поиск дефектов
6	M.11	Акцентирование внимания на индикаторах износа
7	M.12	Измерение индикаторов износа
8	M.13	Оценка состояния второго тормоза
9	M.14	Отклонение тормоза по состоянию
10	M.15	Оценивание возможностей замены тормоза или откладывания дефекта
11	M.15.1	Откладывание дефекта по MEL
12	M.15.2	Подготовка к замене тормоза
13	M.15.3	Демонтажные работы
14	M.15.4	Монтажные работы
15	M.15.5	Уборка рабочего места
16	M.16	Оценка состояния тормоза, как «исправное» и допуск к эксплуатации
17	M.17	Обслуживание первого тормоза
18	M.18	Переход к зоне 7(17)
19	I.1	Обращение к ТД, относящейся к этому ВС (АММ, MEL)
20	I.	Инжиниринг авиакомпании
21	L.2и L.3	Транспортировка исправного тормоза со склада и неисправного на склад
22	L.1	Процедуры хранения на складе
23	L.4	Процедуры транспортировки запчастей
24	M.k.	Процедуры ТО агрегатов в цехе компонентов в АТЦ
25	OUT M.k.	Процедуры технического обслуживания агрегатов на специализированном предприятии (аутсорсинг)

Получена система языков, которая описывает структуру всех основных направлений функционирования АТЦ при обеспечении исправного состояния ВС флота авиакомпании:

$$\mathcal{L}_{\Sigma}(G) = \begin{cases} \mathcal{L}_M(G) = \{\ell: M \vdash^*_G \ell, \ell \in \mathcal{L}^*\} \\ \mathcal{L}_I(G) = \{\ell: I \vdash^*_G \ell, \ell \in \mathcal{L}^*\} \\ \mathcal{L}_L(G) = \{\ell: L \vdash^*_G \ell, \ell \in \mathcal{L}^*\} \\ \mathcal{L}_C(G) = \{\ell: Q \vdash^*_G \ell, \ell \in \mathcal{L}^*\} \end{cases} \quad (19)$$

где  $\mathcal{L}^*$  - множество слов в алфавите, отражающее ТО ВС, что и является искомым методом описания функциональной структуры с использованием формальных языков и применением теории образов и позволяет впоследствии создать программу (*экспертную систему*) планирования и управления организации процессов ТО.

**В четвёртой главе** показано внедрение результатов теоретических исследований на примере АТЦ авиакомпании «Уральские Авиалинии».

Проведен анализ и выбор экспертной основы для построения структуры обслуживающего производства авиакомпании «Уральские Авиалинии». Принято решение о принятии законодательно-правовой базы EASA в качестве основного базиса для трансформации структуры авиационной технической базы (АТБ) в новую структуру, способную выполнять техническое обслуживание иностранных воздушных судов.

При использовании метода моделирования структурной части организации ТО на основе требований EASA к ТО создана структура организации технического обслуживания (рисунок 5) для ВС авиакомпании «Уральские Авиалинии», определившая полный состав элементов структуры ТО ВС, соответствующий модели (19).



Рисунок 5- Полная структура организации ТО ВС в соответствии с существующими требованиями

Проведен анализ существующей инфраструктуры, Российской законодательной базы и других ограничений, которые деформировали идеальный образ и позволили определить, какие виды работ будут выполняться в условиях АТЦ авиакомпании, а какие будут переданы в аутсорсинг.

Сформирован образ функциональной структуры ТО ВС. В качестве экспертной базы была использована программа ТО и технологические карты разработчика ВС. Внесение коэффициента потерь и расписание полетов авиакомпании в качестве деформации позволило построить реальную функциональную структуру организации ТО ВС авиакомпании «Уральские Авиалинии».

Анализ функциональной структуры ТО, основанной на сетевом планировании работ в АТЦ, привел к разработке MEL (Minimum Equipment List) и созданию гибкой программы технического обслуживания – Maintenance Programme (MP) и технологий АТЦ, что в итоге открыло возможность влияния на интервалы между ТО и его пространственно-временные модели. Получены функциональные структуры технического обслуживания ВС по оперативным видам ТО, показывающие репертуар движений при различных подходах планирования обслуживания ВС.

Создана современная структура АТЦ дивизионного типа (рисунок 6).

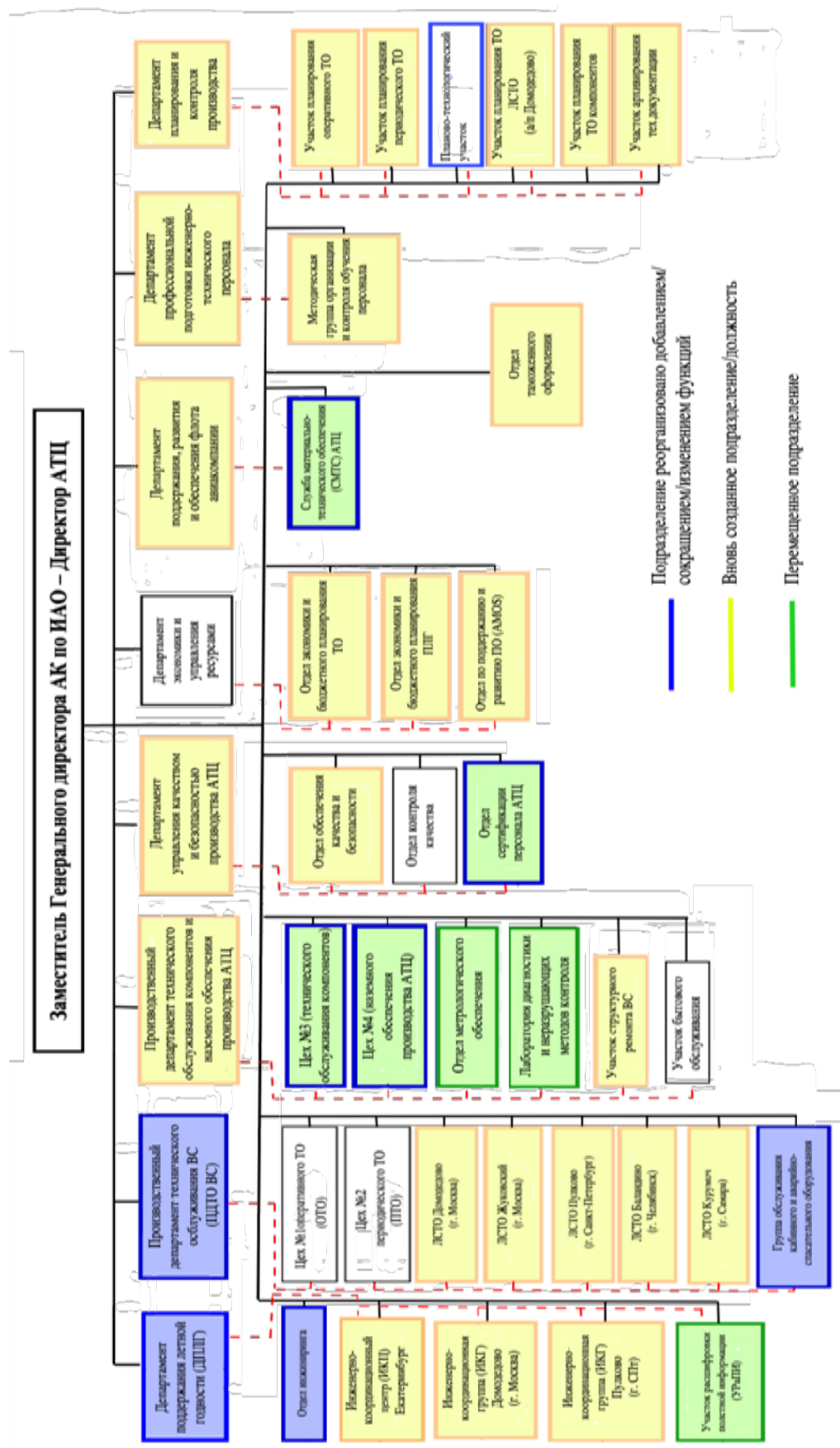


Рисунок 6 – Современная структура, охватывающая все аспекты ТО ВС авиакомпании «Уральские Авиалинии»



Применение разработанных MEL, МР и технологий АТЦ позволяет решать конфликты между идеальным планированием (видением коммерческой службы) и реальным, учитывающим существующие и возникающие ограничения, вносящие деформации в идеальный образ ТО ВС. На основе полученных цепочек пространственно-временных моделей создаются технологические графики оперативного и периодического ТО в ДТО в ПО AMOS, в результате применения которого при планировании работ в цехах создано штатное расписание подразделений АТЦ.

Программа управления ТО и ресурсами AMOS разработана в АТЦ «Уральские Авиалинии» и строится с учетом индивидуализированных особенностей АТЦ на базе швейцарской RMP (Resource Management Project), является экспертной системой, и её эффективность зависит от качества модели производственных процессов ТО и полноты учета ограничений.

Изучены потребности авиакомпании «Уральские Авиалинии» в ТО ВС и выявлены основные направления повышения эффективности организационной структуры, такие, как: увеличение выработки по ТО ВС, снижение коэффициента потерь производства, сокращение полной себестоимости работ. Анализ оценок показателей производственной эффективности, полученных при изменении моделей структуры в различных условиях, позволил выполнять оценивание состава и функций структуры без предварительных расходов, принимать решения о ее усовершенствовании путем внесения изменений: расширением инфраструктуры (таблица 4), повышением квалификации персонала, использованием экспертных систем (AMOS), созданием алгоритмов ТО и тем самым улучшать производственные показатели.

Таблица 4 - Изменение технических показателей инфраструктуры и производственных процессов

Данные по состоянию (год)	2008	2021
Количество общее и из них техников (человек)	850 и 416	605 и 360
Количество производственных цехов и участков	4 и 2	9 и 3
Количество обслуживаемых воздушных судов	27, из них: 3 Ил-86; 14 Ту-154, 4 Ан-24, 6 А320	85 А320F, из них: (50 УАл; 35 др. АК)
Площадь ангара для периодического технического обслуживания (м <sup>2</sup> )	2400	9600
Вместимость ангара	1 ВС Ту-154/А320	5 ВС А320F

Анализ норм времени обслуживания ВС Ту-154 в период с 1988 года по 2008 год показал, что в советское время нормы ТО не менялись в течение 20 лет, а с внедрением методов структурного моделирования (с 2008 г.) и благодаря применению полученных моделей стало возможным сокращение норм трудозатрат и, как следствие, сокращение норм времени на выполнение ТО, что дало возможность сократить время простоя ВС (таблица 5) и увеличить время эффективного использования ВС (таблица 6) и экономии средств за счет снижения себестоимости работ (таблица 7 и рисунок 7), что позволяет сделать вывод о существенном повышении эффективности новой структуры.

Таблица 5- Сокращение норм трудозатрат на выполнение оперативных форм ТО в АТЦ «Уральские Авиалинии» и изменение времени выполнения ТО ВС по годам

год	Нормы времени на ТО ВС А320F/Время выполнения работ по оперативному ТО (час)		
	Daily-check	Weekly-check	A-check
2008	1,4/1,3	15,8/3,6	96/12
2015	1/1	13,3/3,4	80/10
2020	0,85/0,8	12/3	65,3/8,2

Таблица 6-Сокращение времени простоя ВС на ТО и увеличение налета в авиакомпании «Уральские Авиалинии»

год	Время выполнения работ и количества форм оперативного технического обслуживания (ОТО) с учетом изменения программы ТО					Эквивалент времени простоя количеству ВС (Налет 1 ВС 4000 час. в год)
	Кол-во форм ОТО на 1 ВС(D/W/A)	Время простоя 1 ВС на ОТО (час)	Время простоя на 1 ВС в год (час)	Кол-во ВС	Увеличение эффективности использования парка ВС (час в год)	
2008	365/52/7	475/188/84	747	2	0	0
2015	243/52/7	243/188/70	501	35	8610	2
2020	183/37/6	146/111/50	307	50	22000	5

Таблица 7- Изменения показателей эффективности по годам

Год	Общий объем работ в год (пр. ед. разр.)	Численность ДТО	Коэфф. потерь	Аутсорсинг (ОТО/ПТО) %	Полная себестоимость работ (руб.)
2015	175 397	416	2,7	37/50	2343
2016	189 380	369	2,7	32/25	2255
2017	193 722	390	2,5	34/18	2242
2018	195 281	388	2,5	25/15	2200
2019	203 188	415	1,7	15/0	2010
2020	215 015	393	1,5	10/0	1950
2021	233 410	375	1,5	10/0	1950



Рисунок 7 -Динамика изменения производственных показателей

Таким образом, использование методов структурного и функционального моделирования позволило создать рациональную структуру обслуживающего производства авиакомпании «Уральские Авиалинии» и оптимизировать процессы ТО ВС.

### **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ**

1. В результате проведенного исследования решена задача, связанная с повышением эффективности организации производства послепродажного обслуживания авиационной техники на примере организации ТО воздушных судов.

2. Обосновано применение законодательно–нормативной базы государственных авиационных администраций как основы для применения экспертного метода при моделировании сложных систем технического обслуживания. Построен граф ДПО АТЦ содержащий 15 узлов.

3. Разработан метод синтеза и анализа структурной части организационной системы обслуживающего производства, основанный на теории множеств. Создан математический аппарат определения и анализа состава структуры организации и связей между элементами, учитывающий существующие ограничения.

4. Разработаны методы и средства пространственно-временного формирования структуры организации обслуживающего производства на основе теории образов. Получены формальный язык и математический аппарат моделирования, позволяющие построить множество вариантов цепочек производственных процессов при планировании работ по ТО и необходимых ресурсов.

5. Разработаны методы и средства, использованные при разработке рациональной структуры организации ТО ВС в АТЦ «Уральские Авиалинии». При этом определен оптимальный состав структурных звеньев обслуживающего производства ВС, штатное расписание структуры, а также состав субподрядных организаций, обслуживающих ВС и компоненты вне инфраструктуры АТЦ. В период с 2008 по 2020 год увеличилась эффективность организации ТО: при росте парка ВС от 2 до 50 ВС суммарный прирост производительности составил 25%, процент аутсорсинга по направлениям периодического и оперативного ТО сократился от 100% до 0% и от 30% до 10% соответственно, полная себестоимость работ в АТЦ сократилась на 20%.

6. Проведено внедрение результата исследования и получен положительный экономический эффект: суммарная экономия на ТО ВС АК «Уральские Авиалинии» с 2015 г. по 2020 г. 317 784 854 руб. Существенно выросла прибыль - в 2020 году прибыль составила 65 млн.руб., в 2021 году – 87 млн.руб., по сравнению с 2015 г., когда убыточность деятельности АТЦ составила 23 млн.руб.

### **СПИСОК НАУЧНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

1. Поддубный, И.В. Современное представление о структурах и системах технического обслуживания и ремонта гражданской авиации России / И.В. Поддубный // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия Экономика и менеджмент. - 2015. - Т. 9. № 3. С. 86–92.- DOI: 10.14529/em090312-86–92.
2. Поддубный, И.В. Проблемы технического обслуживания современных воздушных судов [Текст] / М.А. Ковалев, И.В. Поддубный // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технология и машиностроение – 2019. -Т 18. № 2. -С. 138-145. DOI: 10.18287/2541-7533-2019-18-2-138-145.
3. Поддубный, И.В. Теоретико-множественное представление организационной структуры авиационного технического центра [Текст] / М.А. Ковалев, И.В. Поддубный // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2019. – Т.21. №1 – С.11-17
4. Поддубный, И.В. Способы представления процесса выполнения оперативного технического обслуживания воздушных судов [Текст] / М.А. Ковалев, И.В. Поддубный //

Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2020. – Т. 22. №4. – С.10-20.- DOI: 10.37313/1990-5378-2020-22-4-10-20

**В других изданиях:**

5. Поддубный, И.В. Применение методов пространственно-временного моделирования при совершенствовании современных структур организации технического обслуживания воздушных судов гражданской авиации [Текст] / М.А. Ковалев, И.В. Поддубный // Актуальные проблемы развития авиационной техники и методов ее эксплуатации: Сборник научных трудов XIV Всероссийской научно-практической конференции студентов и аспирантов. Иркутск. 2021. -С.52-61.
6. Поддубный, И.В. Применение методики структурного моделирования при создании инфраструктуры машиностроительного предприятия [Текст] / М.А. Ковалев, И.В. Поддубный // Проблемы и перспективы развития двигателестроения: Международная научно-техническая конференция. Материалы докладов. Том 1. Самара 23-25 июня 2021 г. С.257-260.
7. Поддубный, И.В. Реализация системного подхода моделирования при создании реальной структуры обслуживающего производства воздушных судов [Текст] / М.А. Ковалев, И.В. Поддубный // Управление движением и навигация летательных аппаратов: Сборник трудов XXIII Всероссийского семинара по управлению движением и навигации летательных аппаратов: Самара 17-18 июня 2020 г. - С.140-146.
8. Поддубный, И.В. Разработка метода синтеза структурной части технического обслуживания воздушных судов исходя из основных положений синтеза образов Гренандера [Текст] / И.В. Поддубный, Е.А. Зарницына // Материалы 73-й научной конференции НАУКА ЮУрГУ. Секция технических наук. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Южно-Уральский государственный: Челябинск, 20-22 апреля 2021 г. - С.311-321.