



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
(РОСАВИАЦИЯ)**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ
АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)**

ФАКУЛЬТЕТ _____ **Механический**

КАФЕДРА _____ **ТЭЛА и АД**

Направление подготовки _____ **25.06.01 Аэронавигация и эксплуатация**
(код и наименование направления подготовки)
_____ **авиационной и ракетно-космической техники**

Направленность _____ **05.22.14 Эксплуатация воздушного транспорта**
(наименование направленности)

НАУЧНО-КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Тема _____ **Управление состояниями процесса технической эксплуатации**
_____ **воздушных судов в рамках задачи повышения его эффективности**

Обучающийся: _____ **Пичкин Юрий Игоревич**
(Ф.И.О.) _____ (Подпись)

Научный руководитель: _____ **к.т.н., доцент, Файнбург Г.Д.**
(уч. степень, уч. звание, Ф.И.О.) _____ (Подпись)

Рецензенты: _____ **д.т.н., проф., Самойленко В.М.**
(уч. степень, уч. звание, Ф.И.О.) _____ (Подпись)

_____ **к.т.н., доцент, Москаленко Л.В.**
(уч. степень, уч. звание, Ф.И.О.) _____ (Подпись)

Работа допущена к защите:

Заведующий кафедрой _____ **д.т.н., доцент, Ефимов В.В.**
(уч. степень, уч. звание, Ф.И.О.) _____ (Подпись)

МОСКВА 2024

Введение.

Актуальность работы. Решение задачи улучшения подвижности населения и повышения производительности труда заявленной в стратегии развития транспортной отрасли Российской Федерации до 2035 года заключается в обеспечении полного и своевременного удовлетворения потребностей авиапредприятия в исправных ВС, соответствующих нормам летной годности, а также обеспечении безопасности и регулярности полетов при минимальных затратах времени, труда и ресурсов на выполнение процессов ПЛГ ВС.

Под влиянием внешних и внутренних экономических и геополитических факторов для российских авиакомпаний возникает необходимость постоянного совершенствования процессов ТЭ ВС с целью повышения их эффективности, снижения затрат на техническое обслуживание и ремонт (ТО и Р) и соблюдения установленных норм ПЛГ.

Цель работы. Разработка методик, в том числе имитационного моделирования, с целью повышения эффективности процесса технической эксплуатации воздушных судов.

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

Актуализировать полумарковскую модель ПТЭ с учетом современной практики эксплуатации ВС в авиакомпаниях;

Определить доминирующие состояния ПТЭ для разработки управленческих решений;

Разработать методики, включающие модели для управления выбранными состояниями с целью повышения эффективности ПТЭ ВС;

Провести моделирование в соответствии с разработанными методиками с определением оптимальных характеристик моделей.

Методы исследования. Задачи научного исследования решены с применением расчетных методов.

Расчетные исследования по оценке календарного фонда времени воздушных судов проведены с применением информационной системы AMOS и

MS EXCEL. Методы оптимизации процессов технической эксплуатации рассчитаны и созданы с применением программных комплексов имитационного моделирования Arena и AnyLogic и с помощью распределение Пуассона.

Научная новизна. Проведенные исследования позволили получить новые научные результаты:

Разработана методика определения оптимальных материальных и трудовых ресурсов для управления процессом наземного обслуживания ВС с использованием имитационной модели в среде AnyLogic;

Разработана методика определения оптимального состава и количества инженерно-технического персонала для выполнения оперативных форм ТО и прогнозирования потребности в персонале при увеличении обслуживаемого парка ВС;

Разработана методика расчета потребного количества запчастей с использованием распределения Пуассона и определения уровня уверенности с учетом оценки вероятного ущерба в случае отсутствия требуемой запчасти.

Достоверность и обоснованность научных положений определяется следующим:

- Все расчеты построены на актуальных статистических данных использования воздушного флота, получены напрямую из авиакомпаний и по запросу через Федеральную службу Государственной статистики от Федерального агентства Воздушного транспорта по форме 34 ГА.
- Все расчеты проведены с использованием лицензионных компьютерных программ.
- Точность полученных результатов сопоставима с актуальными данными авиакомпаний.

Практическая значимость:

Разработанные методики определения оптимальных материальных и трудовых ресурсов в процессах оперативного ТО и наземного обслуживания могут быть использованы в авиакомпаниях и организациях по ТОиР.

Методика расчета потребного количества запчастей может быть реализована в виде модуля информационной системы с возможностью формирования списка неснижаемого запаса в режиме реального времени.

Основная часть.

Процесс технической эксплуатации однотипного парка ВС традиционно отображают в виде графа состояний и переходов, отражающих последовательность переходов воздушного судна из одного состояния в другое, при этом, характеристиками графа являются время пребывания в состояниях, вероятности попадания в состояния и вероятности переходов как показано на рисунке 1.

Несмотря на широкое использование графа состояний в учебных дисциплинах, важно актуализировать данные графа состояний. Это требует отдельной аналитической работы со статистикой и использованием диспетчерских графиков.

Основная идея работы заключается в подходе к моделированию ПТЭ с использованием полумарковских моделей, позволяющим разукрупнять отдельные состояния в зависимости от поставленных задач и возможности управления неисправными состояниями.

Состояния ПТЭ можно разделить на два типа: Исправные- когда ВС полностью готово к использованию (Полет, Резерв, Готовность, Подготовка к полету), и неисправные- любые состояния ВС, когда оно по той или иной причине не может совершить рейс (Оперативное ТО, Периодическое ТО, Задержка вылета, Ожидание ЗПЧ и т.д.).

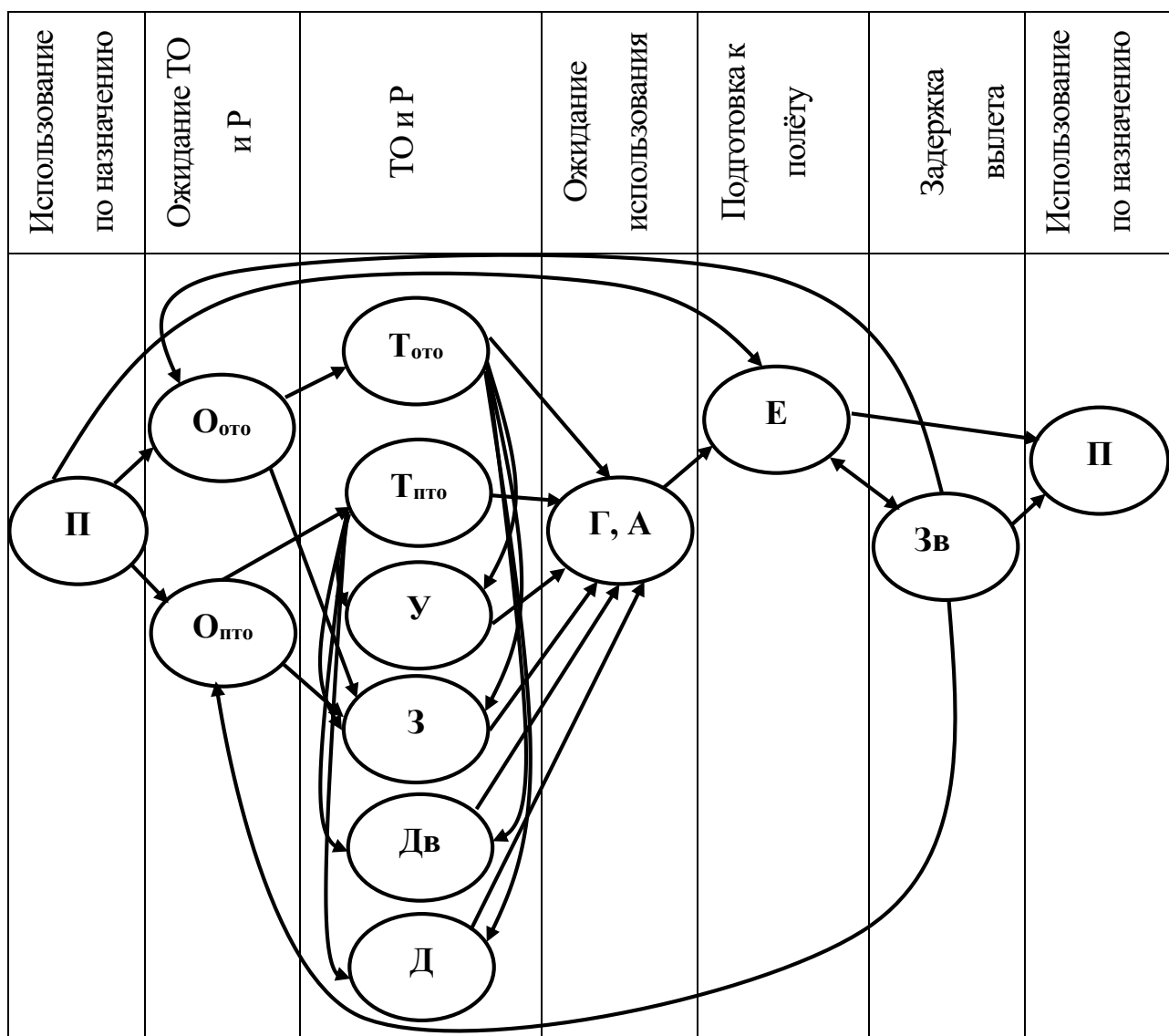


Рисунок 1. Граф состояний ПТЭ.

В настоящей работе рассмотрены возможности, задачи и методы управления отдельными состояниями ПТЭ, позволяющие оказать значимые воздействия на достижение более высоких показателей эффективности процесса в целом.

Данные возможности предполагают, с одной стороны, решение задачи уменьшения времени пребывания в неисправных состояниях, с другой – определение оптимальных характеристик и управляющих воздействий процессов, отражающих пребывание в состояниях графа ПТЭ.

После изучения статистики использования парка ВС крупных авиакомпаний для работы было выделено три состояния ВС, которые оказывают

чрезвычайную важность на эффективность ПТЭ: Задержка вылета, Оперативное ТО, Ожидание запчастей (ЗПЧ).

Состояние «Задержка вылета».

Исследование использования парка ВС показало большое количество попаданий ВС в состояние задержки вылета (ЗВ).

Рассмотрим подробнее состояние подготовки воздушного судна к вылету «Е» и оценим возможности для модернизации данного состояния, чтобы сократить количество попаданий в деструктивное состояние «Зв», сильно ухудшающую показатели. Для этой оценки необходимо составить общий производственный алгоритм подготовки самолета к вылету для оценки причин возникновения задержек (Рисунок 2).

По статистике большая часть задержек при выполнении транзита ВС возникает именно при наземном обслуживании (НО). Более точная статистика приведена на рисунке 3.

Операционные задержки вылета чаще всего возникают по причине необходимости корректировки количества единиц техники и персонала аэродромных служб, выполняющих наземное обслуживание (НО) воздушных судов.

Оптимизация характеристик состояний «задержка вылета» также может быть выполнена с использованием имитационного моделирования. Для поиска возможностей сокращения времени пребывания в состоянии «задержка вылета» производится декомпозиция данного состояния, включающая процессы аэродромного обслуживания: загрузка, выгрузка багажа, заправка топливом, посадка пассажиров и т. д.

На рисунке 4 показан алгоритм выполнения НО, по которому может быть построена имитационная модель, благодаря которой появляется потенциальная возможность снижения вероятности ЗВ по причинам НО за счет гибкого управления ресурсами такие как грузчики и машинные средства.

Рисунок 2. Полная схема наземного обслуживания ВС с возможным возникновением задержек вылета.

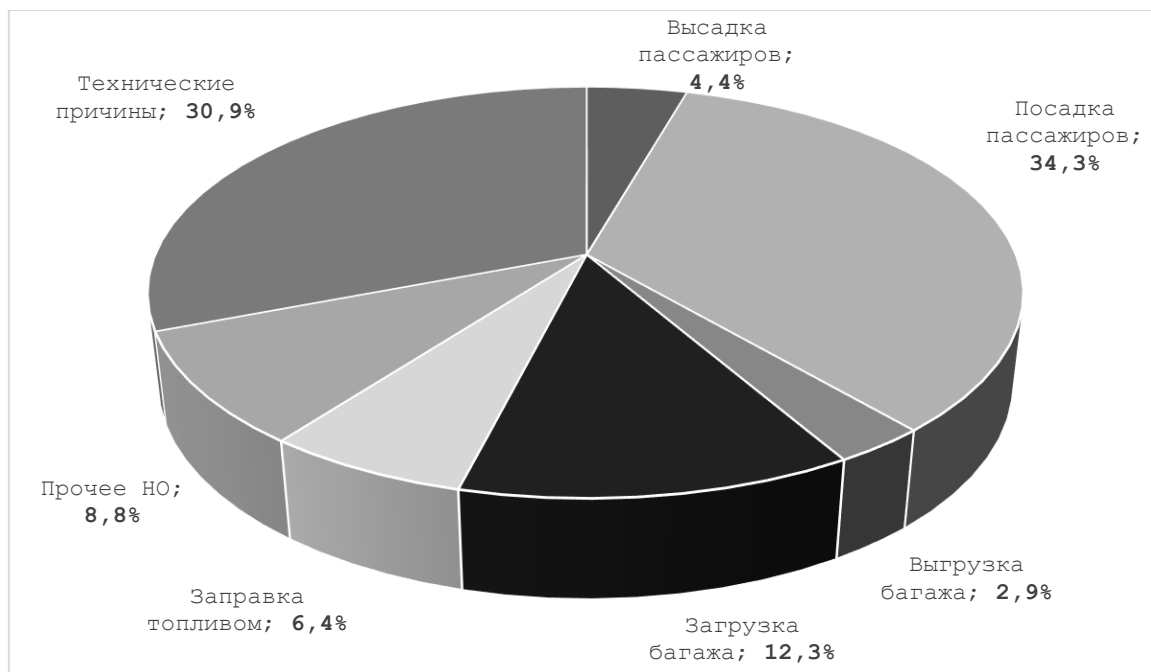


Рисунок 3. Статистика причин задержек вылета ВС.



Рисунок 4. Алгоритм выполнения НО.

Имитационное моделирование процесса «подготовка к полету» (транзит) в программе *AnyLogic* позволяет решить задачу определения в каждый момент времени ресурсов при загрузке в качестве исходных данных загружая план прилета-вылетов всех обслуживаемых воздушных судов.

Во избежание ЗВ по причине нехватки ресурсов аэродромных служб, рекомендуется ежесуточно рассчитывать требуемое количество ресурсов, применяя имитационную модель и корректируя штат сотрудников и техники, согласно полученным результатам.

Состояние «Оперативное ТО».

Как показывает практика оперативное ТО- одно из самых проблемных неисправных состояний ВС. Объем работ, включённый в данные формы, жестко регламентируется разработчиком и эксплуатантом для поддержания должного уровня безопасности полетов, а значит основным фактором, ухудшающим показатели ПТЭ в данном состоянии, является вопрос ресурсов.

Имитационное моделирование процессов технического обслуживания позволяет определить оптимальное количество и состав специалистов в зависимости от количества обслуживаемых ВС, так как является методом исследования, при котором создается модель, с достаточной точностью описывающая реальный процесс, с целью получения количественных оценок его вероятностно-статистических характеристик.

Целевым показателем при этом может служить предельное время ожидания ТО, критерием выбора оптимального решения – минимальная суммарная стоимость трудовых ресурсов. Имитационная модель, разработанная в программе Arena показана на рисунке 5.

Применение имитационного моделирования предоставляет возможность в кратчайшее время и с небольшими затратами определить, как будет изменяться процесс ТО при изменении количества специалистов, изменения технологии организации процесса, изменения количества обслуживаемых бортов, а также оценить достаточность ресурсов (персонала) для качественного и своевременного выполнения ТО, обнаружить скрытые резервы для оптимизации

деятельности. Кроме того, на имитационной модели возможно проведение оптимизационных расчетов с целью поиска наилучшего состава работников различных категорий. Полученные данные могут быть использованы не только для улучшения существующих процессов и выработки соответствующих управленческих решений, но и для прогнозирования будущих потребностей в категориях работников.

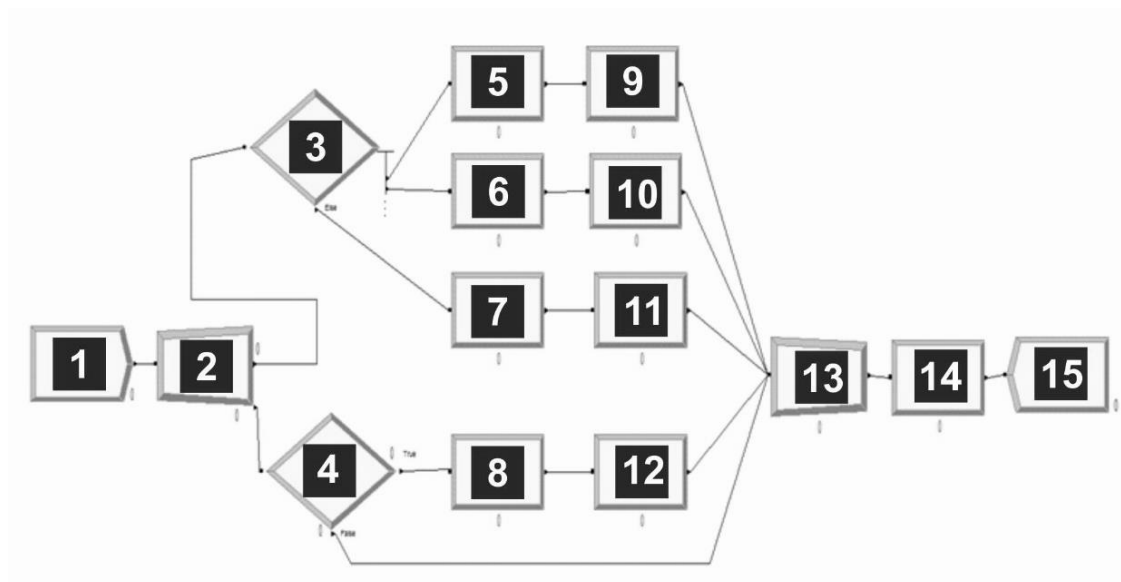


Рисунок 5. Структурная схема имитационной модели процесса оперативного ТО. Программа *Arena*.

Назначение и функции модулей представлены ниже.

В Модуле 1 задаются временные интервалы поступления ВС на обслуживание.

Модуль 2 выполняет распределение работ между ЦОТО и ЦООИ.

В Модуле 3 происходит разделение работ ЦОТО на 3 категории, различающиеся по трудоемкости и потребности в различных специалистах.

Модуль 4 учитывает наличие или отсутствие работ ЦООИ, так как эти работы проводятся не на всех поступающих ВС.

Модули 5,6 и 7 осуществляют захват и удержание ресурсов (специалистов категории В1, В2 и механиков) на время выполнения работ ЦОТО.

Модуль 8 осуществляют захват и удержание ресурсов на время выполнения работ ЦООИ.

Модули 9-12 удерживают ресурсы на время их перемещения к месту стоянки и обратно в цех.

В Модуле 13 происходит синхронизация на ВС работ ЦОТО и ЦООИ.

Модуль 14 осуществляет захват и удержание ресурсов для работ по оформлению документации и внесению данных в информационную систему.

В модуле 15 объект покидает модель.

Применение имитационного моделирования предоставляет возможность в кратчайшее время и с небольшими затратами определить, как будет изменяться процесс ТО при изменении количества специалистов, изменения технологии организации процесса, изменения количества обслуживаемых бортов, а также оценить достаточность ресурсов (персонала) для качественного и своевременного выполнения ТО, обнаружить скрытые резервы для оптимизации деятельности. Кроме того, на имитационной модели возможно проведение оптимизационных расчетов с целью поиска наилучшего состава работников различных категорий. Полученные данные могут быть использованы не только для улучшения существующих процессов и выработки соответствующих управленческих решений, но и для прогнозирования будущих потребностей в категориях работников.

Состояние «Ожидание запчастей».

При углубленном изучении статистики нахождения ВС в состоянии «Ожидание ЗПЧ» становится очевидно, что корневой причиной возникновения данной ситуации является отсутствие необходимого авиационно-технического имущества (АТИ) на складах авиакомпании или организации по ТОиР.

Разработчик ВС предоставляет эксплуатантам разработанный им список неснижаемого запаса (НЗ) АТИ, в котором регламентируется количество необходимых агрегатов на складе, исключающее попадание самолетов в состояние «ожидание ЗПЧ». Однако данный список необязательный и обобщен для всех эксплуатантов. Например, ВС авиакомпаниями эксплуатируются в разных географических зонах и в разных климатических условиях, поэтому невозможно заранее точно определить какие функциональные системы самолета

будут использоваться и приходить в негодность быстрее других, соответственно каждый эксплуатант создает свой список НЗ в зависимости от статистики отказов АТИ своих ВС.

Существенную возможность для повышения эффективности ПТЭ дает управление состоянием «Ожидание ЗПЧ», заключающееся в поиске равновесной стоимости поддержания неснижаемого запаса конкретного компонента и возможных потерь, вызванных его отсутствием на складе, являющимся причиной попадания ВС в это состояние. Решению данной задачи может способствовать методика определения оптимального уровня уверенности при расчете количества запчастей с использованием распределения Пуассона (1).

Запишем формулу для определения уровня уверенности:

$$P = e^{-\lambda t} \left[1 + \lambda t + \dots + \frac{(\lambda t)^n}{n!} \right]$$

Определим формулу для определения экономических потерь при наступлении события нехватки агрегатов сверх рассчитанных в списке неснижаемого запаса:

$$n = (1 - P)V/c$$

Выведем формулу для определения убытка от простоя в ожидании запчастей при 100%-ной вероятности события:

$$V = v * T * 24$$

где,

V – убыток от простоя в ожидании запчастей при 100%-ной вероятности события, руб;

T – оборачиваемость детали, дней;

v – стоимость 1 ч простоя в ожидании запчастей, руб.;

c – стоимость запчасти, руб.;

n

– количество агрегатов;

– уровень уверенности.
Приведем формулу определения уровня уверенности P , исходя из вышеописанных формул:

$$P = 1 - V/(c * n)$$

$$V/(c * n) = 1 - e^{-\lambda t} \left[1 + \lambda t + \dots + \frac{(\lambda t)^n}{n!} \right]$$

Запишем формулу потока отказов для агрегата:

=

$$MTBUR * t = A * N * M * TMTBUR(1)$$

где,

MTBUR - показатель надежности компонента, выражаемый в часах наработка на отказ;

A - количество компонентов, установленных на одно воздушное судно;

N - рассматриваемое количество воздушных судов;

T - период рассмотрения, часов:

M - средняя утилизация воздушного судна за период рассмотрения.

При сборе данных для расчетов необходимо учитывать, что убыток от простоя (в т. ч. в ожидании запчастей) определяется структурой издержек авиакомпании, значительную часть которых занимает лизинг ВС. А параметры

Решаем нелинейное уравнение относительно количества запчастей и строим модель для определения количества запчастей от стоимости и наработки на отказ (Рисунок 6).

Эксплуатант вправе сравнить закупочную стоимость АТИ с потенциальной возможностью попадания самолета в состояние «ожидания ЗПЧ» помноженную на собственную статистику получения прибыли от использования ВС, если бы оно не находилось в данном неисправном состоянии, учитывая оборачиваемость склада (скорость поставки агрегата на склад), после чего выбрать для своего списка НЗ оптимальные количественные значения.

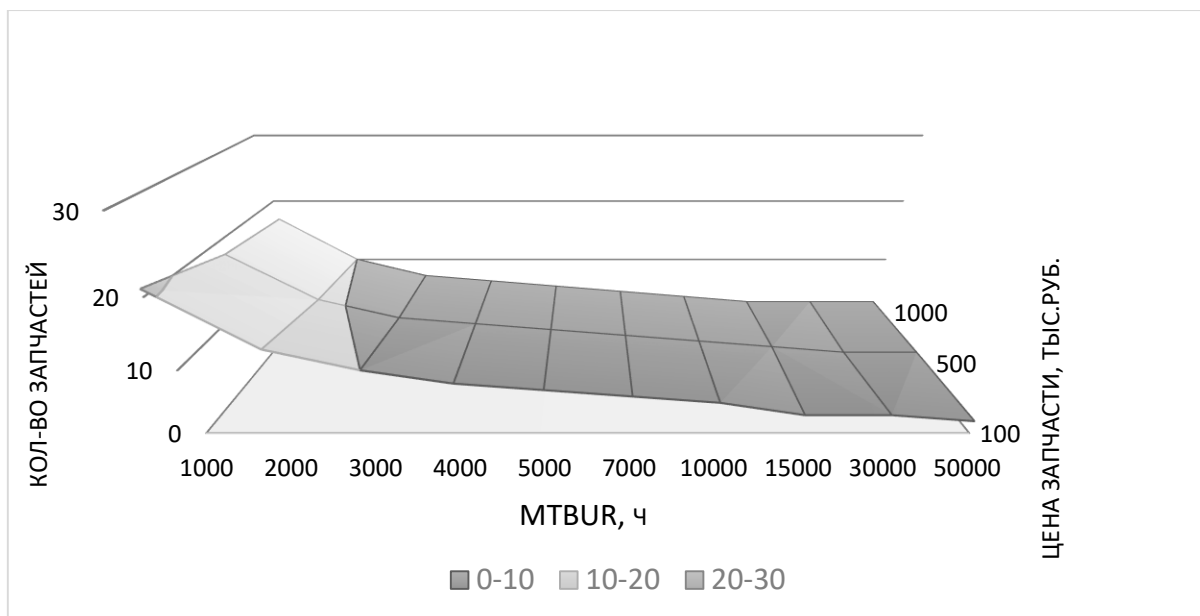


Рисунок 6. Трехмерная модель зависимости количества запчастей от MTBUR и их цены

Этот метод расчётов создает потенциал к снижению пребывания в состоянии ожидания ЗПЧ.

Заключение.

В работе представлена методика разукрупнения, оценки и оптимизации характеристик полумарковских моделей, повышающая эффективность использования парка воздушных судов.

Определены основные неисправные состояния ВС, снижение пребывания в которых неминуемо приведет к повышению характеристик ПТЭ ВС.

Проанализированы каждые из состояний в отдельности и определены корневые причины попадания ВС в каждое из них.

Предложены способы по сокращению времени нахождения ВС в рассматриваемых неисправных состояниях, в том числе с использованием прогрессивных инструментов имитационного моделирования.

В будущем планируется работа по снижению нахождения самолетов в состоянии задержек вылета по техническим причинам, внесения предложения разработчикам ВС по приоритизации доработок самолетов и общей актуализации графа состояний для дальнейшего повышения эффективности ПТЭ.