

На правах рукописи



Новикова Татьяна Алексеевна

Организация работ по техническому обслуживанию оборудования на основе
законов распределения функции надежности

Специальность 2.5.22 – Управление качеством продукции. Стандартизация.
Организация производства

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Москва, 2026

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

Научный руководитель: **Ляпунцова Елена Вячеславовна**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Кравченко Игорь Николаевич**
доктор технических наук, профессор
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт машиноведения им.
А.А. Благонравова Российской академии наук,
главный научный сотрудник лаборатории цифровых
методов управления жизненным циклом

Савич Екатерина Константиновна
кандидат технических наук, доцент
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Самарский национальный исследовательский
университет имени академика С.П. Королева»,
доцент кафедры «Производство летательных
аппаратов и управление качеством в
машиностроении»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Самарский государственный технический
университет»

Защита состоится _____ 2026 г. в _____ на заседании
диссертационного совета 24.2.331.18 в Московском государственном техническом
университете им. Н.Э. Баумана по адресу: 105005, г. Москва, 2-ая Бауманская ул., д.
7, ауд. 414 ибм.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения,
просим направлять по адресу: 105005, г. Москва, 2-ая Бауманская ул., д. 5, стр. 1,
ученому секретарю диссертационного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана и
на официальном сайте МГТУ им. Н. Э. Баумана: www.bmstu.ru.

Автореферат разослан «__» _____ 2026 г.

Ученый секретарь диссертационного
совета к.т.н., доцент

 Постникова Елена Сергеевна

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования. На современном этапе развития общества машиностроение является одной из ведущих отраслей обрабатывающей промышленности Российской Федерации и в значительной мере определяет уровень социально-экономического потенциала страны и ее конкурентоспособности на мировом рынке. В связи с этим развитию данной сферы уделяется большое внимание государства. В настоящее время в России реализуется Национальный проект «Средства производства и автоматизации», стратегической целью которого является обеспечение обрабатывающей промышленности современными отечественными станками и комплектующими, способными заместить импортные аналоги и создать базу для технологического суверенитета и лидерства. При этом высокая степень износа основных фондов и низкие темпы их обновления, связанные с ограниченными финансовыми возможностями, обуславливают необходимость не только в разработке нового отечественного оборудования, но и продлении срока полезного использования действующего. В связи с этим важное значение приобретает эффективно организованная система технического обслуживания и ремонта (ТОиР), которая призвана поддерживать оборудование в работоспособном состоянии и продлевать период его эксплуатации.

Современное оборудование машиностроительного комплекса представляет собой сложную техническую систему, состоящую из большого количества узлов, агрегатов и деталей, каждый из которых имеет свою природу отказов и уровень надежности. Помимо этого, однотипное оборудование обладает гетерогенностью, связанной с разными условиями эксплуатации, поставщиками комплектующих, качеством предыдущих ремонтов. Поэтому возникает необходимость в индивидуальном подходе к организации работ по техническому обслуживанию и ремонту каждой единицы оборудования. Кроме того, станки зарубежного производства, используемые на отечественных предприятиях, не всегда в достаточной степени обеспечены технической документацией, регламентами обслуживания и кинематическими схемами, что создает дополнительные трудности в проведении обслуживания и ремонта. Традиционные стратегии организации ТОиР не всегда могут учесть описанные особенности.

В связи с этим особую актуальность приобретает задача поиска новых подходов к организации работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования, основанных на комплексной стратегии, включающей прогнозирование технического состояния каждой единицы оборудования и планирование ремонтных работ всего парка машин.

Степень разработанности проблемы. В научных трудах отечественных ученых представлены теоретические и методологические разработки, охватывающие важные аспекты исследуемой тематики. Организацией и планированием технического обслуживания и ремонта оборудования занимались: Барзилович Е.Ю., Бром А.Е., Ерохин Е.А., Иванов В.А., Козарев И.В., Макаренко Н.Г., Маркин И.Н., Омельченко И.Н., Соловейчик К.А., Усольцева Л.А. Обеспечением надежности занимались: Гнеденко Б.В., Захаров М.Н., Иванов А.С., Козловский В.Н., Королев А.Е., Кубарев А.И., Ставровский М.Е. Теорией расписаний занимались: Бром А.Е., Зуенко А.А., Лазарев А.А., Щербина О.А.

Анализ исследований перечисленных ученых показал, что в данных работах рассматриваются либо стратегии организации ТОиР, либо методы обеспечения надежности оборудования в целом, либо отдельные алгоритмы составления планов ремонтных работ. При этом не рассматривается комплекс инструментов, позволяющий формировать расписание ремонтных работ на основе прогнозных значений моментов выхода оборудования из строя, полученных в результате выбора наиболее подходящей функции надежности.

Область исследований диссертации соответствует следующим пунктам паспорта специальности 2.5.22:

- п. 21 «Развитие теоретических основ и практических приложений организационно-технологической надежности производственных процессов. Оценка уровня надежности, адаптивности и устойчивости производства»,
- п. 23 «Разработка и совершенствование методов и средств планирования и управления производственными процессами и их результатами».

Цель работы заключается в повышении эффективности организации работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования на основе разработки инструментов прогнозирования технического состояния оборудования с учетом выбора наиболее подходящей функции надежности и алгоритма составления расписания ремонтных работ.

Для достижения поставленной цели в диссертационном исследовании необходимо решение следующих **задач**:

1. Провести анализ существующих стратегий организации технического обслуживания и ремонта оборудования машиностроения.
2. Разработать метод прогнозирования технического состояния оборудования с учетом выбора наиболее подходящей функции надежности.
3. Разработать алгоритм планирования ремонтных работ оборудования с помощью методов теории расписаний.

4. Спроектировать информационную модель знаний об объекте технического обслуживания и ремонта.

5. Разработать организационно-технический метод организации работ по техническому обслуживанию и ремонту на основе прогнозирования состояния оборудования и планирования ремонтных мероприятий.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработан метод прогнозирования технического состояния оборудования, который, в отличие от методов, основанных на выборе одного закона распределения, обеспечивает более высокую точность прогноза за счет использования суперпозиции двух распределений и алгоритма выбора наилучшей смеси по критерию минимизации невязки.

2. Разработан алгоритм составления плана-графика ремонтных работ для всех единиц оборудования, который, в отличие от существующих, позволяет динамически формировать расписание без необходимости предварительного задания фиксированного числа ремонтов.

3. Разработан организационно-технический метод организации работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования, который, в отличие от существующих методов, объединяет информационную модель знаний об объекте ТОиР, метод прогнозирования технического состояния оборудования и алгоритм составления плана-графика ремонтных работ, и устанавливает последовательность применения перечисленных инструментов.

Объект исследования: система технического обслуживания и ремонта машин и оборудования предприятий машиностроительной отрасли.

Предмет исследования: инструменты совершенствования процессов организации работ по техническому обслуживанию и ремонту.

Положения, выносимые на защиту:

– метод прогнозирования технического состояния оборудования, основанный на выборе наиболее подходящей функции надежности, включающей суперпозицию двух распределений, позволяющий учитывать разную природу отказов и преодолевать ограничения моделей, основанных на одном законе распределения;

– алгоритм составления плана-графика ремонтных работ, направленный на максимизацию суммарного времени эксплуатации парка оборудования без предварительного задания количества ремонтов для каждой единицы оборудования и обеспечивающий гибкий подход к формированию расписания;

– организационно-технический метод, обеспечивающий сквозную интеграцию информационной модели, метода прогнозирования технического состояния оборудования и алгоритма динамического планирования ремонтных работ, позволяющий сократить совокупное количество ремонтов при выбранном уровне вероятности безотказной работы.

Теоретическая значимость работы заключается в развитии инструментов прогнозирования технического состояния оборудования с учетом определения закона, по которому распределена статистика отказов, и инструментов формирования программы ремонтных мероприятий с учетом решения задач теории расписаний.

Практическая значимость диссертационного исследования:

1. Разработанный метод прогнозирования технического состояния оборудования реализован в виде программного комплекса, состоящего из двух программ для ЭВМ: «Программа прогнозирования технического состояния оборудования с помощью выбора оптимальной функции надежности» и «Программа прогнозирования технического состояния оборудования, основанная на выборе функции надежности с использованием суперпозиции двух распределений» – и позволяет контролировать текущий уровень надежности с помощью выбора наиболее подходящего теоретического закона распределения в зависимости от эмпирических данных статистики отказов.

2. Разработанный алгоритм реализации процесса составления плана-графика ремонтных работ для всех единиц оборудования реализован в виде программы для ЭВМ «Программа планирования ремонтных работ оборудования машиностроения» и обеспечивает минимально необходимое количество ремонтных бригад при максимальном количестве дней непрерывной работы оборудования.

3. Спроектированная информационная модель знаний об объекте технического обслуживания и ремонта позволяет решить проблему неполноты оцифрованных данных и обеспечивает организацию, упорядочение и представление данных об оборудовании, причинах его неисправностей и длительности ремонта.

Реализация результатов работы. Результаты работы используются в АО «НПО «СПЛАВ» им. А.Н. Ганичева» в процессе планирования технического обслуживания и ремонтных мероприятий трубонарезных станков с ЧПУ, а также в учебном процессе кафедры «Инновационное предпринимательство» (ИБМ7) МГТУ им. Н.Э. Баумана при изучении дисциплины «Цифровые технологии и

инструменты управления проектами и задачами», что подтверждено соответствующими актами.

Методы исследования. Теоретическую и методологическую основу составляют статистические методы анализа данных, методы теории надежности, методы теории расписаний, методы программирования в ограничениях, алгоритмы решения задач выполнимости булевых формул. Информационно-эмпирическую базу составляют государственные стандарты, аналитические отчеты, исследования отечественных и зарубежных авторов, основы проектирования баз данных, функционального и объектно-ориентированного программирования.

Обоснованность и достоверность результатов основываются на положениях, сформулированных отечественными и зарубежными специалистами в области технического обслуживания и ремонта, теории надежности, методах проверки статистических гипотез, теории расписаний, апробированном математическом аппарате и компьютерных программах.

Апробация работы. В ходе выполнения диссертационной работы результаты исследований были представлены на 3 международных и всероссийских научно-практических конференциях: «Инновационное предпринимательство в эпоху глобальных перемен: стратегии адаптации и партнерские возможности, 2024»; «Русский инженер: II Всероссийский конгресс с международным участием, 2024»; «Русский инженер: III Международный конгресс, 2025», а также на научно-практических семинарах кафедры инновационного предпринимательства МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2021-2025 годах.

Публикации. Результаты диссертационной работы опубликованы в материалах 8 научных работ: 5 научных статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ, и 3 статей в сборниках конференций. Общий объем публикаций – 4,1 п.л. Получены 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов и заключения, списка литературы из 149 наименований, а также приложений. Работа содержит 144 страницы машинописного текста, 40 рисунков, 15 таблиц.

Основное содержание работы

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационного исследования, поставлены цель и задачи исследования, сформулированы научная новизна и практическая значимость результатов работы, а также определены научные положения, выносимые на защиту.

Глава 1 посвящена анализу текущих условий, характеризующих промышленное производство, а также анализу существующих стратегий ТОиР на предприятиях машиностроительной отрасли. В результате проведенного анализа установлено, что традиционные стратегии организации ТОиР (основанные на планово-предупредительном ремонте и ремонте по техническому состоянию) имеют свои преимущества и недостатки, в связи с чем целесообразно использовать смешанную стратегию, в качестве которой предлагается стратегия обслуживания по надежности, т.к. она позволяет комбинировать другие стратегии для конкретных групп оборудования и гибко адаптируется к изменяющимся условиям эксплуатации.

Глава 2 посвящена анализу часто используемых на практике функций надежности, а также разработке инструмента прогнозирования технического состояния оборудования, основанного на выборе наиболее подходящей функции надежности.

Реализация стратегии обслуживания по надежности предполагает оценку текущего уровня надежности оборудования, которую можно проводить, в том числе, с помощью статистических методов. Одним из таких методов является использование функции надежности. Анализ 12 функций надежности показал, что каждая из них имеет свои недостатки и ограничения в сфере использования. В связи с этим является актуальной задача разработки инструмента прогнозирования технического состояния оборудования, основанного на определении параметров нескольких распределений и выбора наиболее подходящей функции надежности. В качестве такого инструмента предлагается метод прогнозирования технического состояния оборудования, включающий программный комплекс выбора наиболее подходящей функции надежности. Разработанный программный комплекс, представленный на Рисунке 1, состоит из трех последовательно выполняющихся подпрограмм.

Алгоритм работы первой подпрограммы предусматривает первичную обработку данных и включает в себя чтение данных, создание нового поля – времени безаварийной работы оборудования, идентификацию и удаление выбросов с помощью критерия Граббса:

$$G = \frac{\max |X_i - \bar{X}|}{\sigma}, \quad (1)$$

где X_i – i -е значение выборки; $\bar{X}$ – выборочное среднее; σ – среднее квадратическое отклонение.

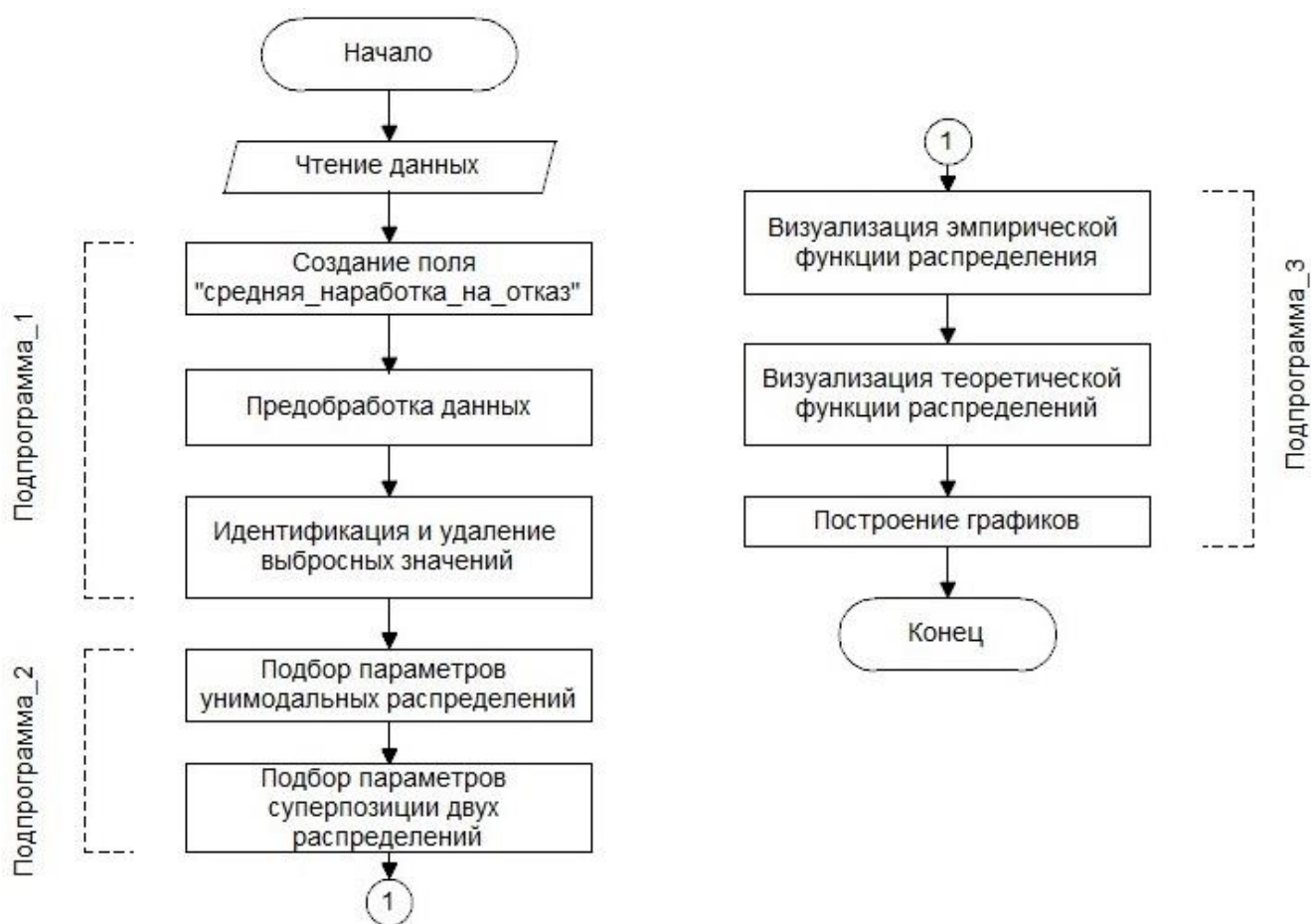


Рисунок 1 – Алгоритм программного комплекса выбора наиболее подходящей функции надежности

Основное назначение второй подпрограммы заключается в выборе наиболее подходящей функции надежности. Для этого подбираются параметры единичных распределений (экспоненциального, нормального и распределения Вейбулла) для каждой единицы оборудования. Полученные параметры являются начальными приближениями, которые необходимы для оценки параметров суперпозиции. Использование суперпозиции нескольких распределений обусловлено гетерогенностью однотипного оборудования, связанной с разными причинами отказа электрических и механических систем, а также с неодинаковыми условиями эксплуатации и обслуживания оборудования. В работе подбираются параметры суперпозиции шести функций – всех возможных комбинаций трех распределений: экспоненциального, нормального и распределения Вейбулла.

Для определения параметров наиболее подходящей суперпозиции в качестве критерия минимизации невязки – ошибки расхождения теоретической и эмпирической функций распределения – выбран метод наименьших квадратов (МНК), который определяет минимизацию суммы квадратов разности значений эмпирического и теоретического распределений:

$$\sum_{i=1}^n (F_{mix}(t_i) - e_i)^2, \quad (2)$$

где $F_{mix}(t_i)$ – значение теоретической функции смеси для i -го элемента;

e_i – значение эмпирической функции распределения для i -го элемента набора данных.

В качестве наиболее подходящей функции надежности выбирается распределение с минимальным значением невязки.

Третья подпрограмма строит графики теоретического и эмпирического законов распределений для всех рассматриваемых единиц оборудования.

Для апробации разработанной программы использован набор данных, предоставленный АО «НПО «СПЛАВ» им. А.Н. Ганичева», в котором содержится информация о неисправностях трубонарезных станков с ЧПУ QK1327. На Рисунке 2 представлены результаты работы итоговой программы для станка № 1: показана аппроксимация экспериментальных данных экспоненциальным распределением и наиболее подходящим распределением – суперпозицией (смесью) нормального распределения и распределения Вейбулла.

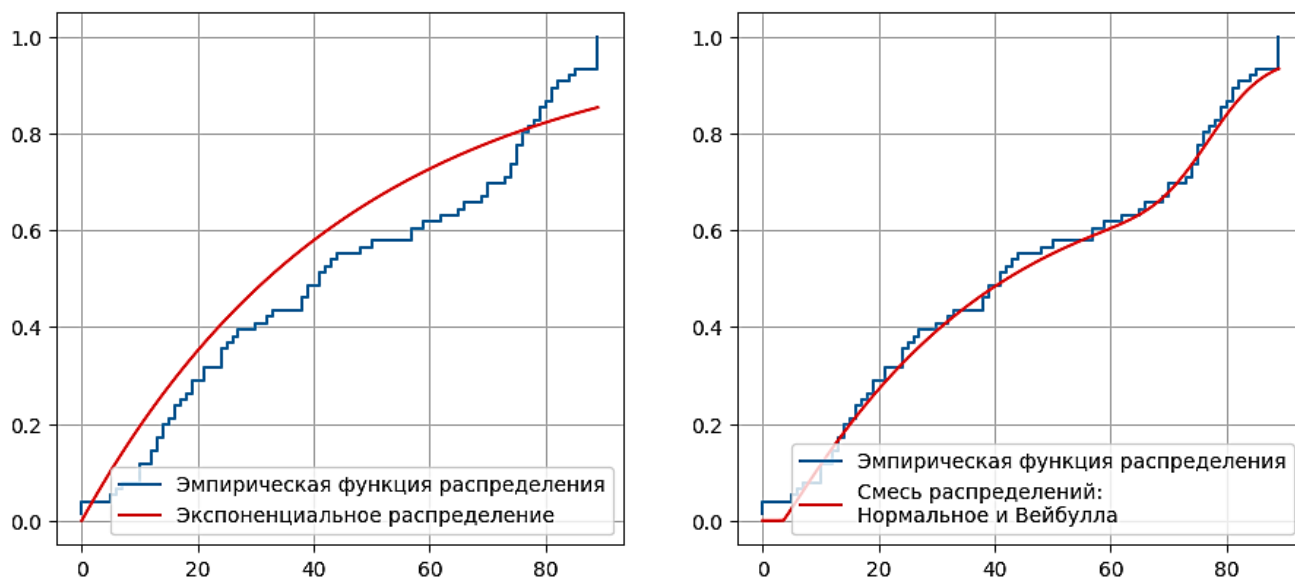


Рисунок 2 – Графики эмпирического и теоретических распределений для станка № 1

Расчеты показали, что целесообразно использовать суперпозицию различных функций надежности для того, чтобы прогноз наступления следующего отказа был максимально точным. Таким образом, при известной функции надежности можно прогнозировать момент выхода из строя оборудования. В Таблице 1 представлены результаты прогнозирования времени бесперебойной работы для четырех станков при заданной вероятности наступления отказа 60 %.

Таблица 1 – Результаты прогнозирования времени наступления отказов

Номер станка	Наиболее подходящая функция надежности	Время бесперебойной работы, дни
Токарный станок с ЧПУ № 1	Смесь нормального распределения и распределения Вейбулла	59
Токарный станок с ЧПУ № 2	Смесь нормального распределения и распределения Вейбулла	54
Токарный станок с ЧПУ № 3	Смесь двух распределений Вейбулла	33
Токарный станок с ЧПУ № 4	Смесь нормального распределения и распределения Вейбулла	33

Кроме значений времени бесперебойной работы для каждого станка определяется максимальная длительность текущего и среднего ремонта на основе руководства по техническому обслуживанию и ремонту оборудования. В качестве данного параметра выбрано значение, равное 3 дням.

В **Главе 3** разработан алгоритм составления приближенного к оптимальному расписания ремонтных работ для машин и оборудования предприятия, который использует методы решения задач теории расписаний, программирования в ограничениях и задач выполнимости булевых формул.

Разработанный алгоритм, представленный на Рисунке 3, реализован в парадигме объектно-ориентированного программирования (ООП) и представляет собой класс, для которого определены несколько методов. В первом методе создается экземпляр класса. Конструктор класса содержит следующие параметры: время бесперебойной работы, длительность ремонта, момент времени, когда потребуется первый ремонт, верхняя граница времени начала ремонта.

Во втором методе происходит добавление в используемую модель переменных, ограничений и целевой функции. Целевую функцию можно определить как сумму дней по всем машинам до начала последнего ремонта, в которые машина находилась в режиме эксплуатации. В данной задаче целевую функцию необходимо максимизировать.

Фиксированная длительность ремонта сохраняется во входном параметре (переменной). Данная переменная является интервальной, для которой необходимо задать начало, длительность (ее размер) и конец. Рассматриваемая задача является частным случаем, в котором размер интервальной переменной фиксирован и составляет 3 рабочих дня. В связи с этим достаточно указать начало и размер интервала; окончание интервала можно выразить как их сумму.

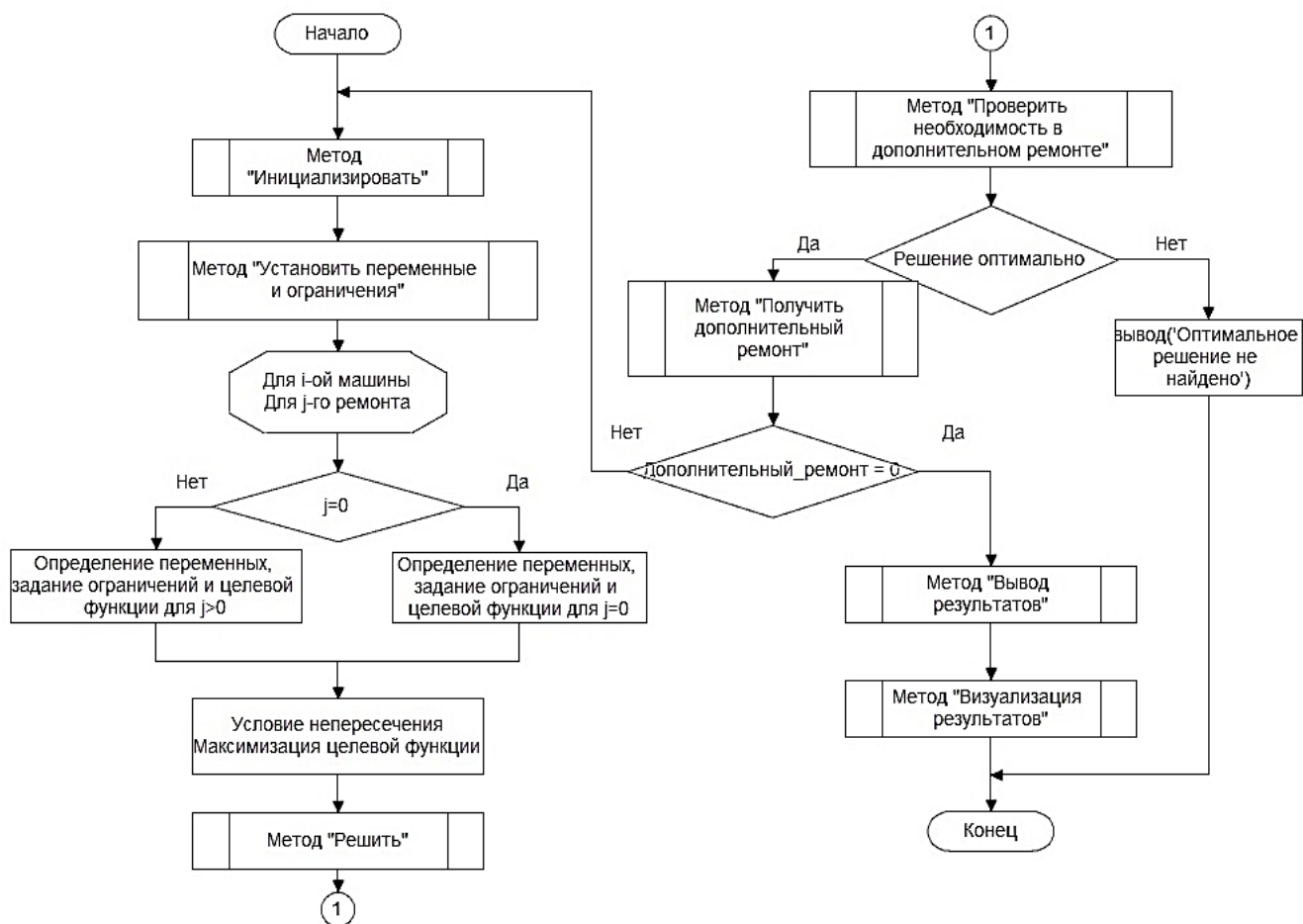


Рисунок 3 – Алгоритм составления плана-графика ремонтных работ

После определения интервальных переменных задаются ограничения и значение целевой функции, представленные в Таблице 2, где T^{start} – время начала ремонта, T^{end} – время окончания ремонта, T_0 – момент времени, когда должен наступить первый ремонт, T_{wt} – время безотказной работы, j – номер ремонта (индексация начинается с 0), i – номер машины.

Таблица 2 – Ограничения и целевая функция для второго метода

Номер ремонта	Ограничения	Целевая функция
$j = 0$	$T^{start}_{i,0} \leq T_{0i}$	$C_{j=0} = \sum_i^{mc} T^{start}_{i,j=0}$
$j > 0$	$T^{start}_{i,j} - T^{end}_{i,j-1} \geq 0,$ $T^{start}_{i,j} - T^{end}_{i,j-1} \leq T_{wt}$	$C_{j>0} = \sum_i^{mc} (T^{start}_{i,j} - T^{end}_{i,j-1})$

Кроме того, на переменные накладывается еще одно ограничение: рассчитанные интервалы не должны пересекаться друг с другом. Суммарная целевая функция по всем ремонтам и машинам: $C = \sum_j C_j$.

На следующем этапе (в третьем методе) алгоритм находит решение задачи. После этого вызывается четвертый метод, который проверяет необходимость добавления дополнительных ремонтов с помощью условий:

- минимальное количество ремонтов должно быть больше 0, то есть $min_repair_count_i > 0$. Данное условие учитывает ситуации, когда средняя наработка на отказ больше, чем горизонт планирования ($T_{wt} \geq T_h$);
- разность между горизонтом планирования и окончанием последнего ремонта больше средней наработки на отказ, то есть:

$$T_h - T_{end_{i,j}}^{end} > T_{wt}, \quad (3)$$

где T_h – горизонт планирования; $T_{end_{i,j}}^{end}$ – время окончания последнего ремонта, то есть ремонта j ; T_{wt} – средняя наработка на отказ.

Если существует необходимость в дополнительных ремонтах, которая проверяется с помощью пятого метода, то повторно конструируется экземпляр класса с новыми исходными данными. Таким образом реализована рекурсия, которая добавляет в решение необходимые дополнительные ремонты. Усовершенствования, внесенные в базовый алгоритм, предоставляют возможность динамически формировать расписание работ без необходимости предварительного задания фиксированного числа ремонтов.

На заключительном этапе работы алгоритма происходит вызов шестого и седьмого методов, которые выводят результат в текстовом виде и в виде диаграммы Ганта. Работоспособность программы проверена с помощью данных, полученных во второй главе. Диаграммы Ганта, сформированные в результате работы программы на первой и второй итерациях, представлены на Рисунке 4.

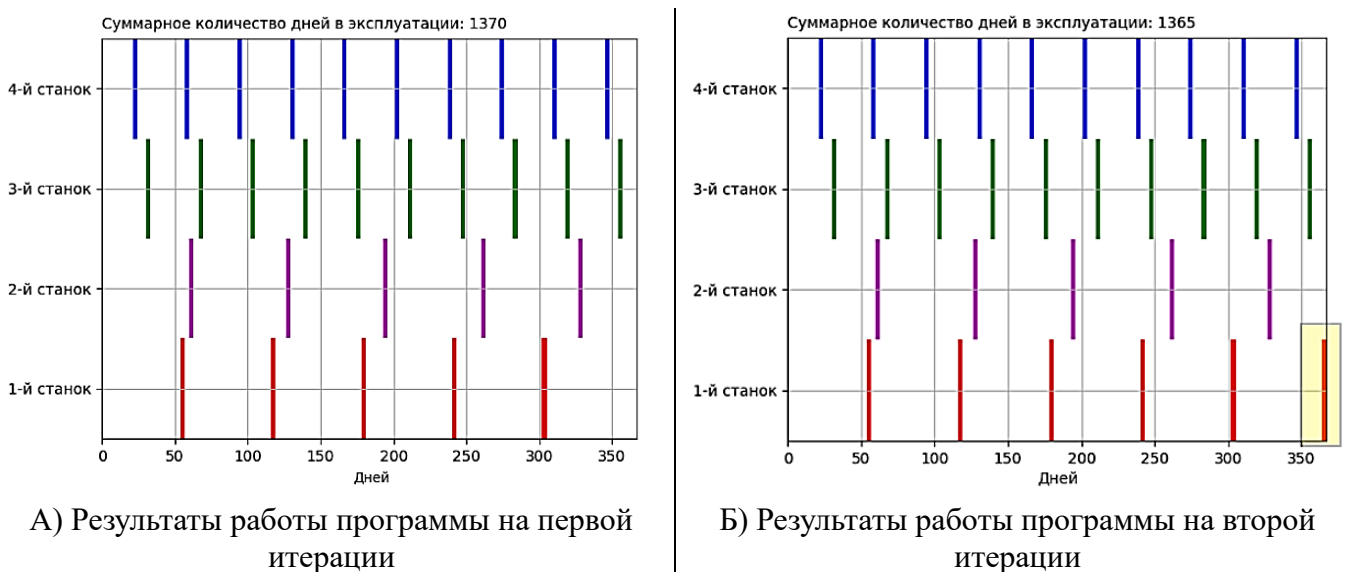


Рисунок 4 – Диаграммы Ганта для четырех станков

Для заданных первоначальных параметров оптимальный план-график ремонтных работ составлен на второй итерации работы программы.

В Главе 4 изложены материалы по проектированию информационной модели знаний об объекте ТООР, по разработке организационно-технического метода организации работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования и по расчету его эффективности.

Во второй и третьей главе диссертационной работы разработано два инструмента, требующих большого количества входных данных. Для того, чтобы эти данные можно было хранить, изменять и использовать, на основе теории баз данных проектируется информационная модель знаний об объекте ТООР, способная организовывать, упорядочивать и представлять данные в последовательной форме. Проектирование базы данных включает разработку трех уровней: концептуального, логического (инфологическая и даталогическая модели) и физического. На Рисунке 5 представлена разработанная даталогическая схема информационной модели знаний, в которую входят 12 сущностей, содержащих информацию об оборудовании, статистике отказов и их причинах.

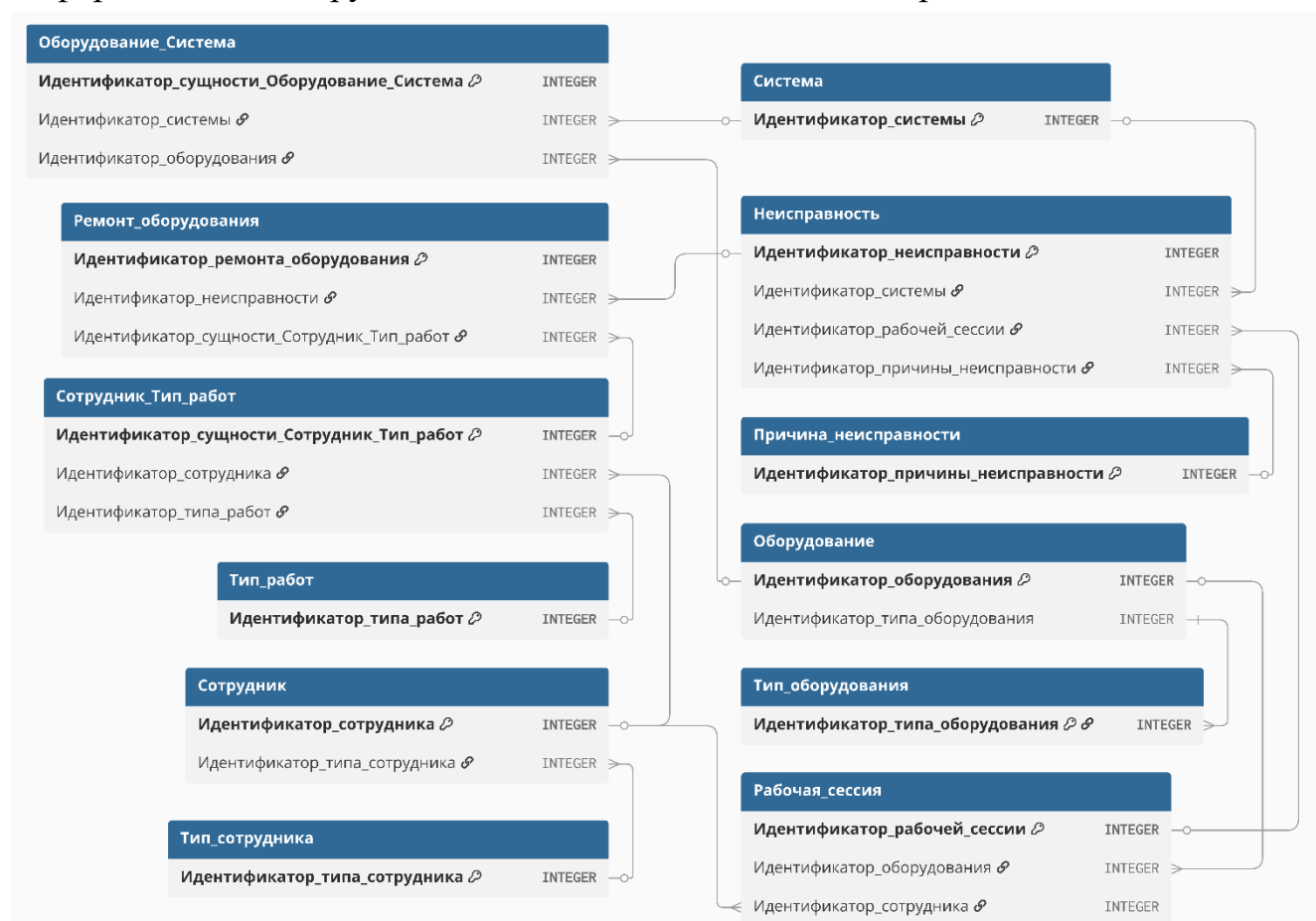


Рисунок 5 – Даталогическая модель знаний об объекте ТООР

Разработанные ранее компоненты (информационная модель знаний, метод прогнозирования технического состояния оборудования и алгоритм составления расписания ремонтных работ) объединены в организационно-технический метод, представленный на Рисунке 6 и заключающийся в последовательном применении трех его составных компонентов.



Рисунок 6 – Организационно-технический метод организации работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования

В предлагаемом методе реализован сквозной поток данных, предполагающий ситуацию, при которой выходные данные одного этапа являются входными данными следующего, и гарантирующий, что на каждом этапе используются актуальные и точные данные, необходимые для анализа, прогнозирования и планирования ремонтных работ.

Расчет эффективности использования предлагаемого организационно-технического метода предусматривает рассмотрение альтернативного сценария, при котором в результате работы программы прогнозирования технического состояния оборудования подбираются параметры только экспоненциального закона, как наиболее популярного в теории надежности. В рамках настоящей работы эффективность определяется следующим образом:

$$E = \frac{C_{exp} - C_{opt}}{C_{exp}} \cdot 100 \%, \quad (4)$$

где E – эффективность предлагаемого метода; C_{exp} – количество ремонтов для экспоненциального закона распределения (альтернативный сценарий); C_{opt} – количество ремонтов для наиболее подходящего закона распределения (выбранный сценарий).

Результаты расчетов показали, что внедрение разработанного организационно-технического метода и оценка его эффективности при выбранной

вероятности наступления отказа в 40 % приводит к тому, что количество ремонтов при выборе наиболее подходящей функции надежности сокращается на 15 %, а суммарное время бесперебойной работы оборудования увеличивается на 29 дней в год. При вероятности наступления отказа в 60 % количество ремонтов сокращается на 16 %, а суммарное время бесперебойной работы оборудования увеличивается на 18 дней в год.

Выводы и заключение

1. Анализ существующих стратегий организации технического обслуживания и ремонта оборудования машиностроения позволил определить достоинства и недостатки стратегий ТОиР и выявить целесообразность использования смешанной стратегии, ориентированной на надежность оборудования.

2. Разработанный метод прогнозирования технического состояния оборудования, включающий программный комплекс выбора наиболее подходящей функции надежности, который основан на законах суперпозиции, позволяет более точно (на 85 % лучше по сравнению с унимодальными распределениями) прогнозировать среднюю наработку на отказ, необходимую при составлении расписаний ремонтных работ. Разработанные на языке программирования Python программы, входящие в программный комплекс, зарегистрированы в Реестре программ для ЭВМ (Свидетельство № 2024692392, 28.12.2024; Свидетельство № 2025695292, 10.12.2025).

3. Разработанный алгоритм планирования ремонтных работ оборудования, основанный на методах теории расписаний, позволяет формировать планы-графики ремонтов для заданного горизонта планирования без первоначального задания количества ремонтов, а также с помощью рекурсивного алгоритма выявлять необходимость в проведении дополнительных ремонтов так, чтобы суммарное время работы всего парка машин было максимальным. Предложенный алгоритм реализован с помощью программы, написанной на языке программирования Python и зарегистрированной в Реестре программ для ЭВМ (Свидетельство № 2025615094, 28.02.2025).

4. Спроектированная в соответствии с правилами теории баз данных информационная модель знаний об объекте ТОиР содержит информацию об оборудовании, его режимах работы, неисправностях и ремонтах, что позволяет решить проблему неполноты оцифрованных данных, необходимых для организации работ по техническому обслуживанию и ремонту в рамках предложенного организационно-технического метода.

5. Разработанный организационно-технический метод организации работ по техническому обслуживанию и ремонту является комплексным инструментом, который определяет последовательность использования данных из информационной модели знаний об объекте ТОиР, результатов работы метода прогнозирования технического состояния оборудования и алгоритма составления расписаний ремонтных работ. Внедрение разработанного организационно-технического метода и оценка его эффективности показали, что при выбранной вероятности наступления отказа в 40 % количество ремонтов при выборе наиболее подходящей функции надежности сократится на 15 %, а суммарное время бесперебойной работы оборудования увеличится на 29 дней в год. При вероятности наступления отказа в 60 % количество ремонтов сократится на 16 %, а суммарное время бесперебойной работы оборудования увеличится на 18 дней в год.

Таким образом, все задачи диссертационного исследования были решены, а оценка эффективности внедрения разработанных инструментов организации работ по техническому обслуживанию и ремонту показала целесообразность их использования ведущими отечественными предприятиями в сфере машиностроения.

Основные публикации по теме диссертационной работы

Научные статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России по специальности 2.5.22

1. Новикова Т.А., Ляпунцова Е.В. Разработка алгоритма планирования ремонтных работ в рамках организации технического обслуживания и ремонта // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2025. № 12. С. 153-159 (1,07 п.л. / 0,8 п.л.).
2. Новикова Т. А. Организационно-технический метод планирования ТОиР оборудования на основании реальной статистики отказов // Автоматизация в промышленности. 2025. № 8. С. 18-24. (1,13 п.л.).
3. Новикова Т.А., Ляпунцова Е.В. Разработка инструмента прогнозирования состояния оборудования с учетом выбора оптимальной функции надежности // Контроль. Диагностика. 2025. Т. 28. № 6. С. 46-52 (0,75 п.л. / 0,52 п.л.).
4. Новикова Т.А., Ляпунцова Е.В. Проектирование информационной модели знаний об объекте технического обслуживания и ремонта // Наука и бизнес: пути развития. 2024. №11 (161). С. 116-121 (0,56 п.л. / 0,39 п.л.).

5. Новикова Т.А., Ляпунцова Е.В. Сравнительный анализ существующих стратегий организации технического обслуживания и ремонта сложных технических систем // Инновации в менеджменте. 2024. №4 (42). С. 48-55 (0,81 п.л. / 0,57 п.л.).

Публикации по теме в других изданиях

6. Новикова Т.А. Использование суперпозиции двух функций распределения при оценке надежности оборудования машиностроительной отрасли // Русский инженер: III Международный конгресс: сборник тезисов. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2025. С. 321-323 (0,19 п.л.).

7. Новикова Т.А. Инструменты разработки информационной модели объекта технического обслуживания и ремонта // Русский инженер: II Всероссийский конгресс с международным участием. М., 2024. С. 364-366 (0,19 п.л.).

8. Новикова Т.А. Инструменты аналитики, позволяющие обрабатывать большие данные // Инновационное предпринимательство в эпоху глобальных перемен: стратегии адаптации и партнерские возможности: Сборник научных статей участников международной научно-практической конференции, Москва, 16 апреля 2024 года. Москва: Образование. Пресс, 2024. С. 470-475 (0,31 п.л.).

Свидетельство на программу для ЭВМ

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024692392 Российская Федерация Программа прогнозирования технического состояния оборудования с помощью выбора оптимальной функции надежности: № 2024692496 : заявлено 28.12.2024 : опубликовано 28.12.2024 / Новикова Т.А. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ.

10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025615094 Российская Федерация Программа планирования ремонтных работ оборудования машиностроения: № 2025613063 : заявлено 20.02.2025 : опубликовано 28.02.2025 / Новикова Т.А., Ляпунцова Е.В. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ.

11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025695292 Российская Федерация Программа прогнозирования технического состояния оборудования, основанная на выборе функции надежности с использованием суперпозиции двух распределений: № 2025694456: заявлено 30.11.2025: опубликовано 10.12.2025 / Новикова Т.А. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ.