



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА  
(РОСАВИАЦИЯ)**

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

**ФАКУЛЬТЕТ** \_\_\_\_\_ **Механический**

**КАФЕДРА** \_\_\_\_\_ **Технической эксплуатации летательных аппаратов и  
авиационных двигателей (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** \_\_\_\_\_ **Формирование и корректировка оптимальных режимов технического  
обслуживания функциональных систем воздушных судов с учетом реальных  
условий эксплуатации**

**Обучающийся:** \_\_\_\_\_ **Грузд Антон Дмитриевич**  
(Ф.И.О.) \_\_\_\_\_ (Подпись)

**Научный руководитель:** \_\_\_\_\_ **д.т.н., проф. Чинючин Ю.М.**  
(уч.степень, уч.звание, Ф.И.О.) \_\_\_\_\_ (Подпись)

**Рецензенты:** \_\_\_\_\_ **д.т.н., проф. Машошин О.Ф.**  
(уч.степень, уч.звание, Ф.И.О. ) \_\_\_\_\_ (Подпись)

\_\_\_\_\_ **д.т.н., проф. Самойленко В.М.**  
(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**

**Актуальность темы.** Высокие темпы развития воздушного транспорта на современном этапе гражданской авиации выдвигают на первый план проблему повышения эффективности эксплуатации авиационной техники (АТ). Эффективность использования самолётов гражданской авиации (ГА) и затраты на техническую эксплуатацию в значительной степени определяются уровнем эксплуатационной надёжности АТ и режимами технического обслуживания (ТО) воздушных судов (ВС). В условиях возрастающей конструктивной сложности ВС и его функциональных систем (ФС), нарастающей конкуренции между фирмами-разработчиками АТ и между эксплуатационными авиапредприятиями задача повышения эффективности использования ВС по назначению и снижения затрат на их ТО приобретает весьма важное значение.

Совершенствование режимов ТО ВС является одним из основных направлений повышения эффективности эксплуатации ВС ГА при обеспечении необходимого уровня безопасности полётов.

Современный этап развития ГА РФ требует от эксплуатационных авиапредприятий сокращения затрат времени и труда на ТО эксплуатируемого парка ВС. В этой связи, одной из актуальных является проблема оптимизации затрат на ТО ВС, которая решается каждым эксплуатационным авиапредприятием индивидуально и в значительной степени зависит от условий эксплуатации.

Затраты на ТО ВС в процессе эксплуатации составляют 10 - 17% от себестоимости лётного часа в полных эксплуатационных расходах современных типов ВС, однако, именно совершенствование режимов ТО не требует дополнительных капитальных вложений и обеспечивает сокращение простоев ВС на ТО, что и определяет эффективность исследований по совершенствованию режимов ТО.

Парк ВС в эксплуатационных авиапредприятиях требует регулярного дорогостоящего ТО, постоянным фактором риска является остановка производственного процесса вследствие отказа компонента, узла или агрегата ВС либо его технологического простоя в связи с плановым ТО. В этом случае



предприятие несет дополнительные потери в виде затрат на запасные части и реорганизацию технологических процессов.

Традиционный подход к ТО ВС, как правило, подразумевает соблюдение графика профилактических работ, предоставленного разработчиком ВС. При этом график является универсальным и не учитывает условия эксплуатации на конкретном эксплуатационном авиапредприятии – дальность полетов, климатические условия, эксплуатационно-технические характеристики ВС, качество ТО, уровень квалификации персонала и т.п. Таким образом, количество проверок может оказаться чрезмерным или, наоборот, недостаточным. Кроме того, график профилактического ТО может быть рассчитан на инциденты, которые могут никогда не произойти. Такой подход, называемый превентивным ТО, требует значительных затрат на обслуживание ВС и, не смотря на свою стоимость, не может гарантировать бесперебойную работу производственных систем.

Развитие АТ, в том числе принципов проектирования, технологий изготовления и способов обеспечения безопасности полётов привело к технической возможности существенного сокращения объёмов работ ТО и оптимизации периодичности их выполнения при том же уровне безопасности полётов ВС в целом. Значительный вклад в совершенствование режимов ТО ВС вносит также применение стратегий эксплуатации изделий ВС по техническому состоянию, которые предполагают перенос акцентов в режимах ТО изделий от плановой профилактики к плановому контролю состояния.

Актуальность темы исследования определяется наличием нерешенной научной задачи по разработке единого метода формирования оптимальных режимов ТО функциональных систем ВС с учетом реальных условий эксплуатации.

Результаты данной работы могут быть использованы и внедрены как в ОКБ разработчика ВС, так и эксплуатационные авиапредприятия, что внесло бы существенный вклад в обеспечение безопасности полетов и повышение эффективности процесса технической эксплуатации.



**Степень разработанности темы исследования.** Формированию режимов ТО ВС посвящено множество исследований и нормативно-технических документов, однако комплексный документ типа MSG-3, в отечественной нормативной базе отсутствует. Среди ведущих ученых и авиационных специалистов, работы которых широко используются в ГА и авиационной промышленности, которые внесли большой вклад в развитие методов выбора и обоснования объемов и периодичности работ по ТО ВС можно выделить Н.Н. Смирнова, А.А. Ицковича, Ю.М. Чинючина, Е.Д. Герасимову, С.В. Далецкого, О.Я. Деркача, Барзиловича Е.Ю., А.В. Лебедева, С.С. Далецкого, Г.Н. Гипича, Р.В. Сакача, В.С. Шапкина, И.Г. Кирпичева, А.А. Кулешова, М.С. Громова, В.В. Никонова, А.Н. Петрова и др.

Необходимо отметить разработки ГосНИИ ГА, МГТУ ГА, ЛИИ им. М.М. Громова, ЦАГИ и ОКБ разработчиков ВС.

В результате этих исследований разработаны теоретические основы и практические методы формирования и корректировки режимов отечественных типов ВС ГА как находящихся в эксплуатации: Ил-96, Ил-76, Ту-204/214, Бе-200, Як-42, Як-40, Ан-24, Ан-124, Ан-148 и др., так и вновь создаваемых: Ил-114, SSJ-100 (RRJ-95), MC-21 и др.

Однако единых методических и нормативных документов в нашей стране по формированию режимов ТО функциональных систем ВС нет. Практически отсутствуют методики, инструменты прогнозирования и оценки эффективности мероприятий. Указанные разработки базируются на методиках ученых и организаций, описанных выше, что приводит к различным результатам по типам ВС ГА и различной трактовке этих результатов, вызывающей существенные трудности при сертификации ВС и поддержанию лётной годности ВС в эксплуатации. Выбор работ производится без учёта их влияния на состояние ВС в целом, а периодичность формируется по последствиям отказа на безопасность полётов без учёта эксплуатационных и других факторов.

Следует отметить, что проблемы формирования режимов ТО зарубежных типов ВС решаются на основе последовательных выпусков нормативных



документов типа MSG, которые основаны на логическом анализе выбора работ по ТО ВС, учитывающих структуру и состав этих систем. Опыт применения документов MSG показывает, что логика выбора работ ТО ВС во многом базируется на опыте эксплуатации ВС-аналогов нового типа ВС и изделий его комплектации.

В то же время, использовать в эксплуатационном авиапредприятии научные результаты и достижения других отраслей сложно из-за таких особенностей авиационной деятельности, как:

- чрезвычайная сложность авиационно-транспортной системы, обусловленная разнообразием входящих в неё подсистем и элементов, многочисленностью их связей и взаимозависимостей;
- высокий уровень неопределенности воздействия внешних факторов, как природных, так и искусственных;
- особая и разноплановая роль человека на разных этапах организации, подготовки и выполнения полетов;
- глобальный характер деятельности, социальная значимость и повышенное внимание к воздушному транспорту в обществе.

**Объект исследования:** надежность функциональных систем воздушных судов в ожидаемых условиях эксплуатации.

**Предмет исследования:** процессы управления техническим состоянием функциональных систем воздушных судов.

**Цель исследования:** решение научной задачи по разработке методики формирования и корректировки оптимальных режимов ТО функциональных систем ВС с учетом реальных условий эксплуатации, обеспечивающих заданный уровень безопасности и регулярности полетов при минимальных затратах труда, времени и средств.

**Методы исследования:** системный анализ; методы математической статистики и теории вероятностей; имитационное моделирование; статистический эксперимент.

**Задачи исследования:**

1. Обоснование направления исследований.
2. Анализ существующих методов формирования режимов ТО функциональных систем ВС отечественного и зарубежного производства.
3. Разработка единой методики формирования и корректировки оптимальных режимов ТО функциональных систем ВС с учетом реальных условий эксплуатации.
4. Проведение экспериментальных исследований разработанной методики;
5. Техничко-экономическое обоснование целесообразности внедрения методики формирования и корректировки оптимальных режимов ТО функциональных систем и оценка эффективности процесса технической эксплуатации ВС.

**Новизна полученных результатов:**

1. Разработана единая методика формирования и корректировки оптимальных режимов ТО функциональных систем ВС с учетом реальных условий эксплуатации.
2. Проведение экспериментального исследования разработанной методики.
3. Техничко-экономическая оценка эффективности внедрения прогрессивных режимов ТО функциональных систем ВС.

**Достоверность результатов исследований.** Разработанная методика опирается на фундаментальные основы методов математической статистики, системного анализа и теории вероятностей. Методика была апробирована на основе реальных статистических данных об отказах и повреждениях функциональных систем парка самолетов семейства Ту-204/214 одного из эксплуатационных авиапредприятий России.

**Практическая значимость работы** состоит в том, что предложенная методика позволяет:

- формировать оптимальные режимы ТО функциональных систем ВС с учетом реальных условий эксплуатации, обеспечивающие минимальные затраты



труда, времени и средств при заданных уровнях безопасности и регулярности полётов;

- проводить выбор и корректировку эффективного состава работ по ТО и периодичности их выполнения в различных условиях эксплуатации ВС;
- проводить экономическую оценку эффективности оптимальных режимов ТО функциональных систем ВС.

**Апробация работы.** Результаты выполненных исследований докладывались и получили положительную оценку:

- на межвузовской научно-практической конференции посвящённой Всемирному дню философии «Наука. Техника. Человек. Мировоззренческие, исторические и методологические проблемы», проводимой в МГТУ ГА 18 ноября 2020 года, г. Москва;
- на Международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию МГТУ ГА «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества», проводимой в МГТУ ГА 25–26 мая 2021 года, г. Москва;
- на XLIX Международной молодежной научной конференции «Гагаринские чтения - 2023», проводимой в МАИ 12 апреля 2023 года, г. Москва;
- на Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию отечественной гражданской авиации «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества», проводимой в МГТУ ГА 18–19 мая 2023 года, г. Москва;
- на 2-ой Международной научно-технической конференции «Скоростной транспорт будущего: перспективы, проблемы, решения», проводимой в МАИ 29 августа – 3 сентября 2023 года, Алушта;
- на IX Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 100-летию отечественной гражданской авиации «Проблемы эксплуатации авиационной техники в современных условиях», проводимой в ЦНИИ ВВС 1–2 ноября 2023 года, г. Люберцы;

- на научно-технической конференции «Научные чтения по авиации, посвящённые памяти Н. Е. Жуковского», проводимой в МГТУ ГА 18–19 апреля 2024 года, г. Москва.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обосновывается актуальность проблемы формирования режимов ТО функциональных систем ВС и дается общая характеристика работы ее целей, задач, полученных результатов их новизны и практического применения.

**В первой главе** рассмотрены научно-технические основы существующих методов формирования режимов ТО функциональных систем отечественных и зарубежных типов ВС ГА. На основе действующих нормативно-методических документов, сделан анализ этих методов, рассмотрены технологии и организация проведения работ по формированию режимов ТО функциональных систем на этапах разработки, испытаний и эксплуатации и на этой основе сформулированы цели и задачи научно-квалификационной работы применительно к реальным условиям функционирования отечественной ГА и авиационной промышленности.

Для зарубежных типов воздушных судов ГА исследованы результаты применения документов, типа MSG, основанных на логике альтернативных инженерных решений по выбору состава и периодичности выполнения работ при формировании исходных требований к плановому техническому обслуживанию (ИТПТО) типа ВС и их корректировки в процессе эксплуатации ВС, самими эксплуатантами. MSG-3 анализ предназначен для облегчения формирования исходных состава и периодичности плановых работ по ТО. В общем случае режимы ТО формируются в следующем порядке: определяются элементы важные для технического обслуживания (экспертная оценка) → по логической схеме выявляются явные и скрытые отказы → исходя из выявленных отказов, по логической схеме, определяется влияние на безопасность полетов данных отказов → если выявлен явный или скрытый отказ, влияющий на БП, то устанавливается работа для планового ТО → выбор типа плановых задач (общий визуальный осмотр / визуальный контроль / детальный осмотр / специальный детальный осмотр / контроль исправности / контроль работоспособности / обслуживание / смазка /



восстановление / списание) → установка периодичности ТО для плановой работы по ТО по критериям выбора периода интервала: результаты испытаний; рекомендация производителя; требования эксплуатанта; опыт эксплуатации; инженерная оценка → формирование ИТПТО.

На основании документа ИТПТО, ограничений летной годности, бюллетеней и директив летной годности разработчик формирует исходные данные по планированию технического обслуживания (ИДПТО). Документ ИДПТО будет являться основой для разработки эксплуатантом собственной Программы ТО, в которой заложены объем работ и периодичность их выполнения.

Для отечественных типов ВС ГА исследованы результаты применения отечественных методик норм и правил по формированию регламентов ТО основанных, в основном, на аналоговом принципе отбора состава и периодичности выполнения работ ТО по прототипам, с применением аналитических расчетов по влиянию режимов ТО на безопасность и эффективность эксплуатации ВС с позиции обеспечения надежности и безопасности полетов. В общем случае режимы ТО формируется в следующем порядке: анализ безотказности функциональных систем → выбор структуры регламента ТО → выбор режимов ТО → эксплуатационная проверка регламента ТО → корректировка регламента ТО в процессе эксплуатации. Работы по ТО при этом делятся на основные и вспомогательные, плановые и неплановые, которые в свою очередь могут быть разделены на технологическое обслуживание, контроль состояния и поддержание и восстановление надежности.

Для вновь создаваемых отечественных типов ВС, таких как SSJ-100 (RRJ-95) и MC-21 режимы ТО формируются на основе зарубежного опыта используя MSG-3 анализ, так как опыт иностранных Авиакомпаний и Производителей АТ в разработке ИТПТО показал, что более эффективное плановое техническое обслуживание разрабатывается в соответствии с методологией ATA MSG-3.

**Во второй главе** на основе обширного анализа, проведенного в первой главе, разработана единая методика формирования и корректировки оптимальных



режимов ТО функциональных систем ВС с учетом влияния условий эксплуатации отраженная в структурной блок-схеме рис. 1.

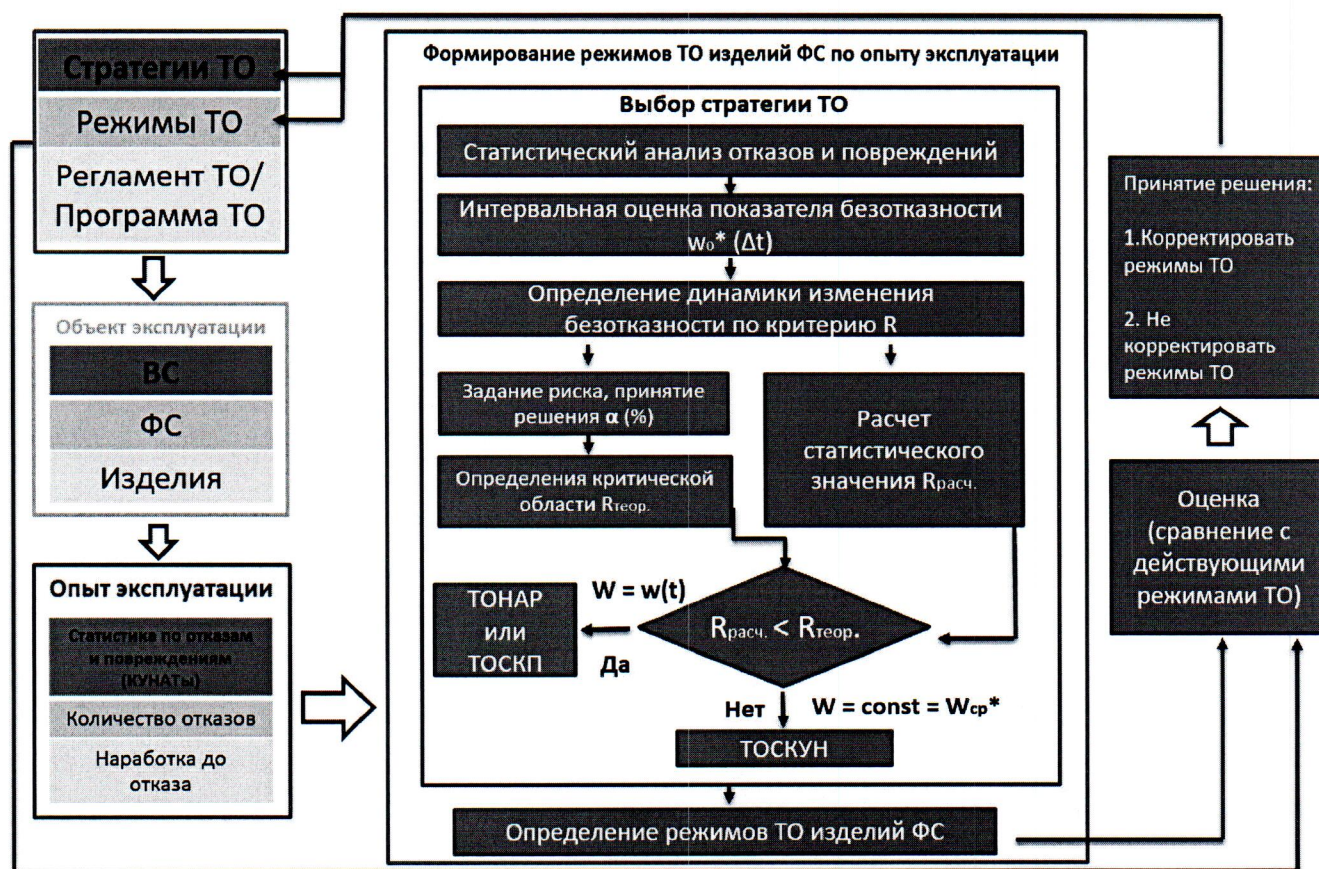


Рис. 1. Блок-схема формирования оптимальных режимов ТО функциональных систем ВС с учетом влияния условий эксплуатации

Реализация схемы (рис. 1) позволит оптимизировать режимы ТО изделий функциональных систем ВС с учетом конкретных условий эксплуатации в эксплуатационном авиапредприятии для сокращения затрат и повышения эффективности процесса технической эксплуатации парка ВС. Для решения поставленной задачи предлагается следующее:

1. Выполнить интервальную оценку безотказности (параметра потока отказов  $w_0^*(\Delta t)$ ) по накопленным статистическим данным по наработкам до отказа изделий функциональных систем в конкретных условиях эксплуатационного авиапредприятия;



2. Использовать статистический критерий серий (критерий R) для определения динамики изменения безотказности с доверительной вероятностью  $\gamma=1-\alpha$ ;

3. По результатам оценки критерия R принять решение о наличии устойчивого тренда в изменениях безотказности или его отсутствия;

4. Рекомендовать выбор стратегии ТО для изделий ФС с учетом условий эксплуатации (наличие тренда – стратегия технического обслуживания по наработке (ТОНАР) или стратегия технического обслуживания с контролем параметров (ТОСКП), отсутствие тренда – стратегия технического обслуживания с контролем уровня надежности (ТОСКУН));

5. Оптимизировать периодичность проведения профилактических работ по ТО для изделий функциональных систем известными методами оптимизации с учетом критериев для выбранной стратегии ТО;

6. Сформировать режимы ТО изделий ФС (стратегии ТО, объемы и периодичность работ) и сравнить их с базовым (действующим) регламентом ТО или Программой ТО;

7. При необходимости принять решение о корректировке действующих режимов ТО изделий ФС.

**В третьей главе** представлено апробирование данной методики для формирования оптимальных режимов ТО на примере тормозных дисков КТ196М.290 функциональной системы шасси парка самолетов семейства Ту-204/214 одного из эксплуатационных авиапредприятий России.

Были определены и рассмотрены факторы, определяющие условия эксплуатации парка самолетов Ту-204/214, а также конструктивные особенности и причины отказов и повреждений тормозных дисков.

Для формирования режимов ТО тормозных дисков КТ196М.290 использовалась статистика по отказам и повреждениям за многолетний период эксплуатации. Выполнена интервальная оценка безотказности по показателю – параметр потока отказов  $\omega_o(t)$  и доказана правомерность использования стратегии

ТОНАР по динамике изменения безотказности (критерий R). Был проведен анализ законов распределения наработки до отказа тормозных дисков КТ196М.290 и их параметров. Определение закона распределения наработок до отказов выполнялось с помощью автоматизированной системы «ДИАНА». Закон распределения определялся по критерию Колмогорова, рассматривалось 6 видов законов распределения с определением их параметров. Получено, что наиболее достоверно статистическим данным соответствует логнормальное распределение (логарифмически-нормальное). Получены также статистические характеристики наработки до отказа (математическое ожидание, среднеквадратическое отклонение, дисперсия, коэффициент вариации). По полученным данным среднее значение наработки до отказа тормозных дисков КТ196М.290 составит  $T_{cp}=23587$  час. Оптимальная периодичность проведения ТО тормозных дисков КТ196М.290 (осмотр и проверка работоспособности) определена для вероятности безотказной работы  $P(t) = 0,90$  и с учётом оценки математического ожидания и среднеквадратического отклонения составила  $t_{пр\text{ опт}} = 2115$  час.

Несмотря на то, что тормозные диски КТ196М.290 являются наименее надежными из компонентов функциональной системы шасси парка самолетов семейства Ту-204/214, для рассмотренных условий эксплуатации, исходя из расчетов по оптимизации режимов ТО, рекомендованы профилактические осмотры с периодичностью 1800 ч (2-ой раз выполнение формы 1) вместо 900 ч (форма 1 периодического ТО). В ходе расчетов подтверждена целесообразность использования стратегии ТОНАР для тормозных дисков КТ196М.290 с установленным ресурсом  $T_p = 21000$  ч.н.

**В заключении** дается оценка результатов выполненных исследований, подтверждающих решение поставленных задач.

**В приложении А** приведены статистические данные по отказам и повреждениям функциональной системы шасси за многолетний период эксплуатации парка самолетов Ту-204/214 одного из эксплуатационных авиапредприятий России.



**В приложении Б** приведена таблица перечня работ и периодичности их выполнения, взятая из базового регламента технического обслуживания периодической формы функциональной системы шасси самолетов семейства Ту-204/214.

**В приложении В** приведены статистические данные по распределению инцидентов с самолетами семейства Ту-204/214, происшедших в течение 2011-2022 годов и связанных с отказами систем, и оборудования по данным ФАВТ.