

[https://doi.org/10.53364/24138614\\_2024\\_35\\_4\\_2](https://doi.org/10.53364/24138614_2024_35_4_2)  
МРНТИ 73.37.41

<sup>1</sup>А. Н. Сулейменова\*, магистрант

Научный руководитель: <sup>1</sup>С.Ж. Карипбаев

<sup>1</sup>АО «Академия Гражданской Авиации», г. Алматы, Казахстан

\*E-mail: [amina.suleimenova@list.ru](mailto:amina.suleimenova@list.ru)

## ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В АВИАЦИИ: ПОДХОДЫ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИМЕРЫ

*Аннотация.* В авиационной отрасли техническое обслуживание (ТО) является критически важным процессом, поскольку оно напрямую влияет на безопасность, надежность и экономическую эффективность эксплуатации воздушных судов. Программы ТО помогают поддерживать самолеты в исправном состоянии, выявлять потенциальные неисправности до их проявления и оптимизировать эксплуатационные расходы. Данная статья посвящена подходам к повышению эффективности ТО самолетов, с акцентом на программу технического обслуживания и программу надежности, а также возможности для адаптации процедур на основе опыта оператора.

*Ключевые слова:* программа технического обслуживания, программа надежности, повышение эффективности, оптимизация, статистические методы в ТО.

*Введение.* В сфере авиации эффективность технического обслуживания является ключевым фактором, который напрямую влияет на безопасность и надежность работы воздушных судов. Программы ТО и надежности обеспечивают операторам необходимую гибкость для адаптации процедур обслуживания под специфические условия эксплуатации. Ожидается, что с развитием технологий и углубленным анализом данных, процессы технического обслуживания станут более предсказуемыми, экономически эффективными и безопасными. Данная статья посвящена исследованию различных компонентов программ ТО и надежности, а также представлению практических примеров успешной адаптации процедур.

*Основная часть.*

**Программа технического обслуживания.** Программа технического обслуживания строится на стандартах и требованиях, разработанных производителем на основе испытаний, анализа отказов и практического опыта. Основная цель этой программы заключается в том, чтобы поддерживать воздушное судно в исправном состоянии и обеспечивать его безопасную эксплуатацию на протяжении всего жизненного цикла. Ключевые элементы

программы ТО включают:

- Базовое и линейное обслуживание: включает регулярные проверки и устранение мелких неисправностей, выполняемые между полетами.

- Периодические проверки: Запланированные осмотры на определенных интервалах, которые помогают выявить неисправности до их проявления.

- Ремонт и замена деталей: включают процедуры по замене или восстановлению компонентов, изношенных в процессе эксплуатации.

Программа ТО разрабатывается с учетом того, что эксплуатация у разных операторов может различаться. Поэтому каждый оператор может внести изменения в программу, адаптируя её под свои эксплуатационные условия и статистику дефектов, что повышает гибкость и точность программы ТО.

**Программа надежности.** Программа надежности позволяет отслеживать техническое состояние самолетов и выявлять тенденции в появлении дефектов. Она сосредоточена на сборе и анализе данных, что способствует предсказанию будущих неисправностей. Применение статистических методов и моделей прогнозирования позволяет операторам улучшить планирование ТО и своевременно реагировать на потенциальные проблемы.

Элементы программы надежности:

- Сбор данных: фиксируются все неисправности, замены деталей и любые отклонения в работе систем.

- Анализ данных: Инженеры выявляют тенденции, например, если определенный компонент выходит из строя на определенном этапе.

- Рекомендации по улучшению ТО: если данные показывают частое проявление дефекта, это служит основанием для внесения изменений в график ТО или добавления проверок.

Программа надежности позволяет операторам и инженерам предугадывать, какие компоненты могут потребовать обслуживания, что минимизирует неплановые простои и повышает надежность самолета.

**Индивидуализация программы ТО.** Одним из ключевых преимуществ программы ТО является её гибкость, которая позволяет операторам адаптировать план обслуживания под особенности их работы. Операторы могут добавлять дополнительные пункты в программу ТО на основе анализа повторяющихся дефектов и эксплуатационных условий.

Адаптация программы ТО включает:

- Добавление новых проверок: например, если какой-либо компонент часто выходит из строя через определенное количество часов, оператор может добавить инспекцию или заменить этот компонент ранее, чем указано в стандартной программе.

- Адаптация частоты проверок: если наблюдается высокая износостойкость определенной системы, оператор может увеличить интервал между проверками, что позволит сократить затраты.

- Использование программы надежности: на основании данных о статистике дефектов оператор может внедрять профилактические мероприятия для избежания сбоев.

Эта индивидуализация повышает экономическую эффективность и снижает риск внезапных отказов, так как программа ТО оптимизируется под реальную эксплуатацию.

Для лучшего понимания, как программы надежности и ТО работают на практике, ниже приведены несколько примеров из опыта операторов.

*Пример 1:* Адаптация частоты замены фильтра на основе статистики

В стандартной программе ТО (MPD) для самолетов Embraer может быть предусмотрена замена топливного фильтра каждые 2000 циклов. Этот интервал установлен производителем на основе расчетных данных и испытаний, однако реальная эксплуатация может внести коррективы. Например, операторов, анализируя данные программы надежности, заметил, что фильтры начинают засоряться гораздо раньше — примерно каждые 1200-1500 циклов. Это привело к непредвиденным остановкам и необходимости срочного обслуживания.

Принятые меры:

Оператор принял решение сократить интервал замены фильтра с 2000 до 1500 циклов, добавив новую работу в программу ТО. Такое решение было обосновано анализом статистики отказов и предотвращением неплановых простоев.

Методология сбора и анализа данных. Чтобы принять обоснованное решение о сокращении интервала, оператор использует данные программы надежности и определенные аналитические методы. Вот основные шаги методологии:

1. Сбор данных о дефектах и заменах: Каждый раз, когда фильтр засоряется или требует замены раньше установленного интервала, это фиксируется в базе данных ТО. Включаются данные о пробеге, количестве циклов, времени работы, причинах неисправности и любых других сопутствующих факторах.

2. Анализ тенденций: после накопления данных за определенный период инженеры анализируют их, чтобы выявить тенденции. В данном случае было замечено, что фильтры засоряются раньше указанного интервала — чаще всего в пределах 1200-1500 циклов. Анализ выполняется с использованием статистических методов, таких как определение среднего времени отказа и построение распределения по частоте отказов.

3. Определение интервала на основе статистики: на основании данных оператор выявляет оптимальный интервал, при котором фильтры еще работают в норме, но вероятность засорения уже значительно возрастает. В данном случае, анализ показал, что интервал в 1500 циклов является оптимальным для поддержания надежности.

4. Внедрение новой процедуры в программу ТО: на основании выводов анализаторы предлагают изменить программу ТО, добавив замену фильтра

каждые 1500 циклов. Эти изменения согласуются с авиационными властями, если это необходимо, и обновленная программа утверждается для использования.

5. Мониторинг после внедрения: после того как новая частота замены фильтра введена в программу, оператор продолжает отслеживать данные, чтобы убедиться, что изменение положительно влияет на эксплуатационные результаты. Если данные покажут дальнейшее отклонение, интервал может быть пересмотрен снова.

Преимущества методологии:

- Снижение риска простоев: Регулярная замена фильтра до его засорения позволяет предотвратить неплановые остановки, повысить надежность и снизить расходы.

- Экономия на обслуживании: Оператор может сократить затраты за счет более точного интервала замены, исключая риск поломок и необходимости срочного ремонта.

- Повышение эффективности программы ТО: Программа ТО становится более адаптированной и экономичной, поскольку базируется на реальных данных эксплуатации, а не только на расчетах производителя.

Такая методология позволяет операторам эффективно реагировать на изменения в эксплуатационных условиях и поддерживать высокие стандарты безопасности и надежности.

Этот пример отлично иллюстрирует, как операторы могут повысить эффективность ТО, используя данные о качестве компонентов от различных партий и моделей. В данном случае, изменение партийного номера фильтров помогает уменьшить частоту отказов и улучшить общее качество обслуживания.

*Пример 2:* Ограничение на использование партийных номеров для повышения надежности. Допустим, оператор Embraer обнаружил, что определенная партия фильтров с конкретным номером часто выходит из строя раньше установленного интервала. Анализ программы надежности выявил, что фильтры из данной партии подвержены засорению через каждые 1000-1200 циклов, что существенно ниже запланированного интервала обслуживания. В результате этого возникли непредвиденные простои и дополнительные затраты на внеплановую замену фильтров.

Производитель, получив обратную связь от оператора и других авиакомпаний, проверил качество фильтров данной партии и предложил аналогичный компонент с новым партийным номером, который был протестирован и показал лучшие результаты по долговечности и устойчивости к засорению.

Процесс внедрения улучшений и создание Technical Information Letter (TIL):

1. Сбор данных и анализ качества фильтров: Оператор фиксирует частоту засорения фильтров и связанные с этим случаи внеплановых замен. Данные показывают, что компоненты определенной партии имеют существенные

отклонения от нормальных характеристик. Оператор связывается с производителем, чтобы определить альтернативу.

2. Предложение альтернативного партийного номера: Производитель подтверждает, что новый партийный номер фильтров тестировался и показал более высокую устойчивость к загрязнениям. Этот компонент также соответствует спецификациям, но имеет улучшенные эксплуатационные характеристики.

3. Проверка и анализ альтернативы: Оператор внедряет новый партийный номер в ограниченном количестве для тестирования, продолжая собирать данные по частоте засорения и эффективности работы нового фильтра. Тестирование подтверждает, что фильтры из новой партии работают стабильно дольше (например, 2000 циклов), что соответствует или даже превышает первоначальные ожидания.

4. Создание Technical Information Letter (TIL): после того как новый партийный номер фильтра успешно протестирован, оператор создает документ — TIL (Technical Information Letter), в котором рекомендует отказ от закупок фильтров с исходным партийным номером и предлагает использовать только фильтры из новой партии. В TIL описываются:

- Причина изменения: высокая частота отказов старой партии.
- Описание нового фильтра и его преимущества.
- Рекомендации для технических и закупочных отделов — например, ввести ограничение на использование старого партийного номера и приобрести фильтры только из проверенной партии.

5. Ограничение на закупки и внедрение в программу ТО: TIL становится официальным документом, на основании которого закупочный отдел прекращает приобретение фильтров старой партии. Программа ТО обновляется, чтобы включать новые фильтры, и оператор теперь использует только фильтры с улучшенными характеристиками.

Преимущества данного подхода:

- Повышение надежности: Использование компонентов с улучшенными характеристиками увеличивает надежность системы, снижает частоту отказов и минимизирует простои.

- Снижение эксплуатационных затрат: Увеличение интервала между заменами сокращает затраты на ТО и внеплановые простои.

- Оптимизация закупок: Ограничение на использование ненадежных партий помогает компании не тратить средства на некачественные компоненты.

- Адаптация программы ТО: Новые рекомендации становятся частью программы ТО, что позволяет избежать аналогичных проблем в будущем и повысить качество обслуживания.

Использование таких данных для оптимизации закупок и обслуживания — отличный пример того, как аналитический подход к ТО и обмен данными с производителями помогают авиакомпаниям снижать затраты и повышать

эффективность обслуживания.

*Выводы.* Техническое обслуживание в авиационной отрасли является ключевым элементом, обеспечивающим безопасность, надежность и экономическую эффективность эксплуатации воздушных судов.

Критическая роль технического обслуживания: Эффективное ТО способствует предотвращению аварий и снижению вероятности непредвиденных простоев, что напрямую влияет на безопасность полетов.

Гибкость и адаптация процедур: Возможность индивидуализации программ ТО в зависимости от специфики эксплуатации позволяет операторам более точно реагировать на реальные условия работы и улучшать качество обслуживания.

Важность программы надежности: Сбор и анализ данных о состоянии компонентов самолетов помогает выявлять тенденции в появлении неисправностей, что ведет к более эффективному планированию ТО и уменьшению затрат.

Использование статистических методов: Применение статистических методов и моделей прогнозирования позволяет операторам предугадывать возможные проблемы и оптимизировать график технического обслуживания.

Примеры успешных адаптаций: Конкретные примеры из практики показывают, как адаптация интервалов замены компонентов и переход на более надежные партии деталей могут существенно повысить эффективность и снизить эксплуатационные расходы.

Таким образом, внедрение систематического подхода к техническому обслуживанию, основанного на анализе данных и адаптации процедур, является необходимым для достижения высоких стандартов безопасности и надежности в авиации.

А. Н. Сулейменова, С.Ж. Карипбаев

## **АВИАЦИЯҒА ТЕХНИКАЛЫҚ ҚЫЗМЕТ КӨРСЕТУДІ ОҢТАЙЛАНДЫРУ: ТӘСІЛДЕР МЕН МЫСАЛДАР**

*Аңдатпа.* Авиация өнеркәсібінде техникалық қызмет көрсету маңызды процесс болып табылады, өйткені ол әуе кемелерінің жұмысының қауіпсіздігіне, сенімділігіне және үнемділігіне тікелей әсер етеді. Техникалық қызмет көрсету бағдарламалары ұшақтарды жақсы жұмыс күйінде ұстауға, ықтимал ақаулықтарды олар пайда болғанға дейін анықтауға және пайдалану шығындарын оңтайландыруға көмектеседі. Бұл мақалада техникалық қызмет көрсету бағдарламасы мен сенімділік бағдарламасына және оператор тәжірибесіне негізделген процедураларды бейімдеу мүмкіндігіне баса назар аударып, әуе кемелеріне техникалық қызмет көрсету тиімділігін арттыру тәсілдеріне назар аударылады.

**Түйін сөздер:** техникалық қызмет көрсету бағдарламасы, сенімділік бағдарламасы, тиімділікті арттыру, оңтайландыру, техникалық қызмет көрсетуде статистикалық әдістерді қолдану.

A.N. Suleimenova, S. Zh. Karipbayev

## OPTIMIZING AVIATION MAINTENANCE: APPROACHES AND CASE STUDIES

**Abstract.** *In the aviation industry, maintenance (MRO) is a critical process because it directly affects the safety, reliability, and cost-effectiveness of aircraft operations. Maintenance programs help to keep aircraft in serviceable condition, identify potential malfunctions before they occur, and optimize operating costs. This paper focuses on approaches to improve aircraft MRO performance, with emphasis on the maintenance program and reliability program, as well as opportunities to adapt procedures based on operator experience.*

**Keywords:** *aircraft maintenance program, reliability program, efficiency improvement, optimization, statistical methods in maintenance.*

### Список использованных источников

1. EASA. EASA Part-M: Поддержание летной годности / Агентство по авиационной безопасности Европейского союза. — 2020. — 130 с.
2. Сакаути К. Инжиниринг надежности при техническом обслуживании воздушных судов: статистический подход // Международный журнал управления авиацией. — 2019. — Т. 7, № 2. — С. 142–158.
3. Патель Р., Томас Дж. Инновационные подходы к оптимизации технического обслуживания воздушных судов // Международный журнал обзора аэрокосмических технологий — 2022. — Т. 15, № 1. — С. 34–47.
4. Смит Б. Важность программ надежности в техническом обслуживании авиационной техники // Международный журнал авиационной безопасности. — 2021. — Т. 12, № 4. — С. 110–118.
5. Руденко В. А. Инновационные подходы к техническому обслуживанию в авиации // Вестник авиационного университета. — 2019. — Т. 20, № 3. — С. 45–52.
6. Широков В. А. Анализ данных для повышения эффективности технического обслуживания воздушных судов // Научный журнал Авиатехники. — 2022. — Т. 30, № 1. — С. 22–30.

### Reference

1. EASA. EASA Part-M: Continuing Airworthiness / European Union Aviation Safety Agency. — 2020. — 130 p.
2. Sakauchi K. Reliability Engineering for Aircraft Maintenance: A Statistical Approach // International Journal of Aviation Management. — 2019. — Vol. 7, No. 2.

— P. 142–158.

3. Patel R., Thomas J. Innovative Approaches to Aircraft Maintenance Optimization // Aerospace Technology Review. — 2022. — Vol. 15, No. 1. — P. 34–47.

4. Smith B. The Importance of Reliability Programs in Aviation Maintenance // Aviation Safety Journal. — 2021. — Vol. 12, No. 4. — P. 110–118.

5. Rudenko V. A. Innovative Approaches to Maintenance in Aviation // Vestnik Aviation University. — 2019. — Vol. 20, No. 3. — P. 45–52.

6. Shirokov V. A. Data Analysis for Improving the Efficiency of Aircraft Maintenance // Scientific Journal of Aviation Engineering. — 2022. — Vol. 30, No. 1. — P. 22–30.

<b>Сулейменова Амина Нуркеновна</b>	Магистрант по научно-педагогическому направлению группы образовательных программ “Авиационная техника и технологии”, АО «Академия Гражданской Авиации», г. Алматы, 050039, РК, E-mail: <a href="mailto:suleimenova.amina@list.ru">suleimenova.amina@list.ru</a>
<b>Сулейменова Амина Нуркеновна</b>	"Авиациялық техника және технологиялар" білім беру бағдарламалары тобының ғылыми-педагогикалық бағыты бойынша магистрант, "Азаматтық авиация академиясы" АҚ Алматы қ., 050039, ҚР, E-mail: <a href="mailto:suleimenova.amina@list.ru">suleimenova.amina@list.ru</a>
<b>Suleimenova Amina Nurkenovna</b>	Master's student in the scientific and pedagogical track of the "Aviation Engineering and Technology" educational program group, JSC "Academy of Civil Aviation", Almaty, 050039, Kazakhstan E-mail: <a href="mailto:suleimenova.amina@list.ru">suleimenova.amina@list.ru</a>

<b>Карипбаев Салиакын Жумадилович</b>	Кандидат технических наук, доктор PhD, ассоциированный профессор кафедры «Авиационная техника и технологии»; Академия гражданской авиации, г. Алматы, Республика Казахстан; E-mail: <a href="mailto:s.karipbaev@agakaz.kz">s.karipbaev@agakaz.kz</a>
<b>Кәріпбаев Салиакын Жұмаділұлы</b>	Техника ғылымдарының кандидаты, PhD докторы, Авиациялық техника және технологиялар кафедрасының қауымдасқан профессоры; Азаматтық авиация академиясы, Алматы, Қазақстан Республикасы, E-mail: <a href="mailto:s.karipbaev@agakaz.kz">s.karipbaev@agakaz.kz</a>
<b>Karipbayev Saliakyn Zhumadilovich</b>	Candidate of Technical Sciences, Doctor of PhD, Associate Professor of the Department of Aviation Equipment and Technologies; Academy of Civil Aviation, Almaty, Republic of Kazakhstan, E-mail: <a href="mailto:s.karipbayev@agakaz.kz">s.karipbayev@agakaz.kz</a>