

УДК 629.7.083
DOI: 10.26467/2079-0619-2026-29-4-29-45

Методика расчета количественных параметров оперативного цикла эксплуатации воздушного судна на основе действующих нормативов

М.А. Кондратьева¹, С.Н. Кузнецов¹, А.В. Фрязинов¹

¹*Иркутский филиал Московского государственного технического университета гражданской авиации, г. Иркутск, Россия*

Аннотация: Научно-методические исследования ведущих ученых в области управления эффективностью технической эксплуатации воздушных судов (ВС) сформировали комплексный подход к определению количественных параметров эксплуатационно-технических характеристик. Накопленный значительный опыт в области поддержания летной годности позволяет не только задавать, но и объективно оценивать и подтверждать эксплуатационно-технические характеристики на всех этапах жизненного цикла ВС, создавая единую методическую базу. В основе разработанной модели лежит анализ операционного цикла эксплуатации ВС, который складывается из продолжительности полета по типовому профилю и длительности наземной стоянки. Ключевыми взаимосвязанными параметрами для проектирования и планирования являются расчетный годовой налет, определяемый отраслевыми стандартами, и коэффициент исправности. Установлено, что с увеличением продолжительности полета и годового налета количество эксплуатационных циклов уменьшается, что объективно приводит к увеличению требуемой длительности стоянки для выполнения плана. Практическая ценность работы заключается в полученных результатах расчетов, которые позволили нормировать значения длительности стоянок и возможного количества циклов эксплуатации для различных классов ВС: от самолетов местных воздушных линий до дальних магистральных самолетов. Представлена методика графического и аналитического определения минимально потребного коэффициента исправности ВС для выполнения заданного годового налета. Это позволяет выявить критические сочетания параметров, когда выполнение плана становится невозможным без изменения операционных условий. Представленная методика не ограничивается формальным описанием взаимосвязей, а представляет практический инструмент для проектирования новых воздушных судов с оптимизированными характеристиками для планирования производственной деятельности авиакомпаний и для оперативного управления процессами технического обслуживания. Главным итогом является возможность количественно обосновывать управленческие решения, направленные на повышение эффективности технической эксплуатации и снижение трудовых и материальных затрат авиапредприятий.

Ключевые слова: эксплуатация воздушных судов, операционный цикл, годовой налет, коэффициент исправности, длительность стоянки, техническое обслуживание, эффективность, нормирование.

Для цитирования: Кондратьева М.А., Кузнецов С.Н., Фрязинов А.В. Методика расчета количественных параметров оперативного цикла эксплуатации воздушного судна на основе действующих нормативов // Научный вестник МГТУ ГА. 2026. Т. 29, № 4. С. 29–45. DOI: 10.26467/2079-0619-2026-29-4-29-45

A calculation methodology for the quantitative parameters of the aircraft operational cycle based on current regulatory standards

M.A. Kondratyeva¹, S.N. Kuznetsov¹, A.V. Fryazinov¹

¹*Irkutsk Branch of Moscow State Technical University of Civil Aviation,
Irkutsk, Russia*

Abstract: Scientific and methodological research by leading scientists in the field of aircraft operational efficiency management has developed a comprehensive approach to determining the quantitative parameters of operational and technical characteristics. Significant accumulated experience in continuing airworthiness allows not only to define but also to objectively evaluate and

confirm operational and technical characteristics at all stages of the aircraft lifecycle, creating a unified methodological framework. The developed model is based on an analysis of the aircraft operational cycle, which consists of the flight duration according to a typical profile and the ground stay duration. Key interrelated parameters for design and planning are the estimated annual flight time, defined by industry standards, and the serviceability factor. It has been established that with increasing flight duration and annual flight time, the number of operational cycles decreases, which objectively leads to an increase in the required ground stay duration to fulfill the plan. The practical value of this work lies in the calculation results obtained, which allowed for standardizing the values of ground parking duration and the possible number of operating cycles for various aircraft classes: from local airliners to long-haul aircraft. A methodology for graphical and analytical determination of the minimum required aircraft availability factor for achieving a specified annual flight time is presented. This allows for the identification of critical combinations of parameters when plan fulfillment becomes impossible without changing operating conditions. The presented methodology goes beyond a formal description of the relationships and provides a practical tool for designing new aircraft with optimized characteristics, for planning airline production activities, and for the operational management of maintenance processes. The main result is the ability to quantitatively substantiate management decisions aimed at improving the efficiency of technical operations and reducing labor and material costs for airlines.

Keywords: aircraft operation, operational cycle, annual flight hours, serviceability factor, ground parking duration, maintenance, efficiency, standardization.

For citation: Заменить на Kondratyeva, M.A., Kuznetsov, S.N., Fryazinov, A.V. (2026). A calculation methodology for the quantitative parameters of the aircraft operational cycle based on current regulatory standards. Civil Aviation High Technologies, vol. 29, no. 4, pp. 29–45. DOI: 10.26467/2079-0619-2026-29-4-29-45

Введение

Планирование использования воздушного флота является критически важной задачей для авиакомпаний, направленной на обеспечение безопасности и прибыльности. В научно-методических исследованиях в области управления эффективностью технической эксплуатации воздушных судов (ВС), проводимых ведущими учеными ФГУП «ЛИИ им. М.М. Громова», ФГУП ГосНИИ ГА, МГТУ ГА, такими как Н.Н. Смирнов, А.А. Ицкович, Ю.М. Чинючин, С.В. Далецкий, Г.Н. Гипич, И.Г. Кирпичев, С.В. Кузнецов, В.С. Шапкин и др., были установлены объективные требования к ожидаемым условиям эксплуатации, которые определяют количественные параметры и расчетные условия, в соответствии с которыми должны задаваться, оцениваться и подтверждаться эксплуатационно-технические характеристики (ЭТХ) воздушных судов, накоплен значительный научно-практический опыт в области обеспечения и поддержания летной годности (ПЛГ) [1–13].

В условиях интенсивного развития и постоянного ужесточения конкуренции на мировом рынке авиаперевозок ключевым фактором экономической устойчивости авиапредприятий является повышение эффектив-

ности эксплуатации воздушных судов. Одной из задач в данной области выступает оптимизация операционного цикла «стоянка – полет», который напрямую определяет такие критически важные показатели, как годовой налет парка ВС, уровень его исправности и в конечном счете рентабельность перевозок.

В ходе разработки и эксплуатации ВС поддерживается единая научно-методическая база для оценки, подтверждения и сравнения этих показателей. В то же время существует объективная необходимость постоянно совершенствовать научно-методическую базу технической эксплуатации ВС, направленную на повышение эффективности технического обслуживания и снижение трудовых и материальных затрат авиапредприятий.

На практике управление эксплуатацией ВС часто сталкивается с противоречием между нормативно установленными целевыми показателями и операционными ограничениями, накладываемыми технологическими графиками наземного обслуживания, фактическим техническим состоянием парка и продолжительностью полетов. Отсутствие четкого количественного инструмента для анализа взаимовлияния этих факторов приводит к неоптимальным решениям, невыполнению плановых заданий или необоснованному повышению требований к ресурсам.

Целью исследования является: разработка методики количественного анализа операционного цикла эксплуатации воздушных судов, направленной на обеспечение планового годового налета, путем установления количественной взаимосвязи между ключевыми параметрами эксплуатации (годовой налет, продолжительность полета, длительность стоянки, коэффициент исправности) и создание практического инструмента для нормирования времени стоянки при проектировании новых ВС, определения минимально необходимого уровня исправности парка для выполнения плана полетов, выявления резервов времени и «узких мест» в операционной деятельности авиапредприятия.

Научная новизна исследования заключается в развитии аналитического аппарата теории технической эксплуатации применительно к задаче синхронизации планового, технологического и фактического режимов работы авиационной техники.

Материалы и методы

Материалом исследования послужили нормативно-техническая документация (ОСТ 1.02785-2009), труды ведущих ученых в области технической эксплуатации и технологические регламенты¹.

В статье представлен многоуровневый подход к использованию комплекса расчетных и аналитических методов, характерных для научно-методических исследований в области технической эксплуатации воздушных судов.

На основе аналитико-расчетного метода осуществлялся вывод количественных зависимостей с определением количественной оценки параметров эксплуатации (длительность стоянки, число циклов) при заданных базовых нормативных параметрах эксплуатации (годовой налет, продолжительность полета).

¹ СТО ИСМ ТГ 4.1.2.1.03.05-19 Технологические графики наземного обслуживания воздушных судов в АО «Международный Аэропорт Иркутск». Введ. 2019-10-24. Иркутск: АО «Международный Аэропорт Иркутск», 2019. 579 с.

В рамках сравнительно-аналитического метода осуществлялось сопоставление расчетных значений с нормативными требованиями и реальными данными, что способствовало выявлению временных резервов и критических условий выполнения плана полетов.

Использование графоаналитического метода позволило визуализировать зависимости, делая анализ наглядным, а интерпретацию сложных взаимосвязей более доступной для принятия решений на базе визуальных данных.

Через метод предельных значений и ограничений выявлялись критические границы параметров (при которых система не удовлетворяла требованиям) и оценивалась устойчивость системы к отклонениям от нормативного состояния.

В рамках эмпирико-статистического метода осуществлялась проверка расчетной модели на практике – посредством сопоставления расчетов с реальными данными для подтверждения их достоверности.

Примененные методы позволяют достичь цели исследования – установить взаимосвязи между параметрами и создать инструмент для повышения эффективности эксплуатации ВС.

Результаты

Расчетные значения основных количественных параметров ожидаемых условий эксплуатации ВС, включая продолжительность полета по типовому профилю, расчетный годовое налет ВС и длительность транзитного технического обслуживания (ТО) (подготовка ВС к повторному полету), служат исходными данными для проектирования новых ВС [2–5, 14].

Продолжительность полета ВС по типовому профилю $t_{БП}$ задается на основании технико-экономического обоснования характеристик ВС (скорость полета, масса ВС), характеристик аэропортов (требований к взлетно-посадочной полосе или площадке и ее оборудованию), назначения и регионов применения ВС (средняя протяженность трасс, наличие запасных аэродромов по трассам, планируемых особенностей использования ВС)¹.

При этом расчетный годовое налет на один самолет $T_{НАЛ}$, обеспечиваемый системой тех-

Таблица 1
Table 1

Значения расчетного годового налета на один самолет
Estimated annual flight hours per aircraft

Продолжительность полета по типовому профилю $t_{БП}$, ч	Расчетный годовой налет на один самолет $T_{НАЛ}$, ч
$1,0 \leq t_{БП} < 1,5$	2 500
$1,5 \leq t_{БП} < 2,5$	3 000
$2,5 \leq t_{БП} \leq 5$	3 500
$t_{БП} > 5$	4 000

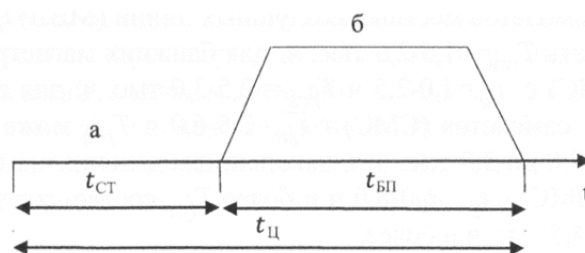


Рис. 1. Схема оперативного цикла эксплуатации ВС: а – подготовка к полету; б – полет
Fig. 1. Scheme of the operational cycle of aircraft operation: а – preparation for flight; б – flight

нического обслуживания, устанавливается в зависимости от продолжительности полета по типовому профилю $t_{БП}$ (табл. 1) [2, 14] и в соответствии с ОСТ 1.02785-2009².

В научных трудах ведущих ученых в области технической эксплуатации [1–5, 12] было установлено, что технически возможный годовой налет ВС $T_{НАЛ}$ определяется параметрами оперативного цикла эксплуатации ВС, то есть длительностью стоянки ВС в аэропортах между смежными полетами (длительность подготовки ВС к полету) в базовых, промежуточных и конечных аэропортах $t_{СТ}$, длительностью беспосадочного полета

ВС $t_{БП}$, а также располагаемым временем суток $t_{СУТ}$ для выполнения полетов (рис. 1), при этом суммарное значение параметров $t_{СТ}$ и $t_{БП}$ определяет длительность оперативного цикла эксплуатации $t_{Ц}$.

$$t_{Ц} = t_{СТ} + t_{БП}. \quad (1)$$

Располагаемое время суток для выполнения полетов зависит от показателя исправности $K_{ИСПР}$ и определяется как $t_{СУТ} = 24 \cdot K_{ИСПР}$ [4, 5].

Число циклов (подготовка к полету – полет) $n_{tц}$ за год определяется выражением [4, 5]

$$n_{tц} = \frac{365 t_{СУТ}}{t_{Ц}} = \frac{365 t_{СУТ}}{t_{СТ} + t_{БП}} = \frac{365 \cdot 24 \cdot K_{ИСПР}}{t_{СТ} + t_{БП}} = \frac{8760 \cdot K_{ИСПР}}{t_{СТ} + t_{БП}}. \quad (2)$$

На основании количества циклов эксплуатации ВС за год (то есть количество вылетов (посадок) ВС) $n_{tц}$ определяется длительность цикла $t_{Ц}$:

$$t_{Ц} = \frac{8760 \cdot K_{ИСПР}}{n_{tц}}. \quad (3)$$

Число циклов $n_{tц}$, умноженное на длительность беспосадочного полета $t_{БП}$, дает искомое значение налета за определенный i -й период эксплуатации (сутки, месяц, квартал, год) $T_{НАЛ i}$ [4, 5], а с учетом формул (2), (3) налет ВС определяется выражением

² ОСТ 1.02785-2009. Авиационный стандарт. Воздушные суда гражданской авиации. Эксплуатационно-технические характеристики. Общие требования. Введ. 2010-07-01. М.: ФГУП «НИИСУ», 2010. 29 с.

$$T_{\text{НАЛ}i} = n_{t_{\text{ци}}} \cdot \overline{t_{\text{БП}i}} = \frac{\Phi_i \cdot K_{\text{ИСПР}i}}{t_{\text{ци}}} \cdot \overline{t_{\text{БП}i}} = \frac{\Phi_i \cdot K_{\text{ИСПР}i}}{t_{\text{СТ}i} + t_{\text{БП}i}} \cdot \overline{t_{\text{БП}i}}, \quad (4)$$

или за год эксплуатации

$$T_{\text{НАЛ}} = n_{t_{\text{ци}}} \cdot \overline{t_{\text{БП}}} = \frac{365 \cdot t_{\text{СУТ}}}{t_{\text{ци}}} \cdot \overline{t_{\text{БП}}} = \frac{8760 \cdot K_{\text{ИСПР}}}{t_{\text{СТ}} + t_{\text{БП}}} \cdot \overline{t_{\text{БП}}}, \quad (4')$$

где $T_{\text{НАЛ}i}$ – расчетный налет на один самолет за i -й период эксплуатации (ч);

$\overline{t_{\text{БП}i}}$ – средняя продолжительность полета по типовому профилю в i -м периоде эксплуатации (ч);

$\overline{t_{\text{СТ}i}}$ – средняя длительность стоянки ВС в аэропортах в i -м периоде эксплуатации (ч);

$\overline{t_{\text{ци}}}$ – средняя длительность оперативного цикла в i -м периоде эксплуатации (ч);

Φ_i – фонд времени в i -м периоде эксплуатации ВС;

$K_{\text{ИСПР}i}$ – коэффициент исправности ВС за i -й период эксплуатации;

$n_{t_{\text{ци}}}$ – число циклов «подготовка – полет» в i -м периоде эксплуатации.

Формула (4) связывает все ключевые параметры в единую систему и может являться базовым уравнением для дальнейших аналитических расчетов, при этом необходимо учесть, что представленная формула оперирует средними значениями параметров, основанных на статистических данных [2, 4, 5].

На основании количественных требований к эксплуатационно-техническим характеристикам создаваемых воздушных судов гражданской авиации для ожидаемых условий эксплуатации, таких как продолжительность полета ВС по типовому профилю $t_{\text{БП}}$ и расчетный годовой налет на один самолет $T_{\text{НАЛ}}$, возможно выведение расчетных зави-

симостей, позволяющих определять один из параметров, в частности $t_{\text{СТ}}$, при фиксированных значениях других.

Для расчетных значений годового налета $T_{\text{НАЛ}}$ и продолжительности полета ВС по типовому профилю $t_{\text{БП}}$ (табл. 1) при технически исправном ВС возможная длительность стоянки $t_{\text{СТ}}$ в оперативном цикле эксплуатации может быть рассчитана на основании преобразованных формул (2), (3), (4):

$$t_{\text{СТ}} = t_{\text{ци}} - t_{\text{БП}} = \frac{8760 \cdot K_{\text{ИСПР}} \cdot t_{\text{БП}}}{T_{\text{НАЛ}}} - t_{\text{БП}} \quad (5)$$

или

$$t_{\text{СТ}} = \frac{(8760 \cdot K_{\text{ИСПР}} - T_{\text{НАЛ}}) \cdot t_{\text{БП}}}{T_{\text{НАЛ}}}. \quad (6)$$

Таким образом, длительность стоянки ВС $t_{\text{СТ}}$ в оперативном цикле эксплуатации зависит от исправности $K_{\text{ИСПР}}$, продолжительности полета $t_{\text{БП}}$ и налета ВС $T_{\text{НАЛ}}$, то есть $t_{\text{СТ}} = f(K_{\text{ИСПР}}, T_{\text{НАЛ}}, t_{\text{БП}})$.

С использованием приведенных выражений (2), (3), (4) также может быть вычислена возможная длительность беспосадочного полета $t_{\text{БП}i}$ с учетом планируемого налета за определенный период эксплуатации ВС (возможного годового налета) $T_{\text{НАЛ}i}$ и длительности цикла эксплуатации $t_{\text{ци}i}$ за тот же период (или длительности стоянки ВС $t_{\text{СТ}}$).

$$t_{\text{БП}i} = \frac{T_{\text{НАЛ}i} \cdot t_{\text{ци}i}}{\Phi_i \cdot K_{\text{ИСПР}i}} = \frac{T_{\text{НАЛ}} \cdot t_{\text{ци}}}{8760 \cdot K_{\text{ИСПР}}} = \frac{T_{\text{НАЛ}} \cdot t_{\text{СТ}}}{8760 \cdot K_{\text{ИСПР}} - T_{\text{НАЛ}}}. \quad (7)$$

Расчетные значения возможной длительности стоянки ВС $t_{\text{СТ}}$ для расчетного годового налета $T_{\text{НАЛ}}$ и продолжительности полета ВС по типовому профилю $t_{\text{БП}}$, а также возможное количество оперативных циклов эксплуатации ВС за год $n_{t_{\text{ци}}}$ при технически исправном ВС представлены в табл. 2. При этом максимально возможное количество циклов эксплуатации

ВС за год $n_{t_{\text{ци}}}$ соответствует минимальной длительности стоянки ВС $t_{\text{СТ} \text{ мин}}$.

Для самолетов с короткими полетами ($1,0 \leq t_{\text{БП}} < 1,5$ ч) при налете 2 500 ч допустимая стоянка составляет 2,5–3,76 ч, что позволяет выполнять до 6 циклов в сутки. Для самолетов с длительными полетами ($t_{\text{БП}} > 5$ ч) при налете 4 000 ч длительность

Таблица 2
Table 2

Значения расчетной длительности стоянки ВС и число возможных циклов эксплуатации ВС
Values of the estimated duration of aircraft parking and the number of possible aircraft operating cycles

Продолжительность полета по типовому профилю $t_{БП}$, ч	Расчетный годовой налет на 1 самолет $T_{НАЛ}$, ч	Расчетная длительность стоянки ВС $t_{СТ}$, ч	Длительность оперативного цикла эксплуатации $t_{Ц}$, ч	Число возможных циклов эксплуатации ВС в сутки $n_{t_{Ц}} \text{ сут}$	Число возможных циклов эксплуатации ВС за год $n_{t_{Ц}}$
$1,0 \leq t_{БП} < 1,5$	2 500	$2,504 \leq t_{СТ} < 3,756$	$3,504 \leq t_{Ц} < 5,256$	$n_{t_{Ц}} \text{ сут} = 4 \dots 6$	$n_{t_{Ц}} = 1\,666 \dots 2\,500$
$1,5 \leq t_{БП} < 2,5$	3 000	$2,88 \leq t_{СТ} < 4,8$	$4,38 \leq t_{Ц} < 7,3$	$n_{t_{Ц}} \text{ сут} = 3 \dots 5$	$n_{t_{Ц}} = 1\,200 \dots 2\,000$
$2,5 \leq t_{БП} \leq 5$	3 500	$3,757 \leq t_{СТ} \leq 7,514$	$6,257 \leq t_{Ц} \leq 12,514$	$n_{t_{Ц}} \text{ сут} = 2 \dots 3$	$n_{t_{Ц}} = 700 \dots 1\,400$
$t_{БП} > 5$	4 000	$t_{СТ} > 5,95$	$t_{Ц} > 10,95$	$n_{t_{Ц}} \text{ сут} = 1 \dots 2$	$n_{t_{Ц}} \leq 800$

стоянки должна быть не менее 5,95 ч, а суточное количество циклов снижается до 1–2.

При использовании выражений (5), (6) возможно определение области значений длительности стоянки самолетов $t_{СТ}$ в зависимости от их класса с учетом продолжительности полета $t_{БП}$ и возможного годового налета на самолет $T_{НАЛ}$ (при технически исправном ВС), а также число возможных циклов эксплуатации ВС за год $n_{t_{Ц}}$ (табл. 3). Необходимо заметить, что на основании расчетных значений циклов эксплуатации ВС $n_{t_{Ц}}$ возможен и расчет технического ресурса воздушного судна и его агрегатов по посадкам.

С ростом класса ВС и продолжительности полета для обеспечения расчетного налета требуется значительное увеличение длительности стоянки и происходит резкое сокращение количества циклов (посадок) за год. Например, для дальних магистральных самолетов (ДМС) число циклов не превышает 515–645 в год, что критически важно для оценки их ресурса по посадкам.

Полученные расчетные значения длительности стоянки ВС $t_{СТ}$ в оперативном цикле эксплуатации можно использовать для построения технологических графиков наземного обслуживания вновь создаваемых ВС различных классов и проводить их корректи-

ровку с учетом продолжительности полета $t_{БП}$ и расчетного годового налета ВС $T_{НАЛ}$, при этом необходимо учитывать, что минимальная длительность стоянки $t_{СТ \text{ мин.}}$ ограничивается технологическим графиком наземного обслуживания ВС, а максимальная длительность стоянки $t_{СТ \text{ макс.}}$ ограничивается исправностью $K_{испр.}$, расчетным налетом $T_{НАЛ}$ и временем полета $t_{БП}$ ВС.

Зависимость расчетной длительности стоянки ВС $t_{СТ}$ от расчетных значений годового налета $T_{НАЛ} = \text{const}$ и продолжительности полета ВС по типовому профилю $t_{БП}$, $t_{СТ} = f(K_{испр.} = 1,0, T_{НАЛ} = \text{const}, t_{БП} = \text{var})$ представлены на рис. 2.

С увеличением налета $T_{НАЛ}$ и продолжительности полета $t_{БП}$ за расчетный период эксплуатации ВС количество циклов эксплуатации $n_{t_{Ц}}$ уменьшается, что приводит к увеличению возможной длительности стоянки $t_{СТ}$. Длительность стоянки ВС $t_{СТ}$ в оперативном цикле эксплуатации с увеличением продолжительности полета $t_{БП}$ может быть увеличена в 1,5...2 раза при постоянном годовом налете ВС $T_{НАЛ} = \text{const}$. Так, при $T_{НАЛ} = 2\,500$ ч и $t_{БП}$ от 1,0 до 1,5 ч $t_{СТ}$ увеличивается в 1,5 раза, а при $T_{НАЛ} = 4\,000$ ч и $t_{БП}$ от 5,0 до 11,0 ч $t_{СТ}$ увеличивается в 2 и более раза.

Таблица 3
Table 3

Значения расчетной длительности стоянки $t_{СТ}$, число возможных циклов эксплуатации ВС $n_{тц}$ в зависимости от класса ВС

Values of the estimated parking duration $t_{СТ}$, the number of possible aircraft operating cycles $n_{тц}$ depending on the aircraft class

Класс ВС	Продолжительность полета $t_{БП}$, ч	Возможный годовой налет на 1 самолет $T_{НАЛ}$, ч	Расчетная длительность стоянки ВС $t_{СТ}$, ч	Длительность оперативного цикла эксплуатации $t_{Ц}$, ч	Число возможных циклов эксплуатации ВС в сутки $n_{тц}$ сут	Число возможных циклов эксплуатации ВС за год $n_{тц}$
Самолеты местных воздушных линий (МВЛ)	0,5...1,0	1 500...2 500	2,42...2,504	2,92...3,504	6...8	2 500...3 000
Ближние магистральные самолеты (БМС)	1,0...2,5	2 500...3 000	2,504...4,8	3,504...7,3	3...7	1 200...2 500
Средние магистральные самолеты (СМС)	2,5...6,0	3 000...3 500	4,8...9,0	7,3...15,0	1...5	584...1 200
Дальние магистральные самолеты (ДМС)	6,0...8,0 и более	3 500...4 500 и более	7,57...9,0	15...15,57	1	515...645

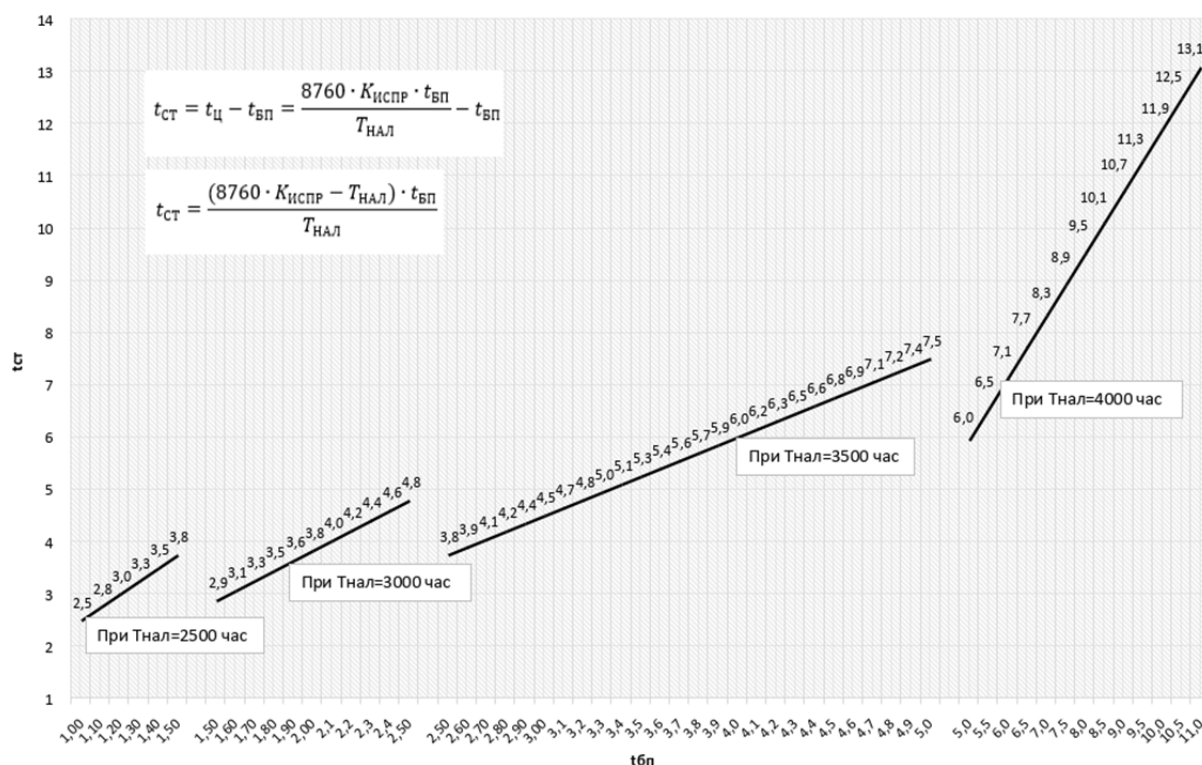


Рис. 2. Расчетная длительность стоянки ВС $t_{СТ}$ в зависимости от расчетного годового налета $T_{НАЛ} = \text{const}$ и продолжительности полета ВС по типовому профилю $t_{БП}$

Fig. 2. Estimated duration of aircraft parking $t_{СТ}$ depending on the estimated annual flight time $T_{НАЛ} = \text{const}$ and the duration of the aircraft flight according to the typical profile $t_{БП}$

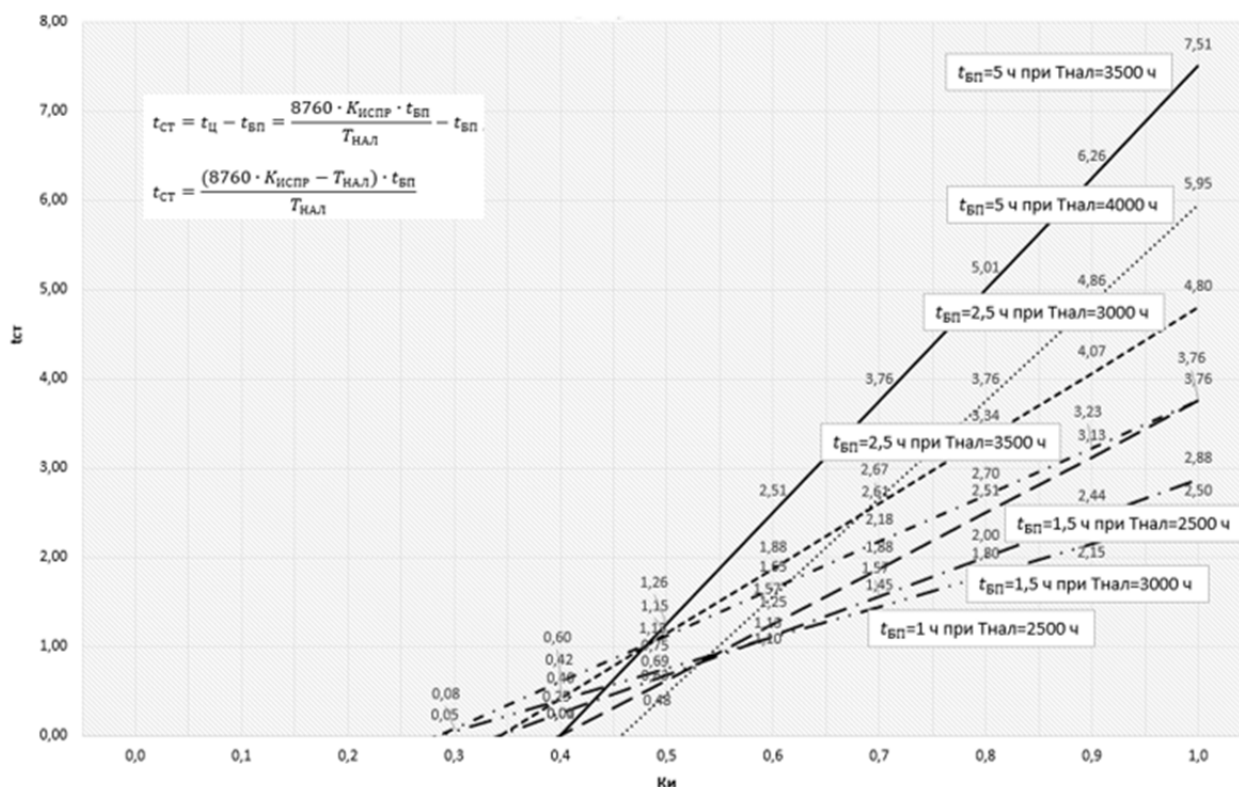


Рис. 3. Зависимость t_{CT} от $K_{испр.}$ при расчетном годовом налете ВС $T_{НАЛ}$ и заданной продолжительности полета $t_{БП}$
Fig. 3. Dependence of t_{CT} on $K_{испр.}$ for the estimated annual flight time of the aircraft $T_{НАЛ}$ and the specified flight duration $t_{БП}$

На рис. 3 представлена зависимость длительности стоянок ВС t_{CT} от исправности ВС $K_{испр.}$ при расчетном годовом налете ВС $T_{НАЛ}$ и заданной продолжительности полета $t_{БП}$.

Снижение коэффициента исправности $K_{испр.}$ приводит к необходимости сокращения времени стоянки t_{CT} для сохранения планового налета. Для обеспечения расчетного технически возможного годового налета ВС $T_{НАЛ}$ коэффициент исправности ВС $K_{испр.}$ не должен опускаться ниже 50–60 %, при этом время стоянки ВС может уменьшаться в несколько раз, что влияет на технологические операции ТО при подготовках ВС к полету, а при продолжительности полета по типовому профилю $t_{БП} = 11$ ч для $T_{НАЛ} = 4000$ ч с длительностью подготовки ВС к полету $t_{CT} = 13$ ч превышение продолжительности полета более 11 ч ведет к превышению суточного цикла эксплуатации ВС. Чем выше

значения налета $T_{НАЛ}$ и продолжительности полета $t_{БП}$, тем более жесткие требования должны предъявляться к исправности ВС.

На практике значение t_{CT} устанавливается на основе типовых технологических графиков обслуживания воздушных судов, используемых при подготовке к вылету в базовых, промежуточных (транзитных) и конечных аэропортах¹.

Для примера на рис. 4 представлены технологические графики наземного обслуживания ВС в аэропорту Иркутск, а в табл. 4 значения длительности стоянок B^1 .

Исходя из планируемого налета $T_{НАЛi}$, времени пребывания ВС в полете $t_{БПи}$, а также из длительности стоянки ВС t_{CTi} (ограниченной технологическим графиком наземного обслуживания) можно рассчитать минимальный потребный коэффициент исправности ВС $K_{испр.мин.потр.i}$ для выполнения плана полетов через преобразованную формулу (4):

$$K_{испр.мин.потр.i} = \frac{T_{НАЛi} \cdot t_{ци}}{\Phi_i \cdot t_{БПи}} = \frac{T_{НАЛi} \cdot (t_{CTi} + t_{БПи})}{\Phi_i \cdot t_{БПи}} = \frac{T_{НАЛ} \cdot (t_{CT} + t_{БП})}{8760 \cdot t_{БП}}. \quad (8)$$



Приложение №3.7

к СТО ИСМ ТГ 4.1.2.1.03.05-19

Технологический график наземного обслуживания ВС CRJ-100, -200, Dash8, E-170, -175, E-190-195, SSJ-100, F-50, -100, Ан-148, Ан-24, Ан-26 и их модификаций вылет (внутренний рейс)

		Начало	Окончание	Подолж- тельность	Исполни- тель	1:00	0:50	0:40	0:30	0:20	0:10	0:00	отправлен
1	Установка трапа**	01:00	00:58	00:02	СОПП								
2	Режим САБ	01:00	00:00	01:00	ПД								
3	Заправка ГСМ	00:56	00:38	00:18	ВСТК, ТЗК								
4	Досмотр багажных отсеков	00:56	00:46	00:10	ПД								
5	Обработка туалетов, заправка водой	00:54	00:38	00:16	СпоНО								
6	Явка кабинного экипажа	01:00	00:54	00:06	АК								
7	Явка летного экипажа	00:46	00:40	00:06	АК								
8	Загрузка бортипитания	00:54	00:38	00:16	САС								
9	Загрузка груза, почты	00:46	00:24	00:22	СОПГП								
10	Готовность ВС	-	00:20	-	ПДСА								
11	Досмотр салона	00:38	00:32	00:16	ПД								
12	Загрузка багажа	00:26	00:10	00:16	СОПП								
13	Посадка пассажиров	00:20	00:10	00:10	СпоНО								
14	Доставка буксировочного водела	00:10	по необх.	СпоНО									
15	Прибытие тягача	00:10	по необх.	СпоНО									
16	Уборка трапа**	00:08	00:06	00:02	СОПП								
17	Уборка колодок	00:06	00:04	00:02	СпоНО								
18	Запуск двигателей	00:04	00:00	00:04	Экипаж								
19	Облив ВС, движение ВС	по необходимости	СпоНО										

Примечание: операции отмеченные ** выполняются для Embraer-170/175,190/195



Приложение №3.5

к СТО ИСМ ТГ 4.1.2.1.03.05-19

Технологический график наземного обслуживания ВС CRJ-100, -200, Dash8, E-170, -175, E-190-195, SSJ-100, F-50, -100, Ан-148, Ан-24, Ан-26 и их модификаций разворот (внутренний рейс)

		Начало	Окончание	Подолж- тельность	Исполни- тель	прибытие 0:50	0:40	0:30	0:20	0:10	0:00	отправлен
1	Прибытие ВС на МС, установка колодок	-	00:50	не>15	СпоНО							
2	Режим САБ	00:50	00:00	00:50	ПД							
3	Установка трапов**	00:50	00:48	00:02	СОПП							
4	Высадка пассажиров	00:48	00:40	00:08	СпоНО							
5	Выгрузка багажа	00:46	00:34	00:12	СОПП							
6	Выгрузка груза, почты	00:46	00:34	00:12	СОПГП							
7	Досмотр багажных отсеков	00:34	00:28	00:06	ПД							
8	Уборка салонов ВС	00:40	00:28	00:12	СпоНО							
9	Снятие бортипитания	00:40	00:34	00:06	САС							
10	Заправка ГСМ	00:38	00:28	00:10	ВСТК, ТЗК							
11	Обработка туалетов, заправка водой	00:38	00:28	00:10	СпоНО							
12	Явка кабинного экипажа	00:50	00:46	00:04	АК							
13	Явка летного экипажа	00:50	00:46	00:04	АК							
14	Загрузка бортипитания	00:36	00:28	00:08	САС							
15	Досмотр салона ВС	00:28	00:20	00:06	ПД							
16	Готовность ВС	-	00:20	-	ПДСА							
17	Загрузка груза, почты	00:28	00:10	00:18	СОПГП							
18	Загрузка багажа	00:22	00:10	00:12	СОПП							
19	Посадка пассажиров	00:20	00:10	00:10	СпоНО							
20	Доставка буксировочного водела	00:10	по необх.	СпоНО								
21	Уборка трапов**	00:08	00:06	00:02	СОПП							
22	Уборка колодок	00:06	00:04	00:02	СпоНО							
23	Запуск двигателей	00:04	00:00	00:04	Экипаж							
24	Облив ВС, движение ВС	по необходимости	СпоНО									

Примечание: операции отмеченные ** выполняются для Embraer-170/175,190/195

Рис. 4. Технологические графики подготовки к вылету ВС, прибывшего транзитным (оборотным) рейсом, прибывшего конечным рейсом в соответствии с руководством по организации наземного обслуживания в международном аэропорту Иркутск

Fig. 4. Technological schedules for pre-departure ground handling of aircraft arriving on a transit (turnaround) flight and on a terminating flight, in accordance with the ground handling organization manual of Irkutsk International Airport

На рис. 5 представлен графический метод расчета минимально потребного коэффициента исправности ВС $K_{испр.мин.потр.}$ для вы-

полнения годового плана полетов на примере ближнемагистральных самолетов (БМС) при условии $T_{НАЛ} = 2\,500$ ч с различной продол-



Приложение №3.6

к СТО ИСМ ТГ 4.1.2.1.03.05-19

Технологический график наземного обслуживания ВС CRJ-100, -200, Dash8, E-170, -175, E-190-195, SSJ-100, F-50, -100, Ан-148, Ан-24, Ан-26 и их модификаций прилет (внутренний рейс)

	Начало	Окончание	Продолжительность	Исполнитель	прибытие 00:46	0:40	0:30	0:20	0:10	0:00
1 Прибытие ВС на МС, установка колодок	-	00:46	не>15	СпоНО						
2 Установка трапов**	00:46	00:44	00:02	СОПП						
3 Высадка пассажиров	00:44	00:34	00:10	СпоНО						
4 Выгрузка багажа	00:42	00:26	00:16	СОПП						
5 Выгрузка груза, почты	00:34	00:14	00:20	СОПП						
6 Уборка салонов ВС	00:26	00:10	00:22	СпоНО						
7 Снятие бортипитания	00:30	00:20	00:10	САС						
8 Обработка туалетов, слив воды	00:30	00:14	00:16	СпоНО						
9 Уборка трапов**	00:02	00:02	00:00	СОПП						
10 Сдача ВС под охрану	00:08	00:02	00:06	ПО						

Примечание: операции отмеченные ** выполняются для Embraer-170/175,190/195

Продолжение рис. 4. Технологические графики подготовки к вылету ВС, прибывшего транзитным (оборотным) рейсом, прибывшего конечным рейсом в соответствии с руководством по организации наземного обслуживания в международном аэропорту Иркутск

Continuation of Fig. 4. Technological schedules for pre-departure ground handling of aircraft arriving on a transit (turnaround) flight and on a terminating flight, in accordance with the ground handling organization manual of Irkutsk International Airport

Таблица 4
Table 4

Длительность стоянок ВС в аэропорту Иркутск
Aircraft ground parking duration at Irkutsk International Airport

Длительность стоянки ВС к первоначальному вылету $t_{ст.б}$, ч	Длительность стоянки ВС, прибывшего транзитным (оборотным) рейсом $t_{ст.тр}$, ч	Длительность стоянки ВС, прибывшего конечным рейсом $t_{ст.к}$, ч	$\sum t_{ст}$
1,0	0,83	0,77	2,6

жительностью полета $t_{БП} = 1,0...2,5$ ч. Аналогичный подход применим для вычисления минимально необходимого коэффициента исправности воздушных судов других классов.

Построение графика проводится в указанной последовательности:

1. Для расчетных значений годового налета $T_{НАЛ} = const$, продолжительности полета ВС по типовому профилю $t_{БП} = var$ и коэффициента исправности ВС $K_{испр} = var$ рассчитывается технически возможная длительность стоянки ВС $t_{ст}$ по формулам (5), (6) и строятся графические зависимости $t_{ст} = f(t_{БП}; K_{испр})$.

2. На график наносится горизонтальная линия нормируемой длительности стоянки ВС $t_{ст.норм.}$ (ограниченная технологическим

временем наземного обслуживания ВС (табл. 4), в месте пересечения линии с графиками длительности стоянок $t_{ст}$ будут определяться значения минимально потребного коэффициента исправности $K_{испр.мин.потр.i}$, который также может быть рассчитан по формуле (8) с учетом нормируемой длительности стоянки $t_{ст.норм.}$.

Таким образом, по рассматриваемому примеру при $T_{НАЛ} = 2\,500$ ч:

для $t_{БП} = 2,5$ ч и $t_{ст.норм.} = 2,6$ ч минимальный потребный коэффициент исправности ВС будет составлять $K_{испр.мин.потр.} = 0,58$;

для $t_{БП} = 2$ ч и $t_{ст.норм.} = 2,6$ ч минимальный потребный коэффициент исправности ВС будет составлять $K_{испр.мин.потр.} = 0,66$;

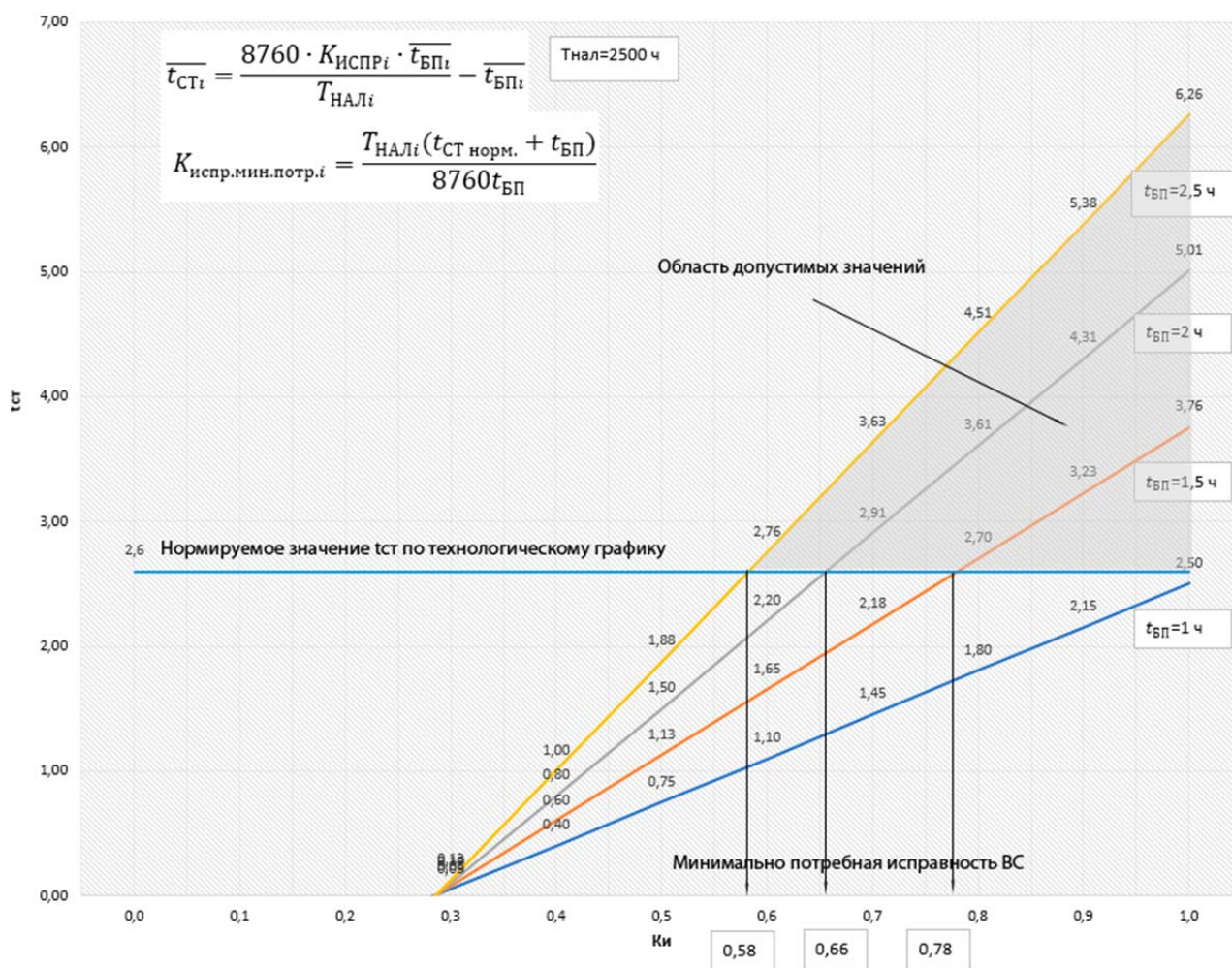


Рис. 5. Графическое определение минимально потребной исправности БМС $K_{ИСПР.мин.потр.}$ при нормируемом значении длительности стоянки $t_{СТ норм}$

Fig. 5. Graphical determination of the minimum required serviceability coefficient $K_{ИСПР.мин.потр.}$ for short-haul aircraft at a standardized parking duration value $t_{СТ норм}$

для $t_{БП} = 1,5$ ч и $t_{СТ норм.} = 2,6$ ч минимальный потребный коэффициент исправности ВС будет составлять $K_{ИСПР.мин.потр.} = 0,78$;

для $t_{БП} = 1$ час и $t_{СТ норм.} = 2,6$ ч минимальный потребный коэффициент исправности ВС $K_{ИСПР.мин.потр.i}$ будет превышать 1,0, то есть при данных условиях обеспечить плановый налет $T_{НАЛ} = 2\,500$ ч невозможно, так как расчетные значения $t_{СТ} = 2,504$ (табл. 2) при технически исправном ВС ($K_{ИСПР} = 1,0$) меньше нормированной длительности стоянки по технологическому графику $t_{СТ норм} = 2,6$ ч (табл. 4).

На основе рассмотренного примера можно сделать вывод о том, что для обеспечения планового налета $T_{НАЛi} = 2\,500$ ч при $t_{БП} = var$

необходимо поддерживать уровень исправности ВС не ниже расчетного значения $K_{ИСПР.мин.потр.}$.

При этом необходимо заметить, что в данном случае минимальный потребный коэффициент исправности ВС рассчитывается для единичного экземпляра ВС, а при планировании производственной деятельности авиапредприятия минимальный потребный коэффициент исправности ВС необходимо учитывать на основании средней численности парка ВС с учетом убывших и прибывших ВС [15].

Область допустимых значений длительности стоянки $t_{СТ}$ будет ограничена нормированной длительностью стоянки по технологическому графику $t_{СТ норм}$ и расчетным значением $t_{СТ}$.

При этом разность между данными показателями $\Delta t_{\text{СТ}} = t_{\text{СТ}} - t_{\text{СТ норм}}$ дает резерв времени, необходимый для устранения различных организационно-технических, погодных и других причин задержек рейсов ВС. Данный временной буфер является основополагающим элементом в системе управления операционными рисками [16–18]. Исследование, проведенное в Бюро транспортной статистики (Bureau of Transportation Statistics, BTS) и посвященное причинам задержек рейсов в 2020 году, показало, что 41 % задержек был вызван сбоями в работе авиакомпаний, в том числе проблемами с техническим обслуживанием [19].

Для примера рассчитаем резерв времени. При исправности ВС 80 %, планируемом налете $T_{\text{НАЛ}i} = 2\,500$ ч и длительности полета $t_{\text{БП}} = 2,5$ ч длительность стоянки может составлять $t_{\text{СТ}} = 4,51$ ч (рис. 5), а при нормируемой длительности стоянки (ограниченной технологическим временем наземного обслуживания ВС) $t_{\text{СТ норм}} = 2,6$ ч, следовательно, резерв времени простоя ВС для устранения операционных сбоев будет равен $\Delta t_{\text{СТ}} = 1,91$ ч (42 % от расчетной длительности стоянки). Важно отметить, что данный резерв не предотвращает задержку вылета, но он критически важен для выполнения общего годового планового налета. Это особенно актуально в свете данных BTS за 2019 год, согласно которым 18,87 % рейсов были задержаны более чем на 15 мин [19].

Обсуждение

Проведенное исследование демонстрирует актуализированный уровень интеграции эксплуатационных и технологических параметров в системе технической эксплуатации ВС. Представленная методика не ограничивается формальным описанием взаимосвязей, а является практическим инструментом для анализа управленческих компромиссов при планировании работы авиапредприятия.

Рассматриваемая базовая фундаментальная физическая зависимость (4) представляет собой теоретическую модель общей закономерности планируемого годового налета от

параметров оперативного цикла и исправности ВС $T_{\text{НАЛ}} = f(K_{\text{испр.}}, t_{\text{СТ}}, t_{\text{БП}})$. При этом налет ВС $T_{\text{НАЛ}}$ – это зависимая переменная, а ее величина ограничена временем подготовки и исправностью. Данная формула широко известна в среде ведущих специалистов в области технической эксплуатации, она объясняет базовые принципы формирования технически возможного годового налета и используется как основа для создания управленческих нормативов, стратегического планирования и для анализа эффективности производственной деятельности авиапредприятий. При этом необходимо отметить, что в данной формуле (4) параметры операционного цикла усреднены на основе эмпирических данных эксплуатации ВС и носят статистический характер [13, 15].

Управление системой технического обслуживания осуществляется «сверху вниз» на основе усредненных данных эксплуатации ВС с постановкой вопроса: «Какой уровень ресурсов нужен для достижения результата?», то есть осуществляется поиск оптимального баланса между взаимосвязанными параметрами для максимизации налета (статистико-управленческий подход).

Представленная авторами методика носит детерминированный характер и строится на инженерных принципах, где достижение планового налета рассматривается как функция от заданных параметров оперативного цикла. В предложенной методике на основе базовой формулы (4) установлены обратные зависимости $t_{\text{СТ}} = f(K_{\text{испр.}}, T_{\text{нал}}, t_{\text{БП}})$, $t_{\text{БП}} = f(K_{\text{испр.}}, T_{\text{нал}}, t_{\text{СТ}})$, $K_{\text{испр.}} = f(t_{\text{СТ}}, T_{\text{нал}}, t_{\text{БП}})$, то есть декомпозиция системы на элементы, исходя из физических и технологических ограничений ВС (время полета, время подготовки и задаваемого налета), при этом налет рассматривается как независимая, заданная переменная. Данная методика предлагает механизм достижения указанных целевых показателей, она переводит нормативный показатель $T_{\text{НАЛ}}$ из статичной плоскости контроля в динамичную плоскость операционного управления, давая ответ на ключевой вопрос, какими средствами и при каких условиях до-

стичь заданного налета (инженерно-детерминированный подход). Разработанная математическая модель может быть использована для двустороннего управления системой технического обслуживания как «сверху вниз» (от плановых показателей к оперативным задачам), так и «снизу вверх» (через контроль достижения планового налета, то есть от контроля исполнения к корректировке плана).

Система уравнений (5), (6), (7), (8) на основе академических формул (1), (2), (3), (4) формирует аналитическую основу для принятия обоснованных решений. Она позволяет:

- количественно оценивать влияние изменений таких параметров, как продолжительность полета ($t_{\text{БП}}$), длительность стоянки ($t_{\text{СТ}}$) и коэффициент исправности ($K_{\text{испр.}}$), на ключевой показатель эффективности – годовой налет ($T_{\text{НАЛ}}$);

- моделировать различные сценарии эксплуатации, проводя анализ «что, если» для оценки последствий изменений в расписании, технологии обслуживания или состоянии парка ВС;

- получить существенную операционную гибкость для дальнемагистральных рейсов авиакомпании, располагая большим резервом времени для наземного обслуживания без ущерба для планового налета, а для ближнемагистральных маршрутов предъявлять повышенные требования к точности планирования синхронизации всех наземных процессов в связи с временными ограничениями;

- выявлять системный разрыв между технологически нормативной ($t_{\text{СТ норм}}$) и расчетной ($t_{\text{СТ}}$) стоянкой, который представляет собой скрытый резерв операционной эффективности, который может быть использован для повышения регулярности полетов, компенсации непредвиденных задержек, оптимизации загрузки персонала и техники;

- перейти к упреждающему управлению рисками на основе минимально потребного коэффициента исправности ($K_{\text{испр. мин. потр.}}$, рис. 5) который является четким количественным ориентиром и прямым управленческим индикатором для служб авиапредприятия, на основе которого можно заблаговре-

менно корректировать расписание, перераспределять ресурсы ТОиР или планировать обновление парка.

Несмотря на практическую ценность, предложенная методика имеет ряд ограничений, определяющих перспективы для ее развития.

1. Модель имеет детерминированный характер, оперирует расчетными значениями, тогда как в реальности ключевые параметры (продолжительность полета, время наземного обслуживания, межремонтные интервалы) носят вероятностный характер [17, 20–23]. Это ограничивает точность прогнозов в условиях неопределенности.

2. В модели не в полной мере учтены:

- сезонная и суточная неравномерность эксплуатации, когда в часы пик требования к минимальной стоянке становятся критическими;

- влияние периодических форм ТО, которые выводят ВС из эксплуатации на длительный срок и напрямую влияют на $K_{\text{испр.}}$.

Несмотря на некоторые упрощения, предлагаемая методика позволяет не только рассчитать конкретные числовые параметры для новых ВС, оценить ресурс, спланировать эксплуатацию с ответом на вопрос: «Как организовать эксплуатацию, чтобы самолет гарантированно достиг требуемого нормативного налета?», но и диагностировать проблемы, оценивать риски и обосновывать требования к создаваемой авиационной технике и наземным технологическим операциям.

Заключение

Статья представляет собой фрагмент научно-методического исследования, посвященного ключевым аспектам управления эффективностью технической эксплуатации ВС. Работа имеет прикладной характер и опирается на существующую нормативную базу и труды ведущих ученых в области технической эксплуатации авиационной техники.

По мнению авторов, проведенное исследование достигло своей цели и позволило разработать методику количественного ана-

лиза операционного цикла эксплуатации воздушных судов, направленную на обеспечение планового годового налета. По итогам работы сформулированы следующие основные выводы.

1. Расчетные значения возможной длительности стоянки ВС в аэропортах $t_{СТ}$ наряду с количественными параметрами ожидаемых условий эксплуатации, такими как продолжительность полета ВС по типовому профилю $t_{БП}$, расчетный годовое налет ВС $T_{НАЛ}$, могут отражать техническое совершенство ВС и его эксплуатационной документации и являться исходными данными при проектировании новых воздушных судов и планировании производственной деятельности авиакомпаний.

2. Расчетным путем доказано, что с ростом продолжительности полета (при переходе от самолетов МВЛ к ДМС) для обеспечения нормативного годового налета требуется значительное увеличение длительности стоянки (в 1,5–2,0 раза) при одновременном резком сокращении количества эксплуатационных циклов (с 2 500–3 000 до 515–645 в год). Это определяет принципиально разные подходы к организации технического обслуживания для разных классов ВС.

3. Показано, что для воздушных судов с высоким годовым налетом и большой продолжительностью полета требования к коэффициенту исправности являются максимально жесткими. Снижение $K_{испр.}$ ниже 50–60 % делает выполнение планового налета невозможным, так как требуемое для этого время стоянки становится меньше технологически минимально возможного.

4. Предложен практический метод определения минимально необходимой исправности. На примере ближнемагистральных самолетов продемонстрировано, что для обеспечения налета 2 500 ч при технологическом нормативе стоянки в 2,6 ч минимальный коэффициент исправности должен составлять от 0,58 до 0,78 в зависимости от продолжительности полета, при этом установлен случай ($t_{БП} = 1$ ч), при котором выполнение плана невозможно, что позволяет избежать нерационального планирования.

5. Введен и количественно оценен показатель операционного резерва. Определение резерва времени простоя ($\Delta t_{СТ}$) позволяет авиапредприятиям оценивать свою устойчивость к операционным сбоям и задержкам (задержка экипажа, опоздание тягача, более длительный осмотр и т. д.). Наличие такого резерва (например, 1,91 ч в рассмотренном случае) является страховкой для обеспечения регулярности полетов.

Представленная методика может служить практическим инструментом для увязки стратегических целей авиапредприятия с его операционными возможностями и позволяет количественно обосновывать управленческие решения, выявлять «узкие места» и оценивать риски. Несмотря на существующие ограничения, модель создает надежный аналитический фундамент для дальнейшего развития систем поддержки принятия решений, повышения регулярности перевозок и экономической устойчивости авиапредприятий в условиях растущей конкуренции. Предлагается формализованный детерминированный аппарат для дополнения традиционных статистических методов в области управления эффективностью авиационной техники.

Список литературы

1. Далецкий С.В. Формирование эксплуатационно-технических характеристик воздушных судов гражданской авиации. М.: Воздушный транспорт, 2005. 416 с.
2. Далецкий С.В., Деркач О.Я., Петров А.Н. Эффективность технической эксплуатации самолетов гражданской авиации. М.: Воздушный транспорт, 2002. 216 с.
3. Далецкий С.В. Формирование характеристик системы технической эксплуатации воздушных судов гражданской авиации: дисс. ... докт. техн. наук. М.: ГосНИИ ГА, 2002. 466 с.
4. Смирнов Н.Н., Владимиров Н.И., Черненко Ж.С. и др. Техническая эксплуатация летательных аппаратов / Под ред. Н.Н. Смирнова. М.: Транспорт, 1990. 423 с.
5. Смирнов Н.Н., Чинючин Ю.М. Основы теории технической эксплуатации лета-

тельных аппаратов: учебник. М.: МГТУ ГА, 2015. 579 с.

6. **Sriram C., Haghani A.** An optimization model for aircraft maintenance scheduling and re-assignment // *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2003. Vol. 37, iss. 1. Pp. 29–48. DOI: 10.1016/S0965-8564(02)00004-6

7. **Рябинин А.Л.** Методика формирования требований к эксплуатационно-техническим характеристикам бортового оборудования на основе математического моделирования из условия снижения суммарных расходов на эксплуатацию гражданских воздушных судов: дисс. ... канд. техн. наук. Москва, 2001. 198 с.

8. **Xu Y.** Perspectives on modelling airline integrated scheduling problem: a review on state-of-the-art methodologies [Электронный ресурс] // *Journal of the Air Transport Research Society*. 2024. Vol. 3. ID: 100023. DOI: 10.1016/j.jatrs.2024.100023 (дата обращения: 10.08.2025).

9. **Чинючин Ю.М., Ойдов Н.** К задачам поддержания летной годности воздушных судов на основе мониторинга их ресурсного состояния // *Научный вестник МГТУ ГА*. 2017. Т. 20, № 3. С. 110–121.

10. **Баев Н.А., Деркач О.Я., Каплан В.Л. и др.** Эксплуатационно-технические характеристики и обеспечение эксплуатации авиационной техники / Под. ред. А.Н. Петрова. М.: Широкий взгляд, 2012. 140 с.

11. **Петров А.Н.** Разработка и внедрение общих требований к эксплуатационно-техническим характеристикам перспективных воздушных судов / А.Н. Петров, В.А. Полтавец, А.И. Свиначук, В.Л. Каплан, Ю.А. Ялоза // *Безопасность и надежность авиационной техники: сборник статей*. Жуковский: ЛИИ им. М.М. Громова, 2012. С. 19–26.

12. **Чинючин Ю.М., Додонов К.Н.** Построение имитационной модели процесса функционирования системы наземного обслуживания воздушных судов в штатной ситуации // *Научный вестник МГТУ ГА*. 2012. № 178. С. 58–64.

13. **Варданян Г.Б.** Вероятностный подход к оценке точности и достоверности эксплуатационно-технических характеристик воздушных судов / Г.Б. Варданян, А.С. Коче-

тов, Ю.В. Петров, В.Г. Угренинов // *Наука. Техника. Человек: исторические, мировоззренческие и методологические проблемы*. 2023. Т. 1, № 13. С. 365–370.

14. **Чинючин Ю.М., Ойдов Н.** Мониторинг ресурсного состояния парка магистральных самолетов в задачах поддержания их летной годности в условиях российских и монгольских авиакомпаний: монография. М.: МГТУ ГА, 2020. 124 с.

15. **Кондратьева М.А., Кузнецов С.Н., Фрязинов А.В.** Исправность воздушных судов с учетом среднесписочной численности в авиапредприятии // *Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации: материалы XIII Международной научно-практической конференции*. Иркутск, 10–11 октября 2024 г. Иркутск: МГТУ ГА, 2024. С. 18–27.

16. **Алексанян А.Р., Файнбург И.А., Евдокимова А.Д.** Комплексная технология повышения эффективности процесса технической эксплуатации воздушных судов // *Научный вестник МГТУ ГА*. 2018. Т. 21, № 2. С. 143–152. DOI: 10.26467/2079-0619-2018-21-2-143-152

17. **Дровосеков И.В., Матюхин К.Н.** Анализ методов, применяемых для оценки своевременности вылета воздушного судна гражданской авиации в условиях неопределенности внешних факторов // *Научно-исследовательские публикации*. 2024. № 6. С. 13–15.

18. **Wu C., Caves R.E.** Modelling and optimization of aircraft turnaround time at an airport // *Transportation Planning and Technology*. 2004. Vol. 27, no. 1. Pp. 47–66. DOI: 10.1080/0308106042000184454

19. **He Y.** Maximizing robustness of aircraft routing with heterogeneous maintenance tasks / Y. He, H.-L. Ma, W.-Y. Park, S.Q. Liu, S.-H. Chung [Электронный ресурс] // *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2023. Vol. 177. ID: 103237. DOI: 10.1016/j.tre.2023.103237 (дата обращения: 10.08.2025).

20. **Далецкий С.В., Далецкий С.С.** Графические модели процесса технической эксплуатации воздушных судов // *Научный вестник МГТУ ГА*. 2017. Т. 20, № 1. С. 36–44.

21. **Алексанян А.Р., Ицкович А.А., Евдокимова А.Д.** Актуализация методики расчета фактического показателя надежности вылетов гражданских воздушных судов // Научный вестник МГТУ ГА. 2017. Т. 20, № 6. С. 81–88. DOI: 10.26467/2079-0619-2017-20-6-81-88

22. **Николаев С.В.** Методика расчета вероятности своевременного вылета летательного аппарата // Научный вестник МГТУ ГА. 2019. Т. 22, № 5. С. 94–106. DOI: 10.26467/2079-0619-2019-22-5-94-106

23. **Терентьев В.Б.** Определение вероятности своевременного вылета летательного аппарата // Автоматизация. Современные технологии. 2019. Т. 73, № 8. С. 362–367.

References

1. **Daletskiy, S.V.** (2005). Formation of operational and technical characteristics of civil aviation aircraft. Moscow: Vozdushnyy transport, 416 p. (in Russian)

2. **Daletskiy, S.V., Derkach, O.Ya., Petrov, A.N.** (2002). Efficiency of technical operation of civil aviation aircraft. Moscow: Vozdushnyy transport, 216 p. (in Russian)

3. **Daletskiy, S.V.** (2002). Formation of characteristics of the civil aviation aircraft maintenance system: D. Tekh. Sc. Thesis. Moscow: GosNII GA, 466 p. (in Russian)

4. **Smirnov, N.N., Vladimirov, N.I., Chernenko, Zh.S. et al.** (1990). Technical operation of aircraft, Edited by Smirnov N.N. Moscow: Transport, 423 p. (in Russian)

5. **Smirnov, N.N., Chinyuchin, Yu.M.** (2015). Fundamentals of the theory of technical operation of aircraft: Textbook. Moscow: MGTU GA, 579 p. (in Russian)

6. **Sriram, C., Haghani, A.** (2003). An optimization model for aircraft maintenance scheduling and re-assignment. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 37, issue 1, pp. 29–48. DOI: 10.1016/S0965-8564(02)00004-6

7. **Ryabinin, A.L.** (2001). Methodology for forming requirements for operational and technical characteristics of onboard equipment based on mathematical modeling to reduce total

operating costs of civil aircraft: Kand. tekhn. Sc. Thesis. Moscow, 198 p. (in Russian)

8. **Xu, Y.** (2024). Perspectives on modeling airline integrated scheduling problem: a review on state-of-the-art methodologies. *Journal of the Air Transport Research Society*, vol. 3, ID: 100023. DOI: 10.1016/j.jatrs. 2024.100023 (accessed: 10.08.2025).

9. **Chinyuchin, Yu.M., Oidov, N.** (2017). The task of continuing airworthiness on the basis of monitoring resource status. *Civil Aviation High Technologies*, vol. 20, no. 3, pp. 110–121. (in Russian)

10. **Baev, N.A., Derkach, O.Ya., Kaplan, V.L. et al.** (2012). Operational and technical characteristics and support for the operation of aviation equipment, in Petrov A.N. (Ed.), Moscow: Shirokiy vzglyad, 140 p. (in Russian)

11. **Petrov, A.N., Poltavets, V.A., Svinarchuk, A.I., Kaplan, V.L., Yaloza, Yu.A.** (2012). Development and implementation of general requirements for the operational and technical characteristics of advanced aircraft. *Bezopasnost i nadezhnost aviatsionnoy tekhniki: sbornik statey*. Zhukovsky: LII im. M.M. Gromova, pp. 19–26. (in Russian)

12. **Chinyuchin, Yu.M., Dodonov, K.N.** (2012). Making a simulation model of process of functioning aircraft maintenance system in optimum situation. *Nauchnyy Vestnik MGTU GA*, no. 178, pp. 58–64. (in Russian)

13. **Vardanyan, G.B., Kochetov, A.S., Petrov, Yu.V., Ugreninov, V.G.** (2023). Probabilistic approach to the assessment of the accuracy and reliability of the operational and technical characteristics of aircraft. Science. *Nauka. Tekhnika. Chelovek: istoricheskiye, mirovozzrencheskiye i metodologicheskiye problem*, no. 1 (13), pp. 365–370. (in Russian)

14. **Chinyuchin, Ju.M., Oydov, N.** (2020). Monitoring the resource status of the fleet of mainline aircraft in the tasks of maintaining their airworthiness in the conditions of Russian and Mongolian airlines: Monograph. Moscow: MGTU GA, 124 p. (in Russian)

15. **Kondratieva, M.A., Kuznetsov, S.N., Fryazinov, A.V.** (2024). Aircraft serviceability taking into account the average headcount in an airline. In: *Aktualnyye problemy i perspektivy razvitiya grazhdanskoy aviatsii: materialy XIII*

Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Irkutsk: MGTU GA, pp. 18–27. (in Russian)

16. **Aleksanyan, A.R., Fainburg, I.A., Evdokimova, A.D.** (2018). Complex technology of improvement the process of aircraft maintenance efficiency. *Civil Aviation High Technologies*, vol. 21, no. 2, pp. 143–152. DOI: 10.26467/2079-0619-2018-21-2-143-152 (in Russian)

17. **Drovosekov, I.V., Matyukhin, K.N.** (2024). Analysis of methods used to assess the timeliness of civil aviation aircraft departure in conditions of uncertainty of external factors. *Nauchno-issledovatel'skiye publikatsii*, no. 6, pp. 13–15. (in Russian)

18. **Wu, C., Caves, R.E.** (2004). Modelling and optimization of aircraft turnaround time at an airport. *Transportation Planning and Technology*, vol. 27, no. 1, pp. 47–66. DOI: 10.1080/0308106042000184454

19. **He, Y., Ma, H.-L., Park, W.-Y., Liu, S.Q., Chung, S.-H.** (2023). Maximizing robustness of aircraft routing with heterogeneous maintenance tasks. *Transportation Research*

Part E: Logistics and Transportation Review, vol. 177, ID: 103237. DOI: 10.1016/j.tre.2023.103237 (accessed: 10.08.2025).

20. **Daletskiy, S.V., Daletskiy, S.S.** (2017). Graphical models of the aircraft maintenance process. *Civil Aviation High Technologies*, vol. 20, no. 1, pp. 36–44. (in Russian)

21. **Aleksanyan, A.R., Itskovich, A.A., Evdokimova, A.D.** (2017). Actualization of methodic of calculation of actual indicator of civil aircraft dispatch reliability. *Civil Aviation High Technologies*, vol. 20, no. 6, pp. 81–88. DOI: 10.26467/2079-0619-2017-20-6-81-88 (in Russian)

22. **Nikolaev, S.V.** (2019). Aircraft timely departure probability technique. *Civil Aviation High Technologies*, vol. 22, no. 5, pp. 94–106. DOI: 10.26467/2079-0619-2019-22-5-94-106 (in Russian)

23. **Terentev, V.B.** (2019). The probability determination of the aircraft timely departure. *Avtomatizatsiya. Sovremennyye Tekhnologii*, vol. 73, no. 8, pp. 362–367. (in Russian)

Сведения об авторах

Кондратьева Марина Александровна, заместитель декана факультета эксплуатации летательных аппаратов Иркутского филиала МГТУ ГА, marina_mgtu@mail.ru.

Кузнецов Сергей Николаевич, кандидат технических наук, доцент, декан факультета эксплуатации летательных аппаратов Иркутского филиала МГТУ ГА, sergei20320@mail.ru.

Фрязинов Александр Викторович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры летательных аппаратов и двигателей Иркутского филиала МГТУ ГА, a.fryazinov@internet.ru.

Information about the authors

Marina A. Kondratieva, Deputy Dean of the Aircraft Operation Faculty, Irkutsk Branch of Moscow State Technical University of Civil Aviation, marina_mgtu@mail.ru.

Sergey N. Kuznetsov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dean of the Aircraft Operation Faculty, Irkutsk Branch of Moscow State Technical University of Civil Aviation, sergei20320@mail.ru.

Alexander V. Fryazinov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Aircraft and Engines Chair, Irkutsk Branch of Moscow State Technical University of Civil Aviation, a.fryazinov@internet.ru.

Поступила в редакцию
Одобрена после рецензирования
Принята в печать

24.10.2025
02.12.2025
23.07.2026

Received
Approved after reviewing
Accepted for publication

24.10.2025
02.12.2025
23.07.2026