

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
(РОСАВИАЦИЯ)

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

Кафедра технической эксплуатации
летательных аппаратов и авиационных двигателей

С.Н. Яблонский, Ю.И. Самуленков

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛА

Учебно-методическое пособие
по проведению практического занятия
«Определение обобщенных показателей и оценка уровня
эксплуатационной технологичности ЛА»

*для студентов IV курса
специальности 25.05.05
очной формы обучения*

Москва
ИД Академии Жуковского
2021

УДК 629.7.083
ББК 052-082
Я14

Рецензент:

Самойленко В.М. – д-р техн. наук, профессор

Я14 Яблонский С.Н. Основы теории технической эксплуатации ЛА [Текст] : учебно-методическое пособие по проведению практического занятия «Определение обобщенных показателей и оценка уровня эксплуатационной технологичности ЛА» / С.Н. Яблонский, Ю.И. Самуленков. – М.: ИД Академии Жуковского, 2021. – 24 с.

Данное учебно-методическое пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Основы теории технической эксплуатации ЛА» по учебному плану для студентов IV курса специальности 25.05.05 очной формы обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 09.02.2021 г. и методического совета 21.04.2021 г.

УДК 629.7.083
ББК 052-082

В авторской редакции

Подписано в печать 27.10.2021 г.
Формат 60x84/16 Печ. л. 1,5 Усл. печ. л. 1,395
Заказ № 797/0616-УМП10 Тираж 50 экз.

Московский государственный технический университет ГА
125993, Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20

Издательский дом Академии имени Н. Е. Жуковского
125167, Москва, 8-го Марта 4-я ул., д. 6А
Тел.: (495) 973-45-68
E-mail: zakaz@itsbook.ru

© Московский государственный технический
университет гражданской авиации, 2021

Тема: «Определение обобщенных показателей и оценка уровня эксплуатационной технологичности ЛА»

1. Общие положения

1.1. Цели работы

Целями практического занятия по теме «Определение и оценивание обобщенных показателей и оценка уровня эксплуатационной технологичности летательных аппаратов (ЛА)» является:

- 1) закрепление теоретических знаний по разделу лекционных занятий «Эксплуатационно-технические характеристики (ЭТХ) ЛА»;
- 2) приобретение навыков анализа эксплуатационной технологичности конкретного типа ЛА, определения фактических и нормативных значений показателей эксплуатационной технологичности и выполнения оценки ее уровня.

1.2. Основные вопросы, подлежащие изучению для выполнения практического занятия

Для закрепления теоретического материала по указанной теме и подготовки к практическому занятию студентам рекомендуется изучить следующие вопросы:

- 1) содержание понятия «эксплуатационная технологичность ЛА»;
- 2) классификация показателей эксплуатационной технологичности;
- 3) состав обобщенных показателей эксплуатационной технологичности и расчетные формулы для определения их значений;
- 4) методы определения нормативных значений обобщенных показателей эксплуатационной технологичности;
- 5) методы выполнения оценки уровня эксплуатационной технологичности ЛА.

2. Методические указания по теме

2.1. Постановка задачи

К числу важнейших эксплуатационно-технических характеристик современных ЛА относится эксплуатационная технологичность (ЭТ).

Под ЭТ понимается совокупность заданных и конструктивно реализованных свойств, определяющих приспособленность ЛА к выполнению на нем всего комплекса работ по техническому и технологическому обслуживанию и ремонтам (ТОиР) с использованием наиболее экономичных технологических процессов (с минимальными затратами времени, труда и материальных средств) [7].

Эксплуатационная технологичность определяется рядом конструктивно-производственных факторов, таких как:

- доступность,
- контролепригодность,
- взаимозаменяемость и др.

С каждым годом эксплуатационная технологичность, рассматриваемая как одна из сторон надежности, привлекает все большее внимание организаций и специалистов, работающих в области проектирования, производства и эксплуатации ВС гражданской авиации. В последнее время разработан и введен в действие ряд нормативно-технических материалов на отраслевом и межотраслевом уровнях, обновлены отдельные государственные стандарты в области Системы ТОиР техники, ее надежности, ремонтпригодности, эксплуатационной технологичности. Накоплен определенный опыт по анализу и оценке эксплуатационной технологичности. Вместе с тем, задачи обоснования нормативов эксплуатационной технологичности, способов задания ее показателей в требованиях на новую АТ, управления эксплуатационной технологичностью ВС на всех этапах жизненного цикла остаются еще до конца не решенными.

Основные этапы и задачи нормирования эксплуатационной технологичности представлены на рис. 1.

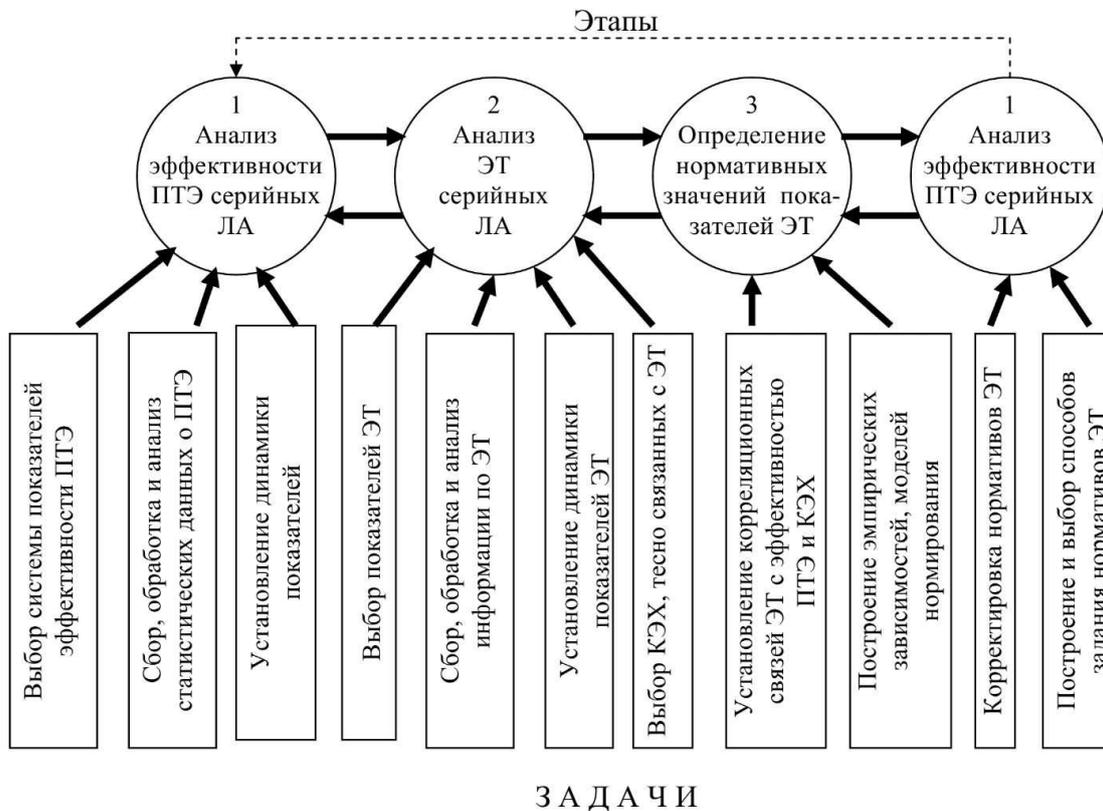


Рис. 1. Основные этапы и задачи нормирования эксплуатационной технологичности: ЭТ - эксплуатационная технологичность; КЭХ - конструктивно-эксплуатационные характеристики

Заданные свойства ЭТ обеспечиваются в процессе создания и изготовления ЛА. В условиях эксплуатации эти свойства реализуются и совершенствуются (повышаются) с учетом реальных потребностей и возможностей типовых технологических процессов. Так переход на эксплуатацию ЛА по состоянию

требует переоценки содержания всех свойств ЭТ конструкции отдельных изделий, функциональных систем и ЛА в целом.

Информация об эксплуатационной технологичности нашла свое отражение в международной нормативно-правовой базе. Организация – разработчик типовой конструкции может классифицировать информацию как обязательную с целью повышения эксплуатационной технологичности, контролепригодности, ограничения срока эксплуатации СЧ или по причинам, связанным с ответственностью за недостатки конструкции [9].

Для анализа и оценки ЭТ конструкции ЛА на современном этапе развития самолетостроения недостаточно ограничиться ее качественной характеристикой. Требуется количественный анализ ЭТ, который сопровождается расчетом показателей.

Такая необходимость возникает при:

- анализе и оценке ЭТ эксплуатируемых типов ЛА;
- разработке технических требований к новому образцу ЛА;
- выборе из нескольких возможных конструкторских вариантов наилучшего;
- рассмотрении нескольких «конкурирующих» проектов изделия одинакового назначения;
- рассмотрении макета и проведении испытаний опытного образца нового ЛА.

К показателям ЭТ предъявляются следующие требования:

- максимальный учет факторов, определяющих ЭТ и чувствительность к их изменению;
- возможность их расчета и задания в численном виде в технических требованиях ЛА;
- удобство практического применения показателей при оценке ЭТ на этапах создания, испытаний и эксплуатации ЛА.

Для количественного анализа и оценки ЭТ ЛА используются совокупность обобщенных (основных) и единичных (дополнительных) показателей. В свою очередь, обобщенные показатели делятся на две группы: временные и экономические.

Первая группа показателей характеризует ЭТ ЛА с точки зрения затрат времени на ТОиР и устранение внезапных отказов при эксплуатации.

К этим показателям относятся:

- 1) удельная суммарная оперативная продолжительность ТОиР - *Кон* ч./ч.налета;
- 2) вероятность выполнения непланового текущего ремонта (устранение отказа) - $P_y\{t \leq t_3\}$ за заданное время t_3 ;
- 3) среднее оперативное время устранения отказов (восстановления) t_y при проведении оперативных форм технического обслуживания.

Вторая группа обобщенных показателей характеризует ЭТ ЛА с точки зрения затрат труда, материалов и запасных частей на проведение ТОиР.

Одним из таких показателей является:

- удельная суммарная оперативная трудоемкость ТООР - $K_{от}$ чел.ч./ч.налета.

При выполнении данного практического задания для заданного типа ЛА предлагается определить фактические и нормативные значения показателей $K_{оп}$ и $K_{от}$ и по этим показателям оценить уровень ЭТ ЛА.

Определение фактических значений указанных показателей ЭТ проводится в следующей последовательности:

- осуществляется обработка статистических данных об оперативной продолжительности и трудоемкости ТООР;

- выполняются расчеты фактических значений показателей ЭТ по приведенным в Пособии формулам.

Нормативные значения показателей ЭТ ЛА определяются с помощью приведенных в Пособии номограмм и эмпирических формул применительно к заданным значениям показателей эффективности процесса технической эксплуатации (ПТЭ) [1].

Оценка уровня ЭТ ЛА осуществляется путем сравнения фактических и нормативных значений показателей. При этом могут использоваться два метода: дифференцированный и экспертный (комплексный) [1].

Следует отметить, что несколько иной подход к классификации показателей эксплуатационной технологичности можно встретить в нормативной документации [5]:

1. Удельная суммарная трудоемкость ТО: Отношение математического ожидания суммарной трудоемкости ТО (ремонта) к налету ВС за определенный период эксплуатации

$$K_{т.то} = \frac{\sum T_{т.то}}{T_n}$$

2. Средняя трудоемкость ТО: Математическое ожидание (среднее значение) трудоемкости одного технического обслуживания (ремонта) данного вида за определенные период эксплуатации или наработку

$$T_{то} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N T_i$$

3. Средняя трудоемкость (продолжительность) работы планового ТО: Математическое ожидание трудоемкости (продолжительности) $T_{плто}$ ($t_{плто}$) выполнения определенной плановой работы при ТО

$$T_{пл то} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N T_i$$

4. Удельная суммарная продолжительность ТО: Отношение математического ожидания суммарной продолжительности ТО (ремонта) к налету ВС за определенный период эксплуатации

$$K_{\text{п то}} = \frac{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N T_i}{T_{\text{н}}}$$

5. Средняя продолжительность ТО: Математическое ожидание (среднее значение) продолжительности одного технического обслуживания (ремонта) данного вида за определенные период эксплуатации или наработку

$$t_{\text{то}} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N t_i$$

6. Среднее время восстановления работоспособного состояния: Математическое ожидание времени до восстановления

$$T_{\text{в}} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N T_i$$

7. Вероятность восстановления работоспособного состояния: Вероятность того, что время (до) восстановления работоспособного состояния объекта не превысит заданное значение

8. Коэффициент загрузки исполнителя (средства): Отношение средней суммарной продолжительности работы исполнителя (средства) при выполнении определенного вида ТО или ремонта к его средней суммарной продолжительности

$$K_{\text{з}} = \frac{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N t_i}{t_{\text{ср то}}}$$

9. Коэффициент планируемого применения $K_{\text{пл}}$: Доля определенного периода эксплуатации, в течение которой ВС не должен находиться на плановом техническом обслуживании

$$K_{\text{п.п}} = 1 - K_{\text{п}} \bar{t}$$

где \bar{t} - интенсивность эксплуатации, определяемая как отношение налета ВС в часах налета, за календарный год к расчетному годовому фонду времени, в часах.

Показатели $K_{\text{пл}}$, $K_{\text{п}}$ определяют по расчетной (нормированной) интенсивности эксплуатации либо по фактической эксплуатационной статистике.

10. Удельная суммарная продолжительность восстановления работоспособного состояния $K_{лв}$: Отношение математического ожидания суммарной продолжительности ТО, связанного с восстановлением работоспособного состояния ВС, к его налету за определенный период эксплуатации

11. Удельные суммарные затраты на ТО (ремонт) $K_{с.з.ТО}$: Отношение математического ожидания суммарной стоимости ТО (ремонта) к налету ВС за определенный период эксплуатации

12. Удельные прямые затраты на ТО $K_{н.з.ТО}$: Затраты, возникающие на регулярной основе, от начала эксплуатации ВС и до ее прекращения, включающие в себя затраты на оплату труда, затраты на запасные части и расходные материалы, отнесенные на 1 ч налета ВС

13. Коэффициент эксплуатационно-экономической эффективности $K_э$: Отношение рассматриваемой вероятностной характеристики готовности ВС к величине удельных прямых или суммарных затрат на ТО

14. Коэффициент эксплуатационной готовности $K_{эг}$: Вероятность того, что в произвольный момент времени в реальных условиях эксплуатации ВС будет работоспособно и в состоянии выполнить полет хотя бы одному из типовых вариантов применения

Для оценки готовности ВС в реальных условиях эксплуатации помимо затрат времени на плановое и неплановое ТО может потребоваться учет дополнительных простоев ВС, которые могут быть оценены коэффициентом $K_{дон}$, отражающим недостатки в организации работ и поставок запасных частей и другие подобные издержки. В этом случае используют коэффициент эксплуатационной готовности $K_{эг}$, определяемый по формуле

$$K_{эг} = K_{ТГ} K_{дон}$$

Обеспечение необходимого уровня готовности требует проведения планового и непланового ТО и влечет соответствующие затраты. Для оценки этих затрат используют показатели удельных прямых или суммарных затрат.

Величина удельных прямых затрат на ТО зависит от надежности и ЭТ типовой конструкции ВС, особенностей системы его технической эксплуатации и рассчитывается путем суммирования всех составляющих прямых затрат на ТО и отнесения их к 1 ч налета ВС.

Прямые затраты на ТО включают в себя следующие составляющие [5]:

- затраты на плановое ТО, включающие в себя оплату труда при проведении планового ТО, в том числе при восстановлении ресурса (заменах изделий в связи с выработкой ими назначенного ресурса), и затраты на запасные части и расходные материалы;

- затраты на неплановое ТО, включающие в себя оплату труда при проведении непланового ТО и затраты на запасные части и расходные материалы.

Возможна оценка удельных прямых затрат отдельно для планового и непланового ТО.

Удельные суммарные затраты на ТО (ремонт) дополнительно включают в себя составляющие косвенных затрат, обусловленные накладными расходами, по согласованию заинтересованных сторон.

Способы повышения ЭТ ВС:

- оптимальное размещение оборудования на ЛА;
- применение быстроразъемных панелей;
- панелирование изделий (монтажей) (рис. 2);
- прогнозное техническое обслуживание ВС на основе априорной информации, в том числе на основе математических моделей.

Под панелированием понимается технологическое членение агрегатов, отсеков и секций на сборные или монолитные панели

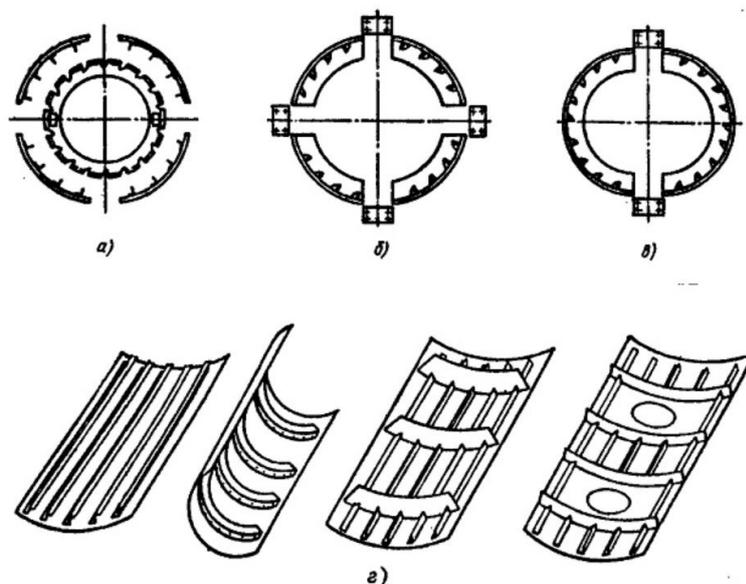


Рис. 2 Варианты панелирования фюзеляжа: а — панели из обшивки и стрингеров; б— панели из обшивки, стрингеров и частей шпангоутов; в - панели из обшивки, стрингеров и половинок шпангоутов; г – типовые панели фюзеляжа

2.2. Определение фактических значений обобщенных показателей эксплуатационной технологичности

Для определения фактических значений обобщенных показателей ЭТ ЛА используются исходных данные, приведенные в Приложениях.

2.2.1. Определение показателя $K_{оп}$

Показатель «удельная суммарная оперативная продолжительность ТО и Р» $K_{оп}$ определяется из выражения:

$$K_{оп} = \frac{t_{оп} + t_{п} + t_{квр}}{T_{рес.с}} + \frac{t_{зам.дв} \cdot \beta}{T_{рес.дв} \cdot (1 - K_{дс})}; \quad (2.1)$$

где $t_{оп}$, $t_{п}$ - суммарная оперативная продолжительность выполнения всех форм оперативного и периодического обслуживания, соответственно, за ресурс

(назначенный, проектный) ЛА $T_{PEC.C}$, ч; $t_{KBP} (t_{\Phi D})$ – средняя оперативная продолжительность контрольно-восстановительных работ (форма D) ЛА за $T_{PEC.C}$, ч; $t_{ЗАМ.ДВ}$ – средняя оперативная продолжительность замены двигателя, ч; $T_{PEC.ДВ}$ – межремонтный ресурс двигателя, ч; $K_{ДС}$ – коэффициент досрочных замен двигателей; β – коэффициент, учитывающий количество замен двигателей, которые не совмещаются по времени с проведением периодических форм ТОиР на ЛАе.

Значения $t_{ОП}$ и $t_{П}$ определяются исходя из принятых для каждого типа ЛА форм технического обслуживания, периодичности и средних значений оперативной продолжительности их выполнения:

$$t_{ОП} = t_{TE} \cdot n_{TE} + t_W \cdot n_W; \quad t_{ОП} = t_{\Phi A} \cdot n_{\Phi A} + t_{\Phi B} \cdot n_{\Phi B} \quad (2.2)$$

$$t_{П} = t_{\Phi 1} \cdot n_{\Phi 1} + t_{\Phi 2} \cdot n_{\Phi 2} + t_{\Phi 3} \cdot n_{\Phi 3}; \quad t_{П} = t_A \cdot n_A + t_B \cdot n_B + t_C \cdot n_C; \quad t_{KBP} = t_{KBP} \cdot n_{KBP} \quad (2.3)$$

где $t_{TE} (t_{\Phi A})$, $t_W (t_{\Phi B})$ – средние значения оперативной продолжительности выполнения оперативных форм ТО ЛА (форм Transit Check (Ф-А) и Weekly Check (Ф-Б); $n_{TE} (n_{\Phi A})$, $n_W (n_{\Phi B})$ – общее число соответствующих форм оперативного обслуживания за $T_{PEC.C}$; $t_A (t_{\Phi 1})$, $t_B (t_{\Phi 2})$, $t_C (t_{\Phi 3})$, $t_{KBP} (t_{\Phi D})$ – средние значения оперативной продолжительности выполнения периодических форм ТО ЛА (А-Check (Ф-1), В-Check (Ф-2), С-Check (Ф-3), КВР (ФД)); $n_A (n_{\Phi 1})$, $n_B (n_{\Phi 2})$, $n_C (n_{\Phi 3})$, $n_{KBP} (n_{\Phi D})$ – общее число соответствующих форм периодического ТО за $T_{PEC.C}$.

Общее число оперативных форм обслуживания за $T_{PEC.C}$ рекомендуется определять из выражений:

$$n_{\Phi A} = \frac{1,1 \cdot T_{PEC.C}}{t_{БП}} \quad (2.4)$$

$$n_W = \frac{365 \cdot T_{PEC.C}}{\tau_W \cdot T_{ГСС}} - n_{П}; \quad n_{\Phi B} = \frac{365 \cdot T_{PEC.C}}{\tau_{\Phi B} \cdot T_{ГСС}} - n_{П} \quad (2.5)$$

где $n_{П}$ – суммарное число периодических форм ТО, включая КВР (форму D), выполняемых за $T_{PEC.C}$; $\tau_{W(\Phi B)}$ – периодичность выполнения формы Weekly Check (Ф-Б) в сутках (Приложение С); $T_{ГСС}$ – средний годовой налет на списочный ЛА (Приложение С).

Общее число периодических форм ТО $n_{П}$ за $T_{PEC.C}$ определяется с использованием данных о периодичности выполнения форм А-Check (Ф-1), В-Check (Ф-2), С-Check (Ф-3), КВР (D-Check) для заданного типа ЛА (Приложение С).

$$n_{П} = n_A + n_B + n_C + n_{KBP} \quad (2.6)$$

При этом используются следующие выражения:

$$n_{KBP} = \frac{T_{PEC.C}}{\tau_{KBP}}; \quad n_C = \frac{T_{PEC.C}}{\tau_C} - n_{KBP}; \quad (2.7)$$

$$n_B = \frac{T_{PEC.C}}{\tau_B} - (n_{KBP} + n_C); \quad n_A = \frac{T_{PEC.C}}{\tau_A} - (n_{KBP} + n_C + n_B); \quad (2.8)$$

$$n_{KBP} = \frac{T_{PEC.C}}{\tau_{KBP}}; \quad n_{\Phi3} = \frac{T_{PEC.C}}{\tau_{\Phi3}} - n_{KBP}; \quad (2.9)$$

$$n_{\Phi2} = \frac{T_{PEC.C}}{\tau_{\Phi2}} - (n_{KBP} + n_{\Phi3}); \quad n_{\Phi1} = \frac{T_{PEC.C}}{\tau_{\Phi1}} - (n_{KBP} + n_{\Phi3} + n_{\Phi2}); \quad (2.10)$$

Необходимые для расчета исходные данные о $T_{PEC.C}$, $T_{PEC.DB}$, $T_{ГСС}$, $t_{ЗАМ.ДВ}$, β , $K_{ДС}$ и другие содержатся в Приложениях В и С.

Далее с использованием результатов расчета по выражениям (2.1...2.10) определяется искомое значение $K_{ОП}$.

$$K_{ОП} = \frac{t_{ОП} + t_{П} + t_{KBP}}{T_{PEC.C}} + \frac{t_{ЗАМ.ДВ} \cdot \beta}{T_{PEC.ДВ} \cdot (1 - K_{ДС})} =$$

2.2.2. Определение показателя $K_{ОТ}$

Показатель «удельная суммарная оперативная трудоемкость ТООиР» определяется из выражения

$$K_{ОТ} = \frac{T_{ОП} + T_{П} + T_{KBP}}{T_{PEC.C}} + \frac{(T_{ЗАМ.ДВ} + T_{РЕМ.ДВ}) \cdot n_{ДВ}}{T_{PEC.ДЕ} \cdot (1 - K_{ДС})} + \sum_{i=1}^{N_C} \frac{T_{РЕМ.И_i} \cdot n_{И_i}}{T_{PEC.И_i} \cdot (1 - \alpha_{И_i})} \quad (2.11)$$

где $T_{ОП}$ - суммарная оперативная трудоемкость всех форм оперативного технического обслуживания, включая работы по устранению отказов и повреждений за $T_{PEC.C}$ чел.-ч; $T_{П}$ - суммарная оперативная трудоемкость всех форм периодического обслуживания за $T_{PEC.C}$ чел.-ч; T_{KBP} (T_D) - трудоемкость контрольно-восстановительных работ (форма D); $T_{РЕМ.ДВ}$, $T_{РЕМ.И}$ - трудоемкость ремонта двигателя, i -го изделия соответственно, чел.-ч; $T_{ЗАМ.ДВ}$ - трудоемкость замены двигателя, чел.-ч; $T_{PEC.И_i}$ - межремонтный ресурс i -го изделия, ч; $\alpha_{И_i}$ - коэффициент досрочных замен i -го изделия; $n_{ДВ}$, $n_{И_i}$ - число двигателей и изделий каждого типа на ЛАе, заменяемых в пределах $T_{PEC.ДВ}$ и $T_{PEC.C}$ соответственно; $N_{И}$ - число типов изделий, заменяемых на ЛАе в пределах $T_{PEC.C}$.

Величины $T_{ОП}$ и $T_{П}$ определяются исходя из принятых для ЛА форм ТО в пределах $T_{PEC.C}$, средних значений оперативной трудоемкости каждой из форм и их числа за $T_{PEC.C}$.

$$T_{ОП} = T_{ТЕ} \cdot n_{ТЕ} + T_{W} \cdot n_{W}; \quad T_{ОП} = T_{\Phi A} \cdot n_{\Phi A} + T_{\Phi B} \cdot n_{\Phi B}$$

$$T_{П} = T_{\Phi 1} \cdot n_{\Phi 1} + T_{\Phi 2} \cdot n_{\Phi 2} + T_{\Phi 3} \cdot n_{\Phi 3}; \quad T_{П} = T_A \cdot n_A + T_B \cdot n_B + T_C \cdot n_C;$$

$$T_{KBP} = T_{KBP} \cdot n_{KBP}$$

Число обслуживаний определяется по выражениям, приведенным выше (п.2.2.1). Исходные данные об оперативной трудоемкости форм ТОиР приведены в Приложении Б.

Необходимые исходные данные для определения значения второго члена выражения (2.11) содержатся в Приложениях В и С.

Третий член выражения (2.11) из-за отсутствия полных и достоверных исходных данных при выполнении практической работы можно не рассчитывать, а принять его равным 10% от удельной оперативной трудоемкости ТО и Р ЛА (первого члена выражения (2.11)).

Имея исходные данные для определения всех трех членов выражения (2.11) рассчитывается искомое значение показателя K_{OT} для рассматриваемого типа самолёта.

$$K_{OT} = \frac{T_{OP} + T_{II} + T_{KBP}}{T_{PEC.C}} + \frac{(T_{ЗАМ.ДВ} + T_{РЕМ.ДВ}) \cdot n_{ДВ}}{T_{PEC.ДЕ} \cdot (1 - K_{ДС})} + \sum_{i=1}^{N_{II}} \frac{T_{РЕМ.И_i} \cdot n_{И_i}}{T_{PEC.И_i} \cdot (1 - \alpha_{И_i})}$$

2.3 Определение нормативных значений обобщенных показателей эксплуатационной технологичности

Нормативные значения обобщенных показателей ЭТ определяются исходя из условия обеспечения заданных значений показателей более высокого иерархического уровня, определяющих эффективность процесса технической эксплуатации (ПТЭ) ЛА. К таким показателям относятся:

- годовой налет на списочный ЛА – $T_{ГСС}$;
- средняя длительность беспосадочного полета – $t_{БП}$;
- коэффициент исправности – $K_{ИСПР}$;
- удельная продолжительность ТОиР в цикле восстановления - K_{III} ;
- удельная суммарная трудоемкость в оперативном цикле - $K_{ТО}$;
- масса пустого ЛА - m_o ;
- минимальное время плановой стоянки ВС в транзитных аэропортах – $t_{СТ.М}$.

Эти показатели становятся известными на ранних стадиях создания ЛА и могут быть приняты в качестве основы для дальнейших расчетов показателей эффективности процесса технической эксплуатации (ПТЭ) и соответствующих показателей ЭТ. В каждом из полученных значений показателей эффективности ПТЭ с приемлемой для практики точностью определяется та доля, которая приходится непосредственно на ЭТ. Эта доля определяется с помощью статистических коэффициентов η_1 и η_2 [1].

Статистические коэффициенты отражают сложившиеся для ЛА-аналогов соотношения между достигнутыми значениями показателей эффективности ПТЭ и ЭТ с учетом фактических уровней безотказности и долговечности конструкций отдельных частей, узлов, агрегатов, а также организационно-технологических характеристик процессов ТОиР. Каждый из статистических коэффициентов характеризует долю затрат, которая непосредственно связана с

ЭТ ЛА, в общих затратах на проведение ТОиР, определяемых соответствующими показателями эффективности ПТЭ.

Статистические коэффициенты определяются путем обработки и анализа данных, полученных в Организациях по ТО АТ и ремонтных заводов ГА по определенным типам ЛА–аналогов. Для нормирования принимаются осредненные значения коэффициентов по каждому из показателей.

2.3.1 Определение показателя - $K_{оп}^H$

Исходными данными для определения нормативного значения удельной суммарной оперативной продолжительности ТОиР $K_{оп}^H$ могут служить; $T_{ГСС}$, $K_{ПП}$, η_1 и $K_{СЕЗ}$ - коэффициент сезонности перевозок.

Количественные значения этих показателей (кроме $K_{ПП}$) для заданного типа ЛА и варианта задания содержатся в Приложении С.

Для определения нормативного значения искомого показателя $K_{оп}^H$ используются номограммы, приведенные на рис. 3 и 4.

Показатель $K_{ПП}$ рекомендуется определять из выражения

$$K_{ПП} = \frac{8760 - T_{ГСС}}{3,75 \cdot T_{ГСС}} \quad (2.12)$$

Полученные нормативные значения показателей $K_{ОП.П}$ – для цикла восстановления и $K_{ОП.О}$ – для оперативного цикла в сумме дадут нормативное значение искомого показателя $K_{оп}^H$ - удельной суммарной оперативной продолжительности ТО ЛА.

2.3.2 Определение показателя - $K_{от}^H$

Исходными данными для определения нормативного значения удельной суммарной оперативной трудоемкости ТОиР $K_{от}^H$ могут служить; m_0 , $t_{БП}$, η_2 и $K_{ТО}$. Количественные значения этих показателей (кроме $K_{ТО}$) для заданного типа ЛА и варианта задания содержатся в Приложениях Б, В.

Для определения нормативного значения искомого показателя $K_{от}^H$ используются номограммы, приведенные на рис. 5 и 6.

Для ЛА с массой конструкции $m_0 < 20 t$ и средней длительности беспосадочного полета мене 2 часов, значения $K_{ТП}$, $K_{ТО}$ рекомендуется определять с использованием выражения, приведенных на номограммах (5 и 6).

$$K_{ТП} = 0,6 \cdot m_0^{0.65}; \quad K_{ТО} = \frac{1,4 \cdot m_0^{0.35}}{t_{БП}}. \quad (2.13)$$

Полученные нормативные значения показателей $K_{ОТ.П}$ – для цикла восстановления и $K_{ОТ.О}$ – для оперативного цикла в сумме дадут нормативное значение искомого показателя $K_{от}^H$ - удельной суммарной оперативной трудоемкости ТОиР ЛА.

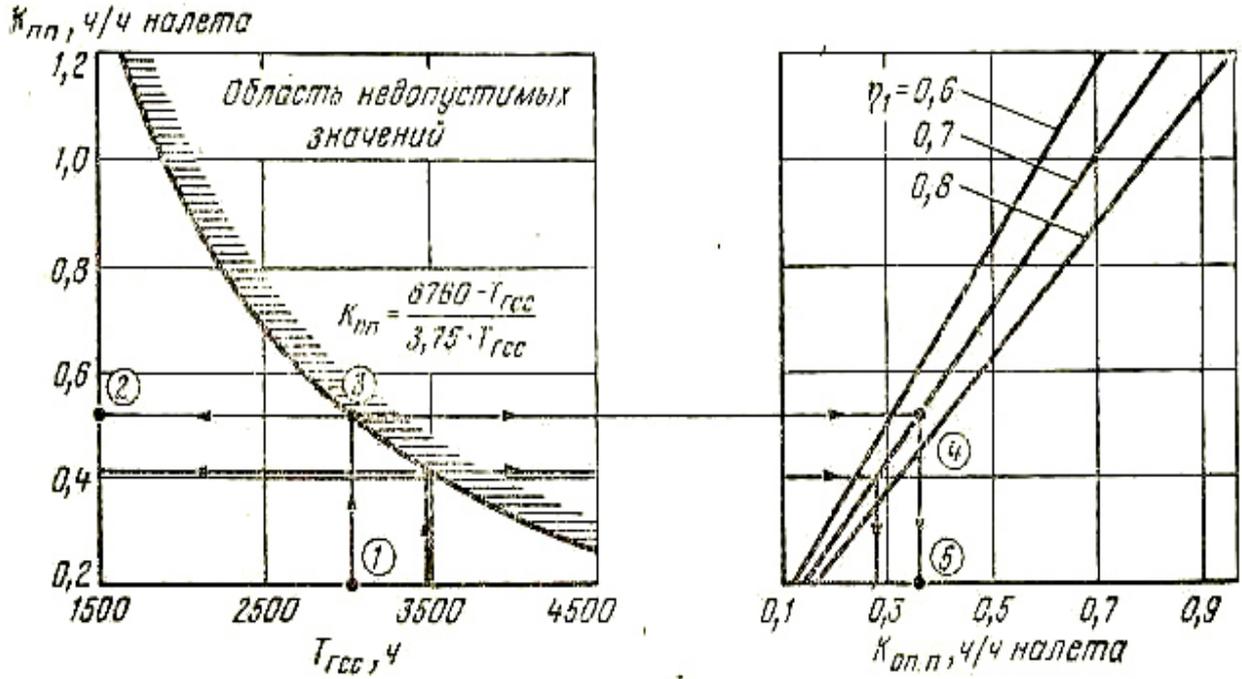


Рис. 3. Номограмма для определения требуемых значений $K_{оп.п}$

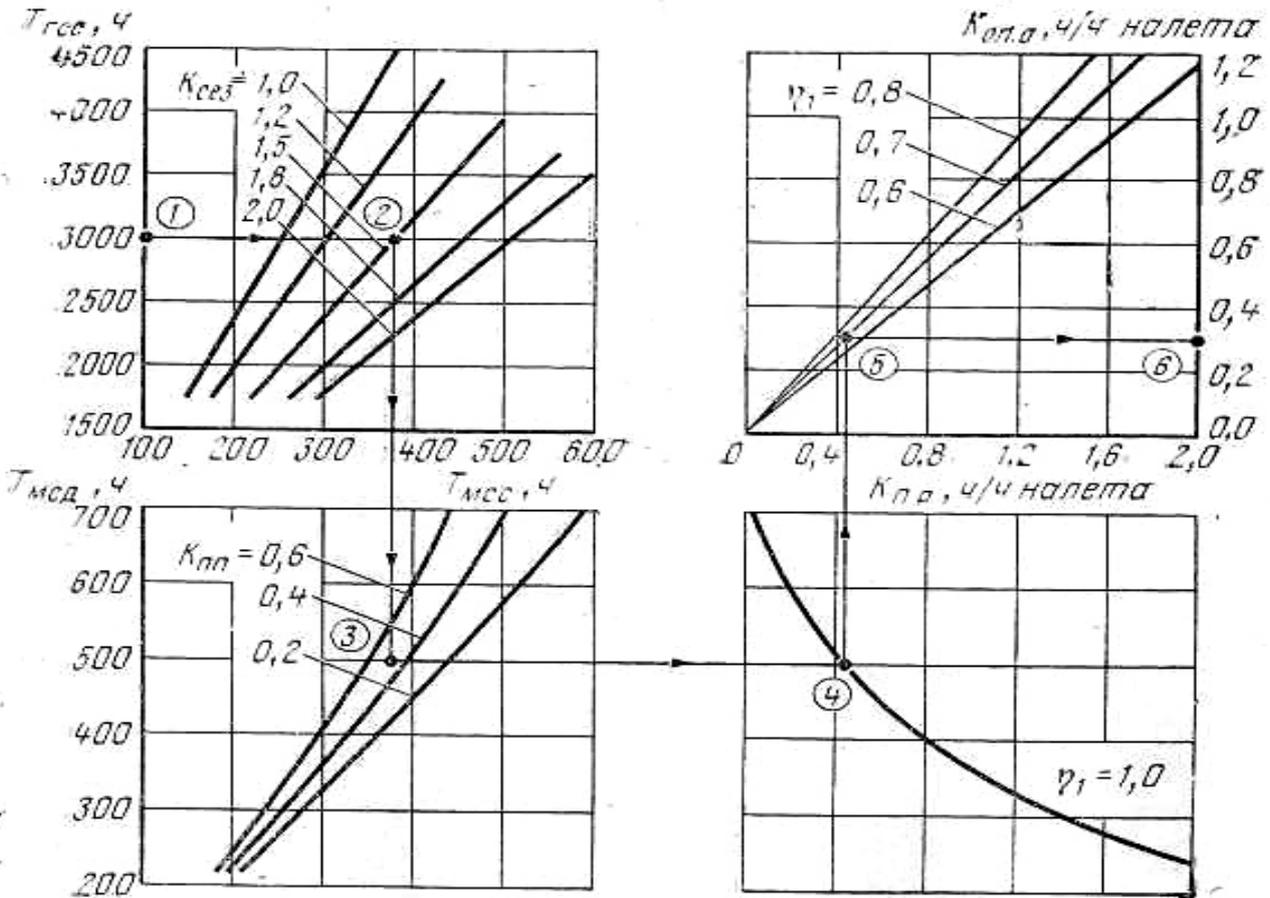


Рис. 4. Номограмма для определения требуемых значений $K_{оп.о}$

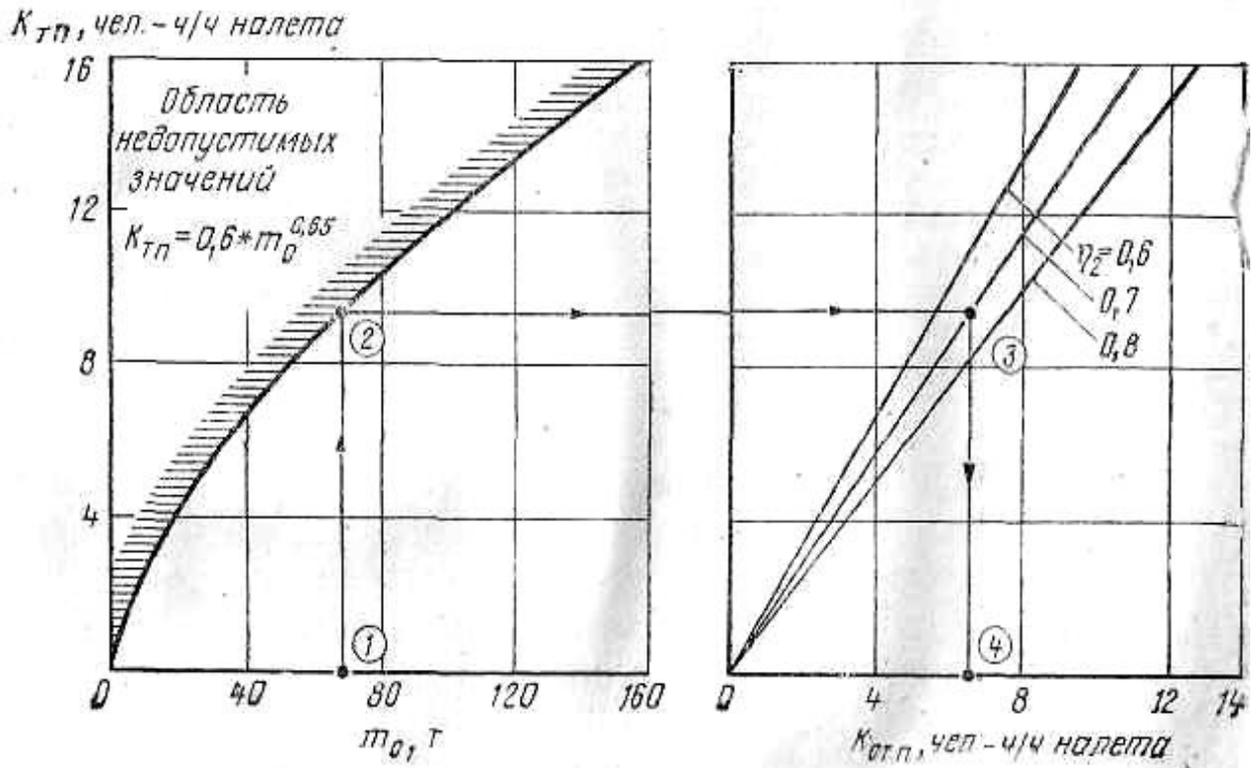


Рис. 5. Номограмма для определения требуемых значений $K_{от.п}$

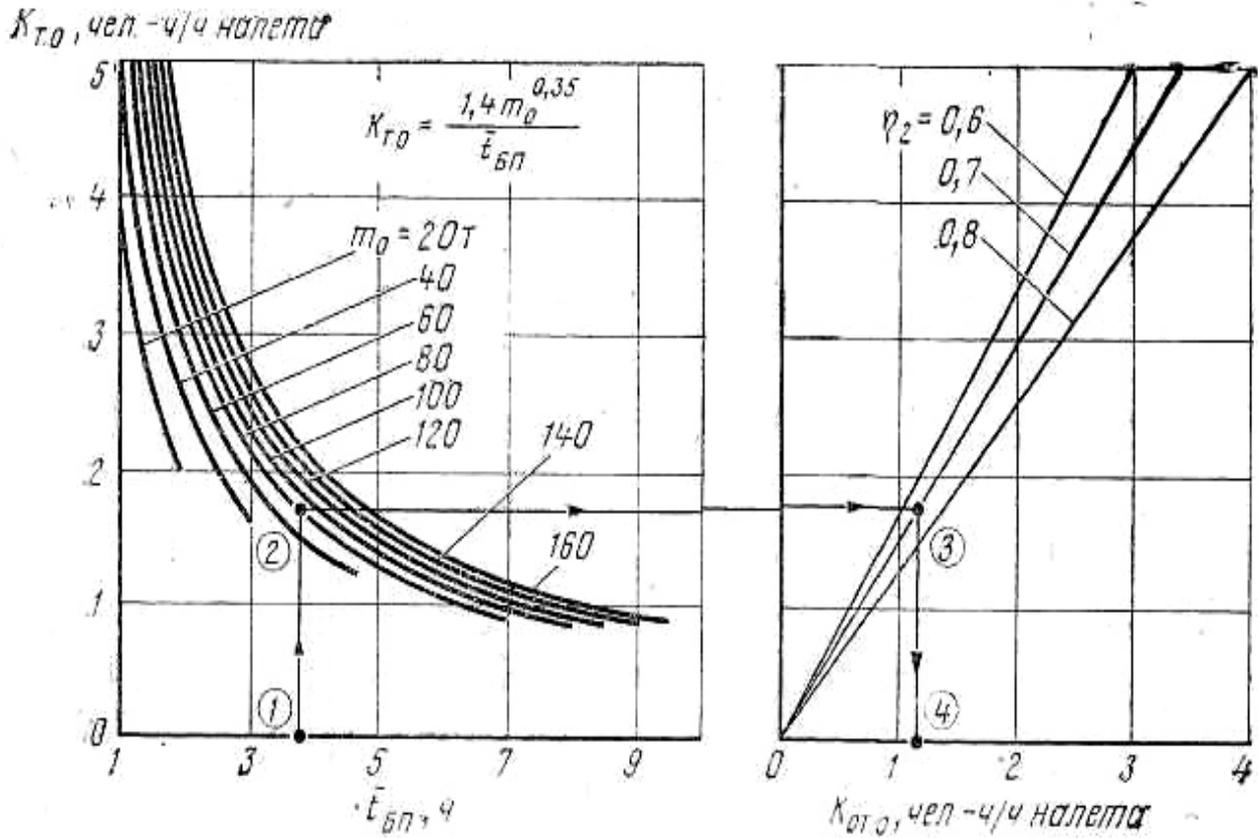


Рис. 6. Номограмма для определения требуемых значений $K_{от.о}$

2.4 Оценка уровня эксплуатационной технологичности ЛА

Количественная оценка уровня ЭТ представляет собой заключительный этап анализа и производится на стадиях создания и эксплуатации ЛА.

Полученные в подразделах 2.2 и 2.3 фактические и нормативные значения показателей K_{OP} и K_{OT} представляются в виде итоговой таблицы 2.3.

Таблица 2.3

Фактические и нормативные значения показателей K_{OP} и K_{OT}

оказатель	Значения показателей		Относительная характеристика λ_i
	фактическое	нормативное	
Удельная суммарная оперативная продолжительность ТОиР, K_{OP} ч./ч.налета			
Удельная суммарная оперативная трудоемкость ТОиР, K_{OT} чел.ч./ч.налета			

Оценка уровня ЭТ ЛА по этим показателям выполняется по каждому показателю отдельно. При этом под уровнем ЭТ в данном случае понимается относительная характеристика λ_i , основанная на сравнении фактических и нормативных значений показателей, приведенных в табл. 2.3.

$$\gamma_{OP} = \frac{K_{OP}^H}{K_{OP}^Ф}; \quad \gamma_{OT} = \frac{K_{OT}^H}{K_{OT}^Ф}. \quad (2.14)$$

В случае существенных (более 10%) отклонений фактических значений показателей от нормативных необходимо предложить рекомендации по улучшению ЭТ ЛА, в частности, по улучшению доступности к объектам ТО; легкосъемности комплектующих изделий функциональных систем; контролепригодности.

Коэффициент доступности к объекту ТО

$$K_d = 1 - \frac{T_{доп}}{T_{осн} + T_{доп}}$$

где, $T_{доп}$ средняя трудоемкость дополнительных работ, чел-час; $T_{осн}$ средняя трудоемкость основных работ, чел-час;

К дополнительным работам относятся снятие и установка люков, панелей, капотов, демонтаж (монтаж) рядом установленного оборудования и др.

Литература

1. Смирнов Н.Н., Чинючин Ю.М. Основы теории технической эксплуатации летательных аппаратов. Учебник. – М.: МГТУ ГА, 2015.
2. Смирнов Н.Н., Чинючин Ю.М. Эксплуатационная технологичность летательных аппаратов. – М.: Транспорт, 1994.
3. Авиационный стандарт ОСТ 1 02785-2009. Эксплуатационно-технические характеристики. (Взамен «Общие технические требования к эксплуатационно-техническим характеристикам ЛА и вертолетов гражданской авиации. – М.: МАП – МГА, 1990»).
4. Далецкий С.В. Формирование эксплуатационно-технических характеристик воздушных судов гражданской авиации. – М.: Воздушный транспорт, 2005.
5. ГОСТ Р 56079-2014 Безопасность полета, надежность, контролепригодность, эксплуатационная и ремонтная технологичность М.: Стандартиформ, 2019 12 стр.
6. ГОСТ 21623-76 Система технического обслуживания и ремонта техники. Показатели для оценки ремонтпригодности. Термины и определения. М.: Стандартиформ, 2006 14 стр.
7. ГОСТР 56080 – 2014 Изделия авиационной техники Комплексные программы обеспечения безопасности полета, надежности, контролепригодности, эксплуатационной и ремонтной технологичности Общие требования М.: Стандартиформ, 2019 27 стр.
8. И. М. Колганов, П. В. Дубровский, А. Н. Архипов Технологичность авиационных конструкций, пути повышения Часть 1 Учебное пособие /. – Ульяновск: УлГТУ, 2003. – 148 с.
9. Doc 9760. Руководство по летной годности ИКАО Издание третье — 2014
10. ГОСТ 18322-201 Система технического обслуживания и ремонта техники Термины и определения М.: Стандартиформ, 2017

3. Задание для самостоятельной проработки на практическом занятии

Для выполнения практического занятия студенты изучают методические указания (п.2 Пособия), получают от преподавателя варианты задания (табл.3.1) и решают задачи определения обобщенных показателей ЭТ ВС и оценки ее уровня.

Таблица 3.1

Варианты заданий		
№ задания	Тип ВС	Вариант
1.	SSJ 100	1
2.	SSJ 100	2
3.	SSJ 100	3
4.	SSJ 100	4
5.	В-737	1
6.	В-737	2
7.	В-737	3
8.	В-737	4
9.	А-320	1
10.	А-320	2
11.	А-320	3
12.	А-320	4
13.	Ту-214	1
14.	Ту-214	2
15.	Ту-214	3
16.	Ту-214	4
17.	Ил-96	1
18.	Ил-96	2
19.	Ил-96	3
20.	Ил-96	4
21.	Ми-171А2	1
22.	Ми-171А2	2
23.	Ми-171А2	3
24.	Ми-171А2	4

В соответствии с полученным вариантом задания и с использованием исходных данных, приведенных в Приложениях, студенту требуется: рассчитать фактические значения обобщенных показателей ЭТ; определить нормативные значения обобщенных показателей ЭТ; оценить уровень ЭТ ВС по рассматриваемым показателям; сформулировать рекомендации по улучшению ЭТ ВС.

4. Отчетность по практическому занятию

После выполнения практического занятия студент предъявляет преподавателю отчет по форме, приведенной в Приложении Д, который включает:

- формулировку задачи и исходные данные по заданному варианту;
- расчет фактических значений обобщенных показателей ЭТ;
- расчет нормативных значений обобщенных показателей ЭТ;
- оценку уровня ЭТ и рекомендации по ее улучшению.

Приложение А

Исходные данные для определения обобщенных показателей ЭТ

Тип ЛА	Тип двигателя	Масса конструкции сам-та m_0 , кг	Ресурс сам-та ТРЕС.С часы	Ресурс до ремонта двиг. ТРЕС.ДВ часы	Действующая периодичность ТО, часы				
					τ_A ($\tau_{\Phi 1}$)	τ_B ($\tau_{\Phi 2}$)	τ_C ($\tau_{\Phi 3}$)	τ_D ($\tau_{КВР}$)	τ_W ($\tau_{\Phi Б}$) сутки
SSJ 100	Sam146 (СМ 146)	24 250	60000	8000	375	750	7500	30000	7
В-737	CFM56-3В-1	36440	80000	20000	250	750	4000	20000	7
А-320	CFM56-5А	40000	80000	20000	250	750	7500	24000	7
Ту-214	ПС-90А	62400	45000	8000	600	1800	3000	11000	25 (150 ч.)
Ил-96	ПС-90А1	114500	60000	8000	500	1500	3000	12000	15
Ми-171А2	ВК-2500ПС-03	6800	12000	3000	150	300	600	2000	15 (75 ч.)

Приложение Б

Данные об оперативной продолжительности ТОиР

Тип ЛА	Оперативная продолжительность ТОиР, часы							Коэф. несовпадения зам. дв. с период. формами, β
	t_{TE} ($t_{\Phi A}$)	t_W ($t_{\Phi Б}$)	t_A ($t_{\Phi 1}$)	t_B ($t_{\Phi 2}$)	t_C ($t_{\Phi 3}$)	t_D ($t_{КВР}$)	$t_{ЗАМ. ДВ}$	
SSJ 100	0,5	3,0	7,0	48	92	202	18,6	0,4
В-737	0,6	3,5	4,5	16	48	257	16,5	0,4
А-320	0,5	3,0	5,0	30	78	245	18,0	0,35
Ту-214	1,5	9,0	32	46	86	750	17,3	0,35
Ил-96	2,3	16	44	106	180	860	25	0,45
Ми-171А2	0,4	3,2	16	28	48	290	12,5	0,3

Приложение В

Данные об оперативной трудоемкости ТОиР

Тип ЛА	Оперативная трудоемкость ТОиР, чел.-ч							ТРЕМ.ДВ
	T_{TE} (ТА)	T_W (ТБ)	T_A (ТФ1)	T_B (ТФ2)	T_C (ТФ3)	T_D (ТКВР)	$T_{ЗАМ. ДВ.}$	
SSJ 100	6,28	34	50,2	256	828	9000	62	3600
В-737	8,2	36	60	240	1960	12000	54	3500
А-320	8,4	38	110	210	1600	13000	51	3500
Ту-214	6,5	38	420	580	810	11000	58	2500
Ил-96	14	39	210	980	2700	14000	56	3100
Ми-171А2	2,23	22,1	124,4	150,2	321,8	6000	86	850

Приложение С

Исходные данные о $T_{ГСС}$, $t_{БП}$, $K_{ДС}$, $K_{СЕЗ}$, η_1 , η_2

Тип ЛА	Вариант	$T_{ГСС}$	$t_{БП}$	$K_{ДС}$	$K_{СЕЗ}$	η_1	η_2
SSJ 100	1	2000	2,0	0,05	1,5	0,65	0,75
	2	2100	2,1	0,04	1,4	0,64	0,72
	3	2200	2,1	0,04	1,3	0,65	0,71
	4	2300	2,2	0,03	1,2	0,66	0,72
В-737	1	2500	2,1	0,05	1,5	0,65	0,75
	2	2600	2,2	0,05	1,4	0,65	0,75
	3	2700	2,3	0,04	1,3	0,64	0,72
	4	2800	2,4	0,04	1,2	0,65	0,71
А-320	1	2500	2,1	0,05	1,5	0,66	0,72
	2	2600	2,2	0,05	1,4	0,65	0,75
	3	2700	2,3	0,04	1,3	0,65	0,75
	4	2800	2,4	0,04	1,2	0,64	0,72
Ту-214	1	2100	2,3	0,035	1,5	0,65	0,71
	2	2200	2,3	0,04	1,4	0,66	0,72
	3	2300	2,4	0,05	1,3	0,65	0,75
	4	2400	2,4	0,04	1,2	0,65	0,75
Ил-96	1	2600	3,0	0,04	1,5	0,64	0,72
	2	2700	3,1	0,03	1,4	0,65	0,71
	3	2900	3,2	0,04	1,3	0,66	0,72
	4	3000	3,3	0,05	1,2	0,65	0,75
Ми-171А2	1	800	1,6	0,03	1,5	0,64	0,72
	2	900	1,7	0,04	1,4	0,65	0,71
	3	1000	1,8	0,03	1,3	0,66	0,72
	4	1100	1,9	0,04	1,2	0,65	0,75

Кафедра ТЭ ЛА и АД

Дисциплина «Основы теории технической эксплуатации ЛА»

О Т Ч Е Т

о выполнении работы по практическому занятию на тему
**«Определение обобщенных показателей и оценка уровня
 эксплуатационной технологичности ЛА»**

Студент _____
 Группа _____

Отчет принял _____
 « __ » _____ 201_ г.

1. Цель практического занятия:

- 1) закрепление знаний по теме лекционных занятий «Эксплуатационная технологичность ЛА»;
- 2) приобретение навыков анализа эксплуатационной технологичности конкретного типа ЛА, определения фактических и нормативных значений показателей эксплуатационной технологичности и выполнения оценки ее уровня.

Постановка задачи:

Для заданного типа ЛА определить фактические и нормативные значения показателей:

- $K_{оп}$ - удельной суммарной оперативной продолжительности ТО и Р;
- $K_{от}$ - удельной суммарной оперативной трудоемкости ТО и Р.

2. Исходные данные для задания № __ вариант № __

Тип ЛА	Тип двигателя	m_0	$T_{РЕС.С}$	$T_{РЕС.ДВ}$	τ_A ($\tau_{\Phi 1}$)	τ_B ($\tau_{\Phi 2}$)	τ_C ($\tau_{\Phi 3}$)	τ_D ($T_{КВР}$)	τ_W ($\tau_{\Phi Б}$) сутки

продолжение

t_{TE} ($t_{\Phi A}$)	t_W ($t_{\Phi Б}$)	t_A ($t_{\Phi 1}$)	t_B ($t_{\Phi 2}$)	t_C ($t_{\Phi 3}$)	t_D ($t_{КВР}$)	$t_{ЗАМ. ДВ}$	β

продолжение

T_{TE} (T_A)	T_W (T_B)	T_A ($T_{\Phi 1}$)	T_B ($T_{\Phi 2}$)	T_C ($T_{\Phi 3}$)	T_D ($T_{КВР}$)	$T_{ЗАМ. ДВ}$	$T_{РЕМ ДВ}$

продолжение

$T_{ГСС}$	$t_{БП}$	$K_{ДС}$	$K_{СЕЗ}$	η_1	η_2

3. Расчет фактического значения обобщенного показателя $K_{ОП}$

Показатель «удельная суммарная оперативная продолжительность ТО и Р» определяется из выражения:

$$K_{ОП} = \frac{t_{ОП} + t_{П} + t_{КВР}}{T_{РЕС.С}} + \frac{t_{ЗАМ.ДВ} \cdot \beta}{T_{РЕС.ДВ} \cdot (1 - K_{ДС})};$$

$$t_{ОП} = t_{ТЕ} \cdot n_{ТЕ} + t_{W} \cdot n_{W} = \quad t_{П} = t_{А} \cdot n_{А} + t_{В} \cdot n_{В} + t_{С} \cdot n_{С} = \quad t_{КВР} = t_{КВР} \cdot n_{КВР} =$$

$$n_{ТЕ} = \frac{1,1 \cdot T_{РЕС.С}}{t_{БП}} = \quad n_{W} = \frac{365 \cdot T_{РЕС.С}}{\tau_{W} \cdot T_{ГСС}} - n_{П} =$$

$$n_{П} = n_{А} + n_{В} + n_{С} + n_{КВР} =$$

$$n_{КВР} = \frac{T_{РЕС.С}}{\tau_{КВР}} =$$

$$n_{С} = \frac{T_{РЕС.С}}{\tau_{С}} - n_{КВР} =$$

$$n_{В} = \frac{T_{РЕС.С}}{\tau_{В}} - (n_{КВР} + n_{С}) =$$

$$n_{А} = \frac{T_{РЕС.С}}{\tau_{А}} - (n_{КВР} + n_{С} + n_{В}) =$$

$$K_{ОП} = \frac{t_{ОП} + t_{П} + t_{КВР}}{T_{РЕС.С}} + \frac{t_{ЗАМ.ДВ} \cdot \beta}{T_{РЕС.ДВ} \cdot (1 - K_{ДС})}; =$$

Вывод: удельная суммарная оперативная продолжительность ТО и Р для ЛА _____ равна приблизительно около _____ час на 1 час. налета.

4. Расчет фактического значения обобщенного показателя $K_{ОТ}$

Показатель «удельная суммарная оперативная трудоемкость ТО и Р» определяется из выражения:

$$K_{ОТ} = \frac{T_{ОП} + T_{П} + T_{КВР}}{T_{РЕС.С}} + \frac{(T_{ЗАМ.ДВ} + T_{РЕМ.ДВ}) \cdot n_{ДВ}}{T_{РЕС.ДЕ} \cdot (1 - K_{ДС})} + \sum_{i=1}^{N_{И}} \frac{T_{РЕМ.И_i} \cdot n_{И_i}}{T_{РЕС.И_i} \cdot (1 - \alpha_{И_i})} (*)$$

$$T_{ОП} = T_{ТЕ} \cdot n_{ТЕ} + T_{W} \cdot n_{W} =$$

$$T_{П} = T_{А} \cdot n_{А} + T_{В} \cdot n_{В} + T_{С} \cdot n_{С} =$$

$$T_{КВР} = T_{КВР} \cdot n_{КВР} =$$

$$\frac{T_{\text{ОП}} + T_{\text{П}} + T_{\text{КВР}}}{T_{\text{РЕС.С}}} = \text{-----} =$$

$$\frac{(T_{\text{ЗАМ.ДВ}} + T_{\text{РЕМ.ДВ}}) \cdot n_{\text{Д}}}{T_{\text{РЕС.ДЕ}} \cdot (1 - K_{\text{ДС}})} = \text{-----} =$$

Третий член выражения (*) из-за отсутствия полных и достоверных исходных данных можно не рассчитывать, а принять его равным 10% от удельной оперативной трудоемкости ТО и Р ЛА (первого члена выражения (*)).

$$K^{\Phi}_{\text{ОТ}} = \quad + \quad + \quad + \quad = \quad \text{чел.ч/час}$$

Вывод: удельная суммарная оперативная трудоемкость ТО и Р для ЛА _____ равна _____ человеко-часов на 1 час. налета.

5. Расчет нормативного значения обобщенного показателя $K^{\text{H}}_{\text{ОП}}$

Расчет ведется с использованием номограмм.

$$K_{\text{III}} = \frac{8760 - T_{\text{ГСС}}}{3,75 \cdot T_{\text{ГСС}}} = \text{-----} =$$

$$\text{Путь: } T_{\text{ГСС}} \rightarrow K_{\text{ПП}} \rightarrow \eta_1 \rightarrow K^{\text{H}}_{\text{ОП.П}} = \quad .$$

$$\text{Путь: } \rightarrow T_{\text{ГСС}} \rightarrow K_{\text{Сез}} \rightarrow K_{\text{ПП}} \rightarrow \eta_1 \quad K^{\text{H}}_{\text{ОП.О}} = \quad .$$

$$K^{\text{H}}_{\text{ОП}} = K^{\text{H}}_{\text{ОП.П}} + K^{\text{H}}_{\text{ОП.О}} = \quad + \quad = \quad \text{час./час. налета}$$

6. Расчет нормативного значения обобщенного показателя $K^{\text{H}}_{\text{ОТ}}$

Расчет ведется с использованием номограмм.

$$K_{\text{ТП}} = 0,6 \cdot m_0^{0,65} =$$

$$\text{Путь: } m_0 \rightarrow K_{\text{ТП}} \rightarrow \eta_2 \rightarrow K^{\text{H}}_{\text{ОТ.П}} = \quad \text{чел.ч/час. налета}$$

$$K_{\text{Т.О}} = \frac{1,4 \cdot m_0^{0,35}}{t_{\text{БП}}} =$$

$$\text{Путь: } m_0 \rightarrow K_{\text{Т.О}} \rightarrow \eta_2 \rightarrow K^{\text{H}}_{\text{ОТ.О}} = \quad \text{чел.ч/час.налета}$$

$$K^{\text{H}}_{\text{ОТ}} = K^{\text{H}}_{\text{ОТ.П}} + K^{\text{H}}_{\text{ОТ.О}} = \quad + \quad = \quad \text{чел.ч/час.налета}$$

7. Оценка уровня эксплуатационной технологичности

Фактические и нормативные значения показателей представлены в итоговой таблице.

Показатель	Значения показателей		γ_i
	фактические	нормативные	
Уд. суммарная оперативная продолжительность ТО и Р, $K_{оп}$ ч/ч.нал			
Уд. суммарная оперативная трудоемкость ТО и Р, $K_{от}$ чел.-ч/ч.нал			

Оценка выполняется по каждому показателю отдельно путем сравнения фактических и нормативных значений

$$\gamma_{оп} = \frac{K_{оп}^H}{K_{оп}^Ф} = \text{-----} =$$

$$\gamma_{от} = \frac{K_{от}^H}{K_{от}^Ф} = \text{-----} =$$

8. Выводы и рекомендации по улучшению эксплуатационной технологичности

Работа выполнена « ___ » _____ 202_г.

Подпись студента _____