

УДК 629.7.08

К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ БОРТОВЫХ СИСТЕМ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Н.В. ЧЕКРЫЖЕВ, А.Н. КОПТЕВ

Статья посвящена вопросу оценки эффективности процедур технического обслуживания (ТО) бортового оборудования воздушных судов (ВС) на основе предлагаемой «идеальной» модели, наделенной множеством целевых параметров, критериями и оценочной функцией.

Ключевые слова: технологический процесс технического обслуживания, эффективность технологического процесса, показатель качества выполнения операций технического обслуживания.

Введение

Безопасность полетов воздушных судов всегда была решающим свойством авиационно-транспортной системы (АТС), определяющим способность выполнять полёты без угрозы для жизни и здоровья людей. Безопасность полетов зависит от летной годности (ЛГ) ВС, общий механизм обеспечения и поддержания которой может быть представлен в виде «пирамиды» (рис. 1) [1], откуда видно, что нормы ЛГ формируются при проектировании (BD) и изготовлении воздушных судов (BC), а поддерживаются в период его эксплуатации (CD).

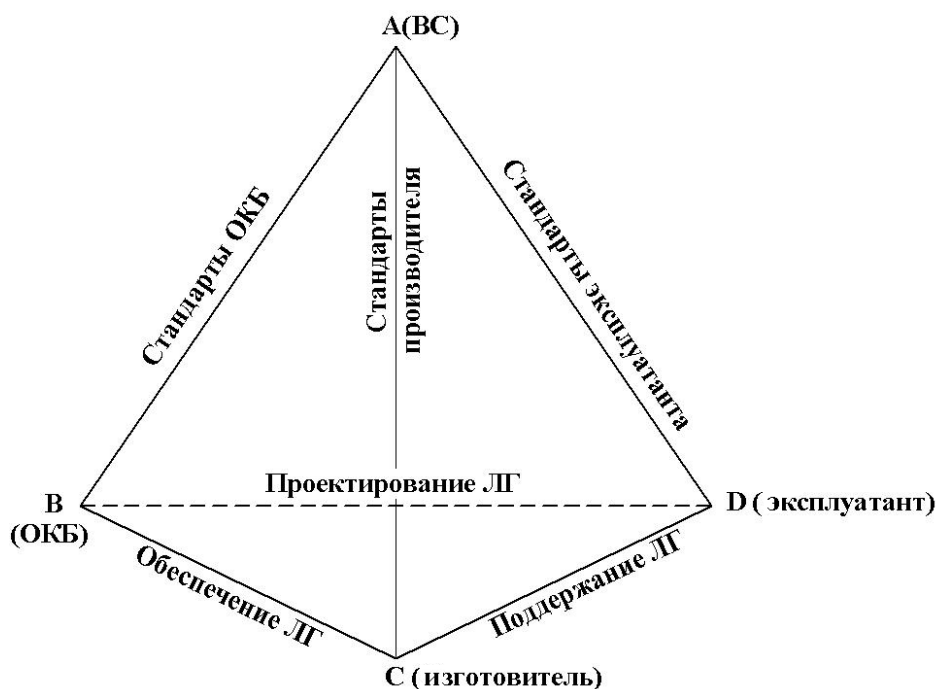


Рис. 1. Модель (пирамида) летной годности ВС: вершина пирамиды – экземпляр ВС (А); основание пирамиды: разработчик - ОКБ (В), изготовитель (С), эксплуатант (D)

Как показывает анализ эксплуатации ВС многих авиакомпаний, структура жизненного цикла ВС имеет вид (рис. 2) [2], причём из 65% времени эксплуатационного периода 40 – 60 % приходится на простои, связанные с техническим обслуживанием (ТО) [3].

В условиях возрастающего объёма перевозок в России в последние годы усложняется выполнение основного требования АТС – обеспечение экономической эффективности эксплуатации ВС, которая может быть достигнута за счёт современного научно-технического обеспечения процесса ТО, его организационных факторов и учёта человеческого фактора [4], определяющего экономические показатели технического обслуживания и ремонта всех видов авиационной техники.

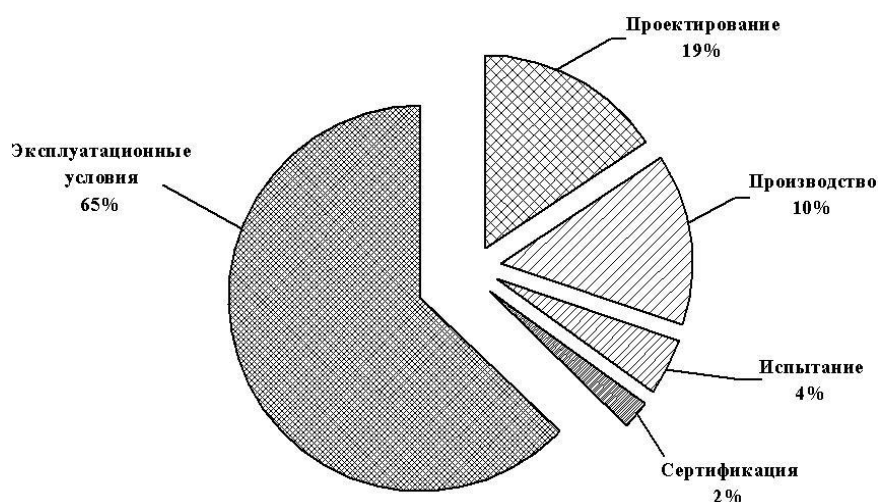


Рис. 2. Диаграмма структуры жизненного цикла ВС

В связи с этим основной задачей авиационных предприятий, эксплуатирующих авиационную технику (АТ), является повышение эффективности процесса эксплуатации ВС, связанное с увеличением налёта его в течение суток и, как следствие, с сокращением затрат времени, труда и средств ТО на земле, и увеличение суммарного налёта ВС авиакомпаний.

Решение данного типа задач требует исследования выполнения процедур технологического процесса (ТП) технического обслуживания и ремонта (ТОиР), представляющих собой целеустремлённую техническую систему (ЦУТС), состоящую из множества взаимосвязанных материальных объектов (ВС, средств наземного обеспечения ТОиР и обслуживающих их авиационных специалистов), непосредственно участвующих в проведении технологических операций ТО функциональных систем (ФС) и объединённых общей целью повышения безопасности полёта ВС [5].

При этом решаемые задачи применительно к изделиям ТО, т.е. в качестве объектов управления, как правило, выступают: авиационная техника (ВС), основные изделия, бортовое оборудование, наземное оборудование и наземные средства контроля технического состояния. В целом процесс ТОиР включает: плановое ТО (выполнение работ согласно эксплуатационной документации, учёт и контроль данных выполненных работ, анализ состояния систем ВС и действий персонала), внеплановое ТО, базирующееся на данных планового ТО, но дополнительно включающее корректировку ТП ТО – введение данных об отказе или повреждении в систему анализа надёжности и об установленных агрегатах (блоках взамен отказавшего). Фактор случайности при внеплановом ТО существенно влияет на эксплуатационные показатели ТОиР и требуемой регулярности полётов. Применяемый аппарат теории массового обслуживания лишь частично решает задачу этого фактора.

В данной статье авторы предлагают новый подход к реализации структуры ТОиР на основе теории образов [6], в рамках которой технологические процессы формируются на его представлении как изображения, построенного из неприменимых элементов (образующих - действий) по определённым правилам.

Методика оценки

Рассматриваемая система ТОиР АТ как объект исследования достаточно сложна и требует для своего описания большого числа различных признаков. Поэтому исследуемый объект как образ удобно разделить на части, т.е. сегментировать на более простые подобразы и представить в виде иерархической структуры, позволяющей описывать каждый подобраз более высокого уровня (ТП ТО планера, гидравлической, топливной системы и т.д.) подобразом более низкого (процедура ТО насоса топливной системы, процедура ТО фильтра гидравлической системы, процедура ТО клапана системы кондиционирования и т.п.) и т.д. и соединённых между собой в соответствии с требованиями конструкторской и эксплуатационной документации ВС.

Этот процесс продолжаем до тех пор, пока не будет получен простейший подобраз, состоящий из производных элементов, например, операция контроля масла в баке системы, операция осмотра клапана, операция контроля выхода штока цилиндра и т.д., характеризующихся определённым набором признаков (уровень масла в баке, отсутствие подтеканий масла, величина выхода штока цилиндра, величина зазора и т.д.) (рис. 3).

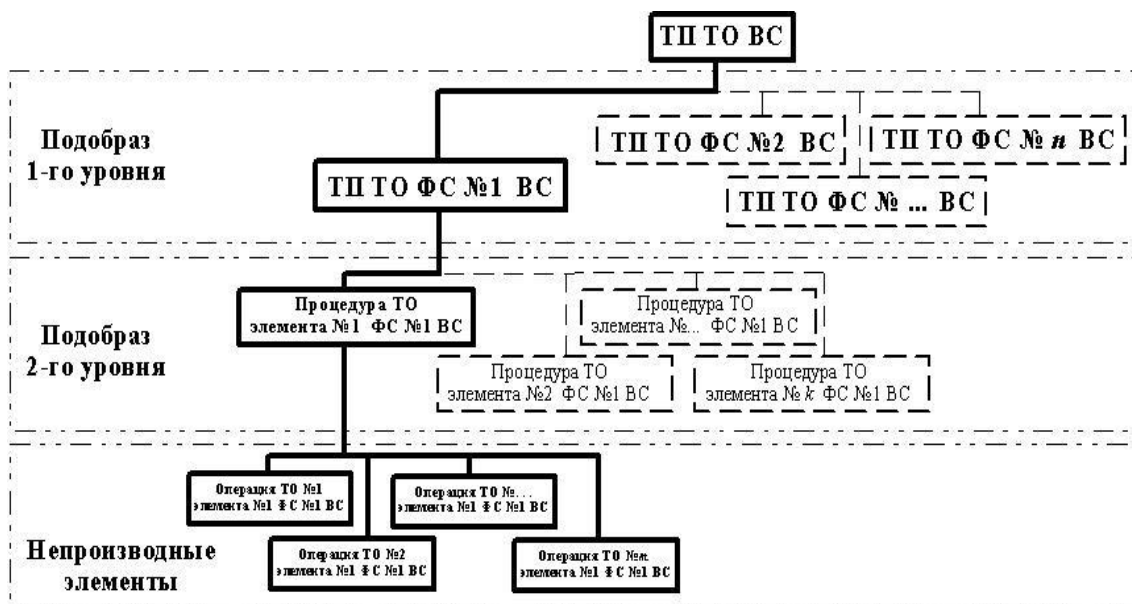


Рис. 3. Иерархическая структура описания образа технологического процесса технического обслуживания функциональных систем ВС

В рамках такого структурного подхода [7] считаем, что процесс ТО строится из соединённых по определённым правилам операций ТО конкретных узлов, агрегатов и систем ВС.

Работа по ТО или ремонту изделия АТ представляет собой технологически завершённый комплекс операций ТО или ремонта, выполняемый на изделии АТ (внешний осмотр агрегата, определение уровня рабочей жидкости в баке, контроль технического состояния узлов и систем, заправка бака маслом и т.п.) [8].

Под «операцией» ТО будем понимать совокупность ряда относительно законченных действий или управлений, объединённых общей целью решения конкретной задачи [9] - достижения безопасности полётов ВС, как основы целенаправленного процесса функционирования системы ТОиР (ЦНПФС). При этом цель исследования – выявление факторов, обуславливающих основные свойства ЦНПФС, анализ влияния этих факторов на качество ЦНПФС и последующее управление этим процессом.

В общем случае эффективность операции ТО характеризуется операционными свойствами, являющимися косвенными характеристиками его качества.

Операционные свойства разобьём на две группы:

- целевые (функциональные), характеризующиеся оперативностью, т.е. временем, потребным для достижения цели операции;
- обеспечивающие (эксплуатационно-технические), связанные с расходом операционных ресурсов всех видов (материальных, энергетических, временных, людских и т.п.), потребных для проведения операции и получения целевого эффекта.

Согласно Единому регламенту технической эксплуатации (ЕРТЭ), в общей постановке каждая плановая работа $ТО R_i$, включающая основное время $t_{осн.}$, вспомогательное $t_{всп.}$, подготовительно-заключительное $t_{зак.}$, должна быть выполнена за определённое время T_{Ri} , т.е. задача исследования операции ЦНПФС в этом случае состоит в оценивании (измерении) и анализе показателей эффективности операции с заданными параметрами.

Как показывает статистика, большая часть отказов и повреждений выявляется при оперативном техническом обслуживании (ОТО) ВС, устранение которых требует корректировки выполнения процедур плановых операций системы ТОиР в виде выполнения дополнительных работ (операций) по устранению обнаруженного повреждения и восстановлению заданного уровня работоспособности бортовой системы (БС) ВС.

Следовательно, суммарное время T_{Ri} выполнения исходной работы R_i изменится на величину $t_{доп.}$ выполнения работ по устранению обнаруженного повреждения, но при этом не должно произойти сбоя в эксплуатации ВС в требуемой регулярности полётов.

Таким образом, эффективность выполнения операции ТО будет определяться соотношением затрат при выполнении плановых и дополнительных работ.

Решения класса задач, связанные с оценкой эффективности операций ТП системы ТОиР ВС с целью управления их качеством базируются на теории квалиметрии [10].

Для количественного оценивания и анализа качества операции ТО из всех возможных её свойств [11], удовлетворяющих требованиям регулярности полётов и снижения продолжительности ТО, выделим показатели, связанные с трудоёмкостью и продолжительностью выполнения операции процедуры ТО, включающие абсолютные, комплексные, относительные и интегральные [12].

Каждое из простых свойств [13] операции, описанное количественно с помощью некоторой переменной, назовём абсолютным единичным показателем качества выполнения операции [5]. К числу абсолютных показателей качества отнесём трудоёмкость выполнения плановой операции $T_{пл.}$ (чел.-ч.), продолжительность выполнения i -й плановой работы $t_{пл.}$ (ч.), продолжительность подготовки к использованию средств наземного обслуживания (СНО) $t_{сно}$ (ч.), время устранения повреждения и т.д.

Так как эффективность ТО определяется множеством временных показателей выполнения операции (трудозатраты (чел.-ч.), время выполнения операции, время задержки выполнения операции, время выполнения дополнительных работ и т.д.), поэтому качество операции можно охарактеризовать только в комплексе этих свойств.

Комплексный показатель качества операции характеризует несколько её свойств и представляет собой суть взаимосвязанных его единичных показателей качества.

Так например, продолжительность работ по поиску и устранению причин отказов и повреждений, выявленных в полёте или при ОТО (называемых согласно ЕРТЭ – дополнительными) характеризуем комплексным показателем - среднее время восстановления t_b , определяемое как сумму слагаемых: время поиска отказа и повреждения t_n , время её устранения t_y , время регулировки после восстановления t_p

$$t_b = t_n + t_y + t_p.$$

Относительный показатель качества операции K определяем в виде отношения, характеризующего долю основной (плановой) $T_{пл.}$ трудоёмкости в общей трудоёмкости всей операции

$$K = \frac{T_{пл.}}{T_{пл.} + T_{доп.}},$$

где $T_{пл.}$ - трудоёмкость выполнения плановой операции согласно технологических указаний выполнения регламентных работ;

$T_{доп.}$ - трудоёмкость выполнения дополнительных работ по устранению повреждения БС ВС.

Интегральный показатель качества объекта - показатель качества объекта, являющийся отношением суммарного полезного эффекта от эксплуатации или потребления объекта к суммарным затратам на его создание и эксплуатацию или потребление.

Показатель эффективности результата использования операции ТО – количественная характеристика степени достижения полезных результатов при использовании операции в конкретной ситуации с учетом эксплуатационных затрат [14].

Суммарный полезный эффект выполненной операции в виде показателя качества E определяем в целом для исследуемой процедуры ТП системы ТОиР.

Таким образом, под интегральным показателем качества операции контроля состояния БС ВС в общем случае будем понимать отношение комплексного показателя качества операции к величине суммарных затрат

$$E = \frac{A}{Z},$$

где E - показатель качества технологической операции ТО ВС;

A - комплексный показатель качества технологической операции ТО;

Z - операционное время выполнения дополнительных работ операции

$$Z = t_{пл.} + t_{обесп.},$$

где $t_{пл.}$ - продолжительность выполнения плановой операции согласно ТУ выполнения регламентных работ;

$t_{обесп.}$ - время выполнения операции восстановления работоспособности, включающее время доставки нового изделия со склада, время ожидания прибытия СНО, время его подготовки к применению и т.д.

Усложнение конструкции современного ВС и усиление требований в отношении эффективности их использования влечёт за собой обеспечение высокого уровня эксплуатационной технологичности (ЭТ) конструкции, характеризующее её приспособленность к проведению всех видов работ по ТО. К этим показателям отнесём k_d - коэффициент доступности; k_L - коэффициент легкосъёмности; k_B - коэффициент взаимозаменяемости [15].

Для удобства в квалиметрии [10; 12] рассматривают качество как некоторую иерархическую совокупность свойств объекта. Таким образом, строя иерархическую структуру свойств объекта, возникает так называемое иерархическое дерево свойств (рис. 4), т.е. свойство i -го уровня определяется соответствующими свойствами $(i + 1)$ – го уровня ($i = 1, 2, 3, \dots, m$), где простые свойства m -го уровня могут подвергаться физическим измерениям.

Как видно из вышесказанного, абсолютные показатели простых свойств технологического процесса ТО имеют различные физические измерения, так, трудоёмкость выполнения операции измеряется в (чел.-ч.), а операционное время, т.е. время, потребное для достижения цели операции – в часах. Так как, одним из основных принципов оценки качества в квалиметрии является приведение различных шкал измерения абсолютных показателей в одну общую шкалу, поэтому (чел.-ч.) преобразуем в часы

$$t = Tn,$$

где t - продолжительность выполнения работы (ч);

T - трудоёмкость выполнения плановой работы (чел.-ч.);

n - количество исполнителей.

Полученный результат в рамках приведённой величины оценивается как правило, критериями и оценочной функцией, в частности: критерием эффективности или совершенства, функцией ценности или качества ТО G , которые обобщенно характеризуют данный ТП ТО по ряду особо выделяемых его внешних Y и внутренних свойств X или параметров функциони-

рования Z . Последние признаются важнейшими по отношению к основной цели создания ТП ТО, поэтому требования к ним представляются невозможным или нецелесообразным формулировать только в виде ограничений.

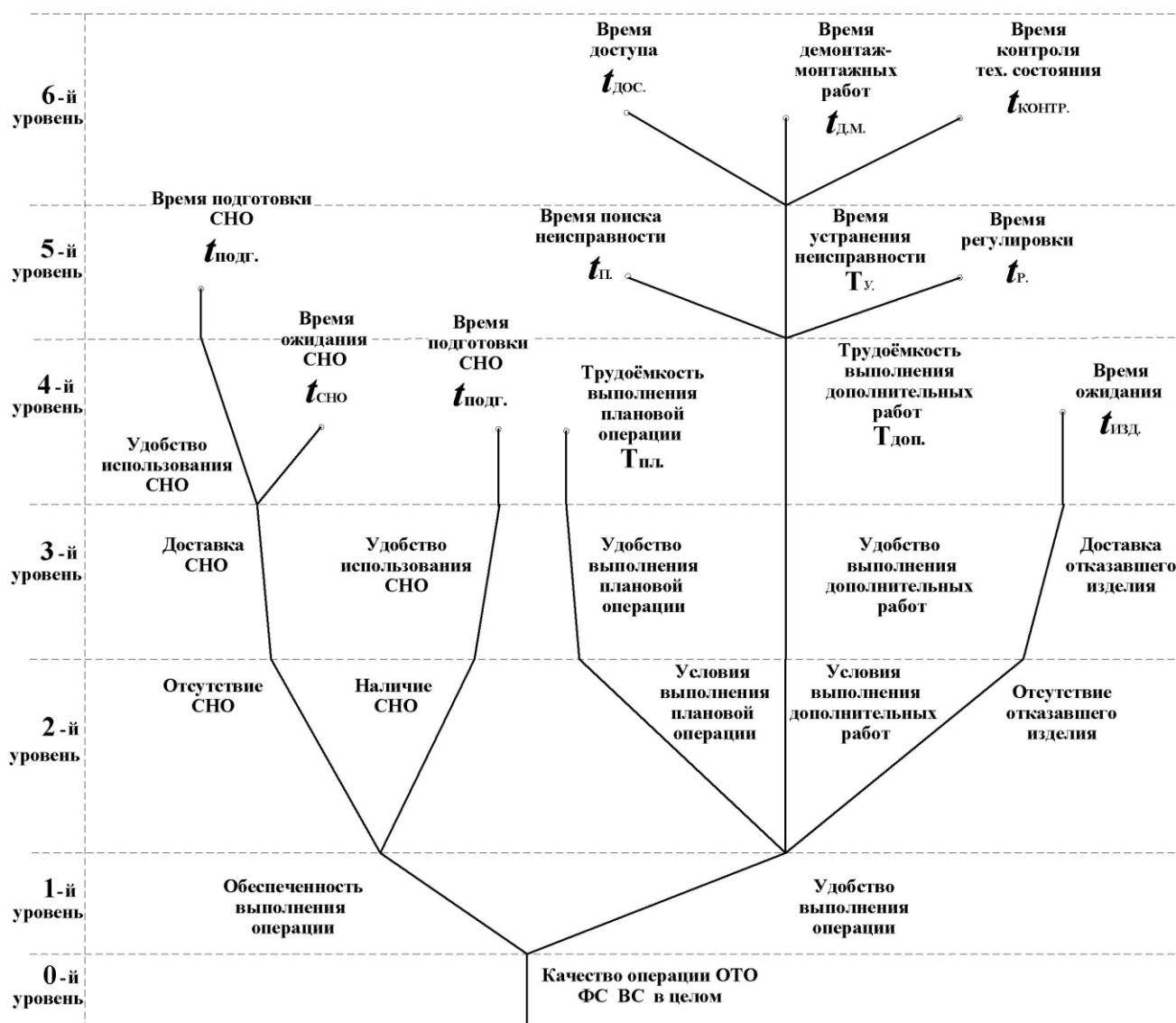


Рис. 4. Иерархическое дерево свойств операции технологического процесса технического обслуживания

В общем случае, как это отмечалось выше,

$$G = Y' \times X' \times Z',$$

где G – критерий совершенства;

Y', X', Z' – свойства конкретной системы, агрегата и т.п.

Эффективность объектов ТО для установившихся условий функционирования, оценивается соотношением их функциональных и внутренних (сущностных) свойств. При этом $G \subseteq Y' \times X'$.

Набор частных целей представляет собой требования к значениям или отношению значений ряда особо выделяемых свойств объектов обслуживания.

Предпочтение должно быть отдано ТП ТО с таким набором значений внешних $G_y \subseteq Y$ и внутренних $G_x \subseteq X$ свойств, реализуемых при $G_z \subseteq Z$

$$G(Gy, Gx, Gz) \geq G(y, x, z).$$

Для всех допустимых $y \in Y, x \in X, z \in Z$,

где Y – внешние свойства системы ТОиР (требования эксплуатационной документации);

X – внутренние свойства системы ТОиР, зависящие от взаимодействия объекта и субъекта;

Z – параметры функционирования системы (параметры контроля и их оценка).

Б. Оценочной функцией M , соотносящей внешние y и внутренние x свойства объекта ТО при $z \in Z$ с затратами (ресурсами) Q , необходимых для реализации процесса синтеза.

В общем случае оценочная функция $M : (Y \times X \times Z) \rightarrow Q$ характеризует затраты, определяемые в виде различных ресурсов (временных, трудовых, материальных и т.п.) на создание ТП ТО с данным набором свойств.

Предпочтение должно быть отдано ТП ТО с таким набором внешних $Gy \in Y$ и внутренних $Gx \in X$ свойств, реализуемых при $Gz \in Z$, при которых $\hat{I}(Gy, Gx, Gz) \geq M(y, x, z)$ для всех допустимых $y \in Y, x \in X, z \in Z$,

где M – оценочная функция (соотношение внешних y и x свойств при определённой величине затрат Q).

Таким образом, всё многообразие глобальных целевых ориентаций задачи проектирования любых ТП ТО сводится к двум:

1. Максимизировать эффективность создаваемого ТП ТО (допустимые затраты на создание и реализацию ТП ТО задаются в виде ограничений);

2. Минимизировать затраты Q , необходимые для реализации процесса ТО (требования к внешним Y и внутренним X свойствам и условиям функционирования Z ТП ТО задаются в виде ограничений).

ЛИТЕРАТУРА

1. Чинючин Ю.М., Смирнов Н.Н., Кирдюшкин В.С. Проблемы совершенствования системы поддержания летной годности воздушных судов // Научный Вестник МГТУ ГА. 2012. № 178. С. 7–12.
2. Большедворский Г.А., Дадобаев Х.Г. Методологические аспекты поддержания летной годности воздушных судов // Научный Вестник МГТУ ГА. 2013. № 197. С. 31–35.
3. Далецкий С.В., Деркач О.Я., Петров А.Н. Эффективность технической эксплуатации самолетов гражданской авиации. М.: Воздушный транспорт. 2002. 210 с.
4. Doc 9859 – AN/474. Руководство по управлению безопасностью полетов. Монреаль: ИКАО, 2013.
5. Петухов Г.Б. Основы теории эффективности целенаправленных процессов. Методология, методы, модели. М.: Министерство обороны СССР. 1989. 647 с.
6. Гренандер У. Лекции по теории образов. Т. 1. Синтез образов. М.: Мир, 1979. 382 с.
7. Фу К. Структурные методы в распознавании образов. М.: Мир, 1977. 319 с.
8. ГОСТ 53863 – 2010. Система технического обслуживания и ремонта авиационной техники. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2011. 24 с.
9. Кондаков Н.И. Логический словарь-справочник. М.: Наука, 1975. 720 с.
10. Азгальдов Г.Г. Теория и практика оценки качества товаров. М. Экономика, 1982. 256 с.
11. Чинючин Ю.М., Полякова И.Ф. Основы технической эксплуатации и ремонта авиационной техники: учеб. пособие. М.: МГТУ ГА, 2004. 81 с. Ч.1.
12. Азгальдов Г.Г., Райзман Э.П. О квалиметрии; под ред. А.В. Гличёва. М.: Издательство стандартов, 1973. 172 с.
13. Дружинин Г.В. Процессы технического обслуживания автоматизированных систем. М.: Энергия, 1973. 272 с.
14. ГОСТ 15469 – 79. Управление качеством продукции. Основные понятия, термины и определения. Введён 01.07.79. М.: Стандартинформ, 2009. 24 с.
15. Смирнов Н.Н., Мулкиджанов И.К. Эксплуатационная технологичность транспортных самолетов. М.: Транспорт, 1972. 208 с.

TO THE EFFICIENCY ASSESSMENT OF THE MAINTENANCE OF AIRCRAFT ONBOARD SYSTEMS

Chekrizhev N.V., Koptev A.N.

This article considers efficiency assessment of the maintenance of onboard systems of aircraft based on suggested «ideal» model with a set of parameters, criteria and evaluation function.

Keywords: technological process of maintenance, technological process efficiency, quality index for operation maintenance, criterion function.

REFERENCES

1. Chinyuchin Yu.M., Smirnov N.N., Kirdeyushkin V.S. Problemy sovershenstvovaniya sistemy podderzhaniya letnoy godnosti vozdushnykh sudov. *Nauchnyy Vestnik MGTU GA*. 2012. № 178. Pp. 7–12. (In Russian).
2. Bol'shedvorskiy G.A., Dadobaev Kh.G. Metodologicheskie aspekty podderzhaniya letnoy godnosti vozdushnykh sudov. *Nauchnyy Vestnik MGTU GA*. 2013. № 197. Pp. 31–35. (In Russian).
3. Daletskiy S.V., Derkach O.Ya., Petrov A.N. Effektivnost' tekhnicheskoy ekspluatatsii samoletov grazhdanskoj aviatsii. M.: Vozdushnyy transport. 2002. 210 p. (In Russian).
4. Doc. 9859 – AN/474. *Rukovodstvo po upravleniyu bezopasnost'yu poletov*. – Monreal': ICAO. 2013. (In Russian).
5. Petukhov G.B. *Osnovy teorii effektivnosti tselenapravlennykh protsessov. Metodologiya, metody, modeli*. M.: Ministerstvo oborony SSSR. 1989. 647 p. (In Russian).
6. Grenander U. *Leksii po teorii obrazov. Tom 1. Sintez obrazov*. M.: Mir. 1979. 382 p. (In Russian).
7. Fu K. *Strukturnye metody v raspoznavanii obrazov*. M.: Mir. 1977. 319 p. (In Russian).
8. GOST 53863 – 2010. *Sistema tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta aviatsionnoy tekhniki. Terminy i opredeleniya*. M.: Standartinform. 2011. 24 p. (In Russian).
9. Kondakov N.I. *Logicheskiy slovar'-spravochnik*. M.: Nauka. 1975. 720 p. (In Russian).
10. Azgal'dov, G.G. *Teoriya i praktika otsenki kachestva tovarov*. M. Ekonomika, 1982. 256 p. (In Russian).
11. Chinyuchin Yu.M., Polyakova I.F. *Osnovy tekhnicheskoy ekspluatatsii i remonta aviatsionnoy tekhniki: ucheb. posobie. Ch.1*. M.: MGTU GA. 2004. 81 p. (In Russian).
12. Azgal'dov G.G., Rayzman E.P. *O kvalimetrii*. Pod red. A.V. Glicheva. M.: Izdatel'stvo standartov. 1973. 172 p. (In Russian).
13. Druzhinin G.V. *Protsessy tekhnicheskogo obsluzhivaniya avtomatizirovannykh sistem*. M.: Energiya. 1973. 272 p. (In Russian).
14. GOST 15469 – 79. *Upravlenie kachestvom produktsii. Osnovnye ponyatiya, terminy i opredeleniya. Vveden 01.07.79*. M.: Standartinform. 2009. 24 p. (In Russian).
15. Smirnov N.N., Mulkidzhanov I.K. *Ekspluatatsionnaya tekhnologichnost' transportnykh samoletov*. M.: Transport, 1972. 208 p. (In Russian).

Сведения об авторах

Чекрызжев Николай Викторович, 1956 г.р., окончил КуАИ (1979), кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации авиационной техники СГАУ, автор 13 научных работ, область научных интересов – теория и практика эффективности технического обслуживания и ремонта воздушных судов.

Коптев Анатолий Никитович, 1936 г.р., окончил Томский политехнический институт им. С.М. Кирова (1965), профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой эксплуатации авиационной техники СГАУ, автор более 200 научных работ, область научных интересов – теория и практика эффективности технического обслуживания и ремонта воздушных судов.