**ВВЕДЕНИЕ**

Решение важнейшей проблемы науки и техники - обеспечение эффективности эксплуатации летательных аппаратов (ЛА) на основе интенсификации их использования при опережающем росте конечных результатов по сравнению с ростом затрат - требует постоянных усилий специалистов авиапредприятий по выявлению и рациональному использованию резервов производства.

Важное место в решении этой задачи принадлежит подразделениям, занятым технической эксплуатацией ЛА. Конечными результатами их работы является полное и своевременное обеспечение потребностей авиапредприятий в исправных ЛА, повышение безопасности и регулярности полетов при минимальных затратах времени, труда и средств на техническое обслуживание и ремонт (ТОиР). Снижение этих затрат является важнейшей задачей науки и производства, поскольку они составляют заметную часть эксплуатационных расходов.

По мере увеличения масштаба производства, парка ЛА и усложнения их конструкций наблюдается рост затрат на ТОиР и повышение их удельного веса в эксплуатационных расходах.

Повышение эффективности процессов эксплуатации (ПЭ) ЛА может быть достигнуто двумя путями [6,11,14,21,23]. Первый связан с повышением технического уровня (качества) системы технической эксплуатации ЛА, совершенствованием её элементов, в том числе конструктивно-эксплуатационных свойств ЛА, средств её технической эксплуатации. Второй путь предполагает совершенствование системы управления эффективностью ПЭ ЛА, в том числе формирование эффективных программ их ТОиР, разработку методов текущего планирования и оперативного управления.

Одним из путей обеспечения ориентации производственной деятельности авиапредприятий и организаций по ТОиР на достижение лучших конечных результатов является разработка и внедрение системы управления эффективностью ПЭ ЛА [14].

При разработке отраслевых методических документов по управлению эффективностью ПЭ ЛА следует использовать основные положения, термины и определения стандартов: «Система менеджмента качества» (ГОСТ Р ИСО 9000 – 2008), «Надежность в технике» (ГОСТ 27.002-2009), «Эксплуатация техники» (ГОСТ 25866-83).

**1. ПРЕДМЕТ И ЗАДАЧИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ**

**ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

1.1. Актуальность проблемы обеспечения эффективности процессов эксплуатации летательных аппаратов

Проблема обеспечения эффективности ПЭ ЛА в современных условиях работы отрасли находится в центре внимания авиационной администрации, специалистов научно-исследовательских организаций, предприятий авиационной промышленности и гражданской авиации (ГА). Эти условия характеризуются отсутствием у части авиакомпаний достаточной производственной базы, эксплуатацией «стареющего» парка ВС и ограниченными возможностями его обновления. Обеспечение эффективности ПЭ ЛА включает: обеспечение безопасности и регулярности полетов, интенсивности использования ЛА, экономичности ПЭ ЛА. Основные требования к обеспечению эффективности ПЭ ЛА содержатся в международных стандартах и руководствах ИКАО, в нормативных документах МАК и Российской Федерации.

В «Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года», утвержденной Правительством Российской Федерации 22.11.2008 г. №1734-р, в ряду основных недостатков российского транспорта выделяются низкий технический уровень и неудовлетворительное состояние производственной базы, сохранение тенденции старения основных фондов и их неэффективного использования. Отмечается, что износ основных фондов крупных и средних коммерческих организаций составил на воздушном транспорте 50,3 %. Состояние многих технических средств транспорта подошло к критическому уровню. Значительная их часть эксплуатируется за пределами нормативного срока службы, другие приближаются к этому сроку. Следствием этих недостатков является значительное ухудшение показателей безопасности работы транспорта.

Приоритетной задачей создаваемых в последние годы Центров ТОиР авиационной техники является внедрение ПЭ ЛА, обеспечивающих проведение всех видов ТОиР и доработок, продление ресурсов и сроков службы, сертификацию экземпляра ЛА и техническую поддержку эксплуатации ЛА в авиакомпаниях.

1.2. Содержание и научная основа дисциплины

Гражданская авиация как отрасль народного хозяйства, предназначенная для осуществления воздушных перевозок и другой летной работы, может быть представлена в виде авиационной транспортной системы (АТС). Минимальной структурной единицей ГА, сохраняющей все основные свойства и функции отрасли в целом, является эксплуатационное авиапредприятие (эксплуатант), рассматриваемое во взаимодействии с авиаремонтным предприятием. АТС представляет собой совокупность ЛА, комплекса наземных средств по подготовке и обеспечению полетов, авиационного персонала, занятого эксплуатацией ЛА, программы управления процессами эксплуатации АТ. АТС обладает всеми особенностями, присущими сложным техническим системам: наличием единой цели, управляемостью, взаимосвязью элементов, иерархической структурой.

АТС должна удовлетворять требованиям, которые направлены на выполнение в полном объеме задач, возлагаемых на рассматриваемую систему. К этим требованиям относятся: обеспечение потребности народного хозяйства и населения страны в воздушных перевозках, обеспечение безопасности и регулярности полетов, интенсивности использования и экономической эффективности эксплуатации ЛА.

Совокупность свойств АТС, определяющая ее пригодность удовлетворять потребностям народного хозяйства и населения страны в воздушных перевозках и обеспечивать выполнение перечисленных выше требований, характеризует качество системы. Оно, в свою очередь, определяется совокупностью и сложной взаимосвязью качества ЛА, наземных средств, авиационного персонала и программы управления процессами эксплуатации ЛА.

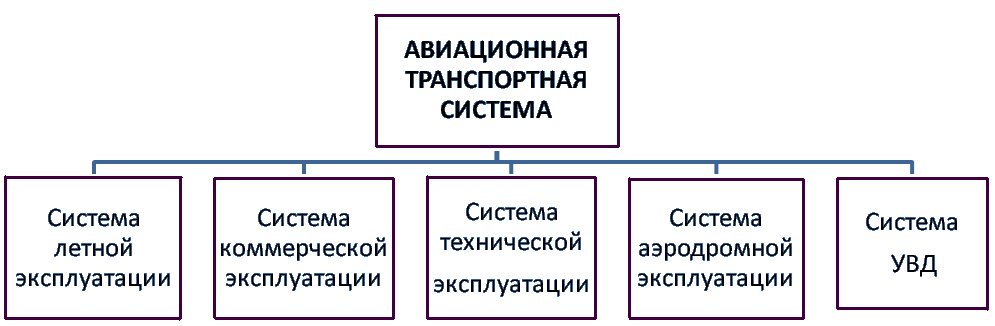
АТС можно разделить на ряд функционально самостоятельных подсистем (рис. 1.1): летной эксплуатации, коммерческой эксплуатации, технической эксплуатации, аэродромной эксплуатации, управления воздушным движением. Каждой из них соответствует свой процесс функционирования: АТС - процесс эксплуатации (ПЭ), системе летной эксплуатации – процесс летной эксплуатации (ПЛЭ), системе коммерческой эксплуатации – процесс коммерческой эксплуатации (ПКЭ), системе технической эксплуатации – процесс технической эксплуатации (ПТЭ), системе аэродромной эксплуатации – процесс аэродромной эксплуатации (ПАЭ), системе управления воздушным движением – процесс управления воздушным движением (ПУВД). При рассмотрении процессов технической эксплуатации ЛА в дальнейшем принято сокращение ПЭ ЛА.

Взаимодействие этих процессов определяется общей целью и наличием единого объекта эксплуатации – ЛА, который в каждой из функциональных систем представляется определенной совокупностью своих свойств.

В теории технических систем различают *системы типа “объект”*, элементами которых являются предметы (например, система эксплуатации, система ТЭ, система ТОиР), и *системы типа “процесс”*, элементами которых являются операции (например, изготовление, техническое обслуживание, ремонт). При этом *системой называется* совокупность, образованная (и упорядоченная) по определенным правилам на конечном множестве элементов, между которыми существуют определенные отношения. *Процесс* означает, что что-то происходит, совершается, т.е. изменяется с течением времени. Общим названием объектов, подвергаемых целенаправленному преобразованию, является *«операнд».*

*Под преобразованием понимается* следствие определенных воздействий, описываемых некоторой инструкцией (алгоритмом, технологией). Воздействие на операнд выполняется *оператором*. *Алгоритм* – упорядоченное множество операций, их отношений и условий перехода от одной операции к другой.

*Техническим процессом* названы такие преобразования, в которых роль операторов выполняют наряду с людьми технические системы.



**Рис. 1.1.** Структура авиационной транспортной системы

Учебная дисциплина  относится к числу специальных профилирующих дисциплин, формирующих бакалавра по направлению *эксплуатация авиационной техники (АТ).*

При изучении дисциплины студент рассматривает ПЭ как объекты обеспечения эффективности. Объектом обеспечения эффективности является ПЭ парка ЛА соответствующего уровня: отрасли, региона, предприятия. Условия обеспечения эффективности реализуются через установление входных управляющих воздействий и выходных параметров, назначение методов обеспечения эффективности с учетом влияния внешних и внутренних факторов.

Основной задачей обеспечения эффективности ПЭ является разработка и реализация методов обеспечения их эффективности при проектировании, производстве и эксплуатации.

В теории эффективности систем *под эффективностью*понимается наиболее общее, определяющее свойство любой целенаправленной деятельности, которое раскрывается через категорию цели и объективно выражается степенью достижения цели с учетом затрат ресурсов и времени. *Под целью*понимается идеальное представление желаемого (требуемого) результата в пределах некоторого интервала времени. Если фактический результат не соответствует желаемому, то имеет место *проблема* – расхождение между действительным и желаемым.

Научная основа настоящей дисциплины связана с целевым подходом , реализуемым в ряде системных дисциплин, таких как «Исследование операций», «Теория управления», «Теория систем», «Системный анализ», «Теория эффективности», «Теория технических систем». Все эти дисциплины связаны с принятием решений в условиях функционирования систем разной физической природы.

При изучении дисциплины студентами используются знания, полученные по другим дисциплинам: надежность авиационной техники, вероятностно-статистические модели эксплуатации ЛА, исследование операций и системный анализ. Знания, полученные при изучении данной дисциплины, используются при изучении следующих за ней дисциплин магистратуры: управление системами и процессами эксплуатации АТ, программы ТОиР ЛА.

Эффективность ПЭ ЛА как область знаний имеет определенную терминологию. Основные термины и определения приведены в п. 2.6. Нас интересует система обеспечения эффективности ПЭ ЛА, которая опирается на методологию теории эффективности систем и включает объекты, методы и средства обеспечения эффективности ПЭ ЛА (рис. 1.2). Объекты обеспечения эффективности делятся на физические объекты и математические модели.

К физическим объектам относятся следующие процессы: ПЭ, ПЛЭ, ПКЭ, ПТЭ, ПАЭ, ПУВД ЛА, процессы ТОиР, процессы инженерно-авиационного обеспечения (ИАО).

К математическим моделям процессов – марковские и полумарковские, массового обслуживания, сетевые, имитационные, многофакторный анализ и временные ряды.

К методам обеспечения эффективности относятся системный анализ, программное управление, оперативное управление.

В качестве средств обеспечения эффективности рассматриваются технические и программные средства. Основным признаком, характеризующим обеспечение эффективности, является характер информации, которая используется при принятии решений. По времени получения различают априорную (полученную до начала эксплуатации) и апостериорную (полученную в процессе эксплуатации) информацию.

Анализ - метод, заключающийся в расчленении объекта исследования (системы, процесса) на составные элементы (признаки, свойства, отношения и т.п.) для изучения каждого из них в отдельности и выявления их роли и места в системе.

Синтез - метод, имеющий целью объединить отдельные части изучаемой системы, ее элементы в единую систему.

Программное управление связано с задачами априорного анализа и синтеза, а текущее планирование и оперативное управление - с задачами апостериорного анализа и синтеза.



**2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ**

**ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

2.1. Процесс эксплуатации летательных аппаратов как объект управления

Особенностью классификации технических процессов является определение упорядоченной последовательности эксплуатационных процессов, имеющих иерархическую структуру: на 1-м уровне – ПЭ, на 2-м уровне – ПЛЭ, ПКЭ, ПТЭ, ПАЭ, ПУВД, на 3-м уровне - процессы ТОиР и процессы ИАО, на 4-м уровне - операции ТОиР и ИАО (рис. 2.1).

*Производственный процесс* - совокупность действий людей и орудий производства, необходимых на данном предприятии для изготовления выпускаемых изделий.

*Технологический процесс* - часть производственного процесса, содержащая совокупность действий, направленных на изменение состояния предмета производства.

*Технологическая операция* – это любое механическое или физическое воздействие на материалы или преобразование одних материалов в другие.

**Рис. 2.1**. Классификация процессов эксплуатации

Установлено соответствие процессов по уровням: процессы эксплуатации – производственные процессы, процессы ТОиР – технологические процессы, операции ТОиР – технологические операции. Показано место процессов изменения технического состояния в структуре технических процессов.

Объектом управления по эффективности является ПЭ парка однотипных ЛА соответствующего уровня: отрасли, региона, предприятия. Условия управ-

ления эффективностью ПЭ ЛА реализуются через установленные входные управляющих воздействий и выходных параметров, а также назначение методов управления эффективностью ПЭ ЛА (рис. 2.2).

Внешние факторы

Конструктивно – эксплуатационные свойства

Парк самолётов и его распределение по авиалиниям

План по налёту и расписание

Материально – техническое обеспечение

Условия эксплуатации

Затраты

Показатели эффективности

времени

труда

средств

Процесс

технической

эксплуатации

Безопасность

Регулярность

Использование

Экономичность

Технологическая подготовка производства

Производственная база

Профессиональная подготовка ИТС

Информационное обеспечение

Организация производства

Внутренние факторы

**Рис. 2.2**. Управляемый по эффективности ПЭ ЛА

Входными управляющими воздействиями при управлении эффективностью ПЭ ЛА являются внутренние резервы времени, труда и средств, используемые для совершенствования производства с целью повышения его эффективности.

Выходными параметрами являются показатели безопасности и регулярности полетов, безотказности авиационной техники, интенсивности использования, экономичности процесса их технической эксплуатации [14].

Взаимосвязь входных управляющих воздействий и выходных параметров устанавливается моделью ПЭ ЛА и аналитическими зависимостями показателей эффективности от сокращения числа отказов, простоев самолетов, трудовых и материальных затрат на ТОиР.

2.2. Формирование целей и показателей эффективности процессов эксплуатации летательных аппаратов

В теории эффективности систем формализация цели осуществляется путем введения множества параметров целеполагания , задающих желаемый (требуемый) результат, который может быть получен путем выполнения определенных действий по преобразованию некоторых ресурсов в требуемый результат [19]. Такую совокупность действий называют *операцией*. Реальныйрезультат операции  может отличаться от требуемого .

*Эффективность операции* есть степень соответствия реального результата требуемому или степень достижения цели операции.

*Показатель эффективности* – мера степени соответствия реального результата операции требуемому и мера достижения цели операции.

Для оценки эффективности операции определяют следующие величины: показатель качества реального результата операции  – мерный вектор , состоящий из целевого эффекта g(m1) , затрат ресурсов C(m2) , затрат времени T(m3)

;

вектор параметров целеполагания, задающий область допустимых значений показателей качества

;

функция соответствия, характеризующая в некоторой матричной шкале степень достижения цели операции

;

показатель эффективности операции W, являющийся матожиданием общей функции соответствия

.

Целевой подход к управлению эффективностью ПЭ ЛА позволяет расчленить генеральную цель системы эксплуатации ЛА на ряд подцелей путем построения многоуровневой структуры целей. При управлении эффективностью на каждом уровне используется свой локальный критерий, не противоречащий глобальному (общему) критерию и соответствующий целям задач, решаемых на верхнем уровне. Существенным в целевом подходе является то, что при формировании целей управления на низших уровнях уже учитывается генеральная цель в виде подцели своего уровня.

Управление эффективностью ПЭ ЛА предусматривает эффективное и планомерное использование всех технических, экономических, организационных и социальных возможностей для достижения целей системы технической эксплуатации ЛА.

Главной целью системы технической эксплуатации ЛА является полное и своевременное удовлетворение потребностей в исправных самолетах, обеспечение их безотказности и интенсивности использования по назначению при минимальных затратах времени, труда и средств на ТОиР.

Для достижения главной цели системы технической эксплуатации самолетов необходимо обеспечить осуществление совокупности взаимосвязанных основных целей, определяющих области и целевую направленность деятельности предприятий и их подразделений по повышению эффективности ПЭ ЛА (табл. 2.1).

Степень достижения главной и основных целей характеризуется системой показателей эффективности ПЭ ЛА.

**Таблица 2.1**

Основные области и цели деятельности по повышению эффективности ПЭ ЛА

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №  п/п | Область деятельности | Основные цели деятельности |
| 1 | Планирование использования ЛА по назначению | Обеспечение потребного уровня готовности, исправности и интенсивности использования ЛА, снижение затрат времени на ТОиР |
| 2 | Повышение качества ТОиР ЛА | Обеспечение (повышение) безотказности, долговечности и сохраняемости ЛА |
| 3 | Улучшение использования ресурсов при ТОиР ЛА | Повышение эффективности использования ресурсов, снижение трудовых и мате­риальных затрат на ТОиР |
| 4 | Научно–техническое развитие производства | Совершенствование производственно-технической базы, стратегий, методов и режимов ТОиР в соответствии с новейшими достижениями науки, техники, технологии и организации производства, обеспечивающее постоянное повышение эффективности ПЭ ЛА |

При установлении состава показателей к ним предъявляются следующие требования:

показатели эффективности ПЭ ЛА должны отражать предъявляемые к ним требования по обеспечению безотказности, интенсивности использования и экономичности эксплуатации ЛА;

состав показателей должен быть необходимым и достаточным для решения задач перспективного и текущего планирования, оперативного управления, оценки и стимулирования повышения эффективности ПЭ ЛА;

показатели должны определяться (рассчитываться) на основе данных существующих форм учета и отчетности, необходимость во введении дополнительных форм учета и отчетности должна быть минимальной;

расчет показателей должен быть простым и нетрудоемким, выполняемым как с помощью калькулятора, так и на ЭВМ;

должна быть соблюдена максимальная преемственность вводимых вновь показателей по отношению к используемым в настоящее время;

показатели должны нормироваться, удовлетворять требованиям полноты, точности, адекватности и достоверности;

показатели эффективности ПЭ ЛА должны быть непосредственно связаны с показателями системы эксплуатации ЛА.

Для управления эффективностью ПЭ ЛА предложена система показателей, отражающих выполнение основных требований, предъявляемых на различных уровнях организационной структуры инженерно-авиационной службы гражданской авиации (ИАС ГА) по обеспечению безопасности, регулярности, интенсивности использования и экономичности эксплуатации ЛА [15].

Система показателей эффективности включает обобщенные, частные, относительные, единичные и комплексные показатели (табл. 2.2).

Обобщенные показатели характеризуют эффективность процесса в целом, не различая причин, вызвавших их изменение.

К единичным показателям, характеризующим достижение отдельных целей управления, относятся следующие группы показателей:

показатели безотказности и безопасности полетов ЛА;

показатели регулярности отправления ЛА в рейсы;

показатели использования ЛА по времени;

показатели экономичности процессов ПЭ ЛА.

Частные показатели  дифференцированно оценивают степень влияния отдельных (частных) причин на эффективность процесса в целом (i-й функциональной системы по k-й причине на j-м уровне управления).

Относительные показатели  используются для оценки достигнутого уровня эффективности процесса ТЭ ЛА:

, (а)  (b) . (2.1)

где ,  -значение оцениваемого и базового показателей соответственно.

Применяется та формула, по которой значение относительного показателя увеличивается при повышении эффективности процесса ТЭ ЛА. Например, для показателей ,  используется формула (2.1 a), а для показателей ,  - формула (2.1 b).

При оценке эффективности используется смешанный метод, в соответствии с которым заключение о повышении эффективности принимается в следующих случаях: при повышении уровня эффективности по всем показателям либо в случае повышения уровня эффективности по показателям , , ,  и большей части остальных показателей эффективности. В противном случае делается заключение о снижении уровня эффективности ПЭ самолета.

**Таблица 2.2**

Показатели эффективности процессов ПЭ ЛА

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование показателей | Обозначения показателей | | | | |
| Обоб-щенные | | Част-ные | Относи-тельные | |
| 1 | 2 | | 3 | | 4 |
| 1. Безотказность АТ и безопасность полетов | | | | | |
| 1.1 Количество отказов, выявленных в полете на 1000 ч налета |  | |  |  | |
| 1.2. Количество отказов, приведших к инцидентам на 1000 ч налета |  | |  |  | |
| 1.3. Вероятность безотказной работы на j-м уровне управления |  | |  |  | |
| 1.4. Наработка на отказ на j-м уровне управления |  | |  |  | |
| 1.5. Вероятность невозникновения особой ситуации i-го вида в полете |  | |  |  | |
| 2. Регулярность отправления ВС в рейсы | | | | | |
| 2.1. Вероятность регулярности отправлений ВС в рейсы с учетом задержек по техническим причинам |  | |  |  | |
| 2.2. Средняя продолжительность задержки вылета по техническим причинам |  | |  |  | |
| 3. Использование ВС по времени | | | | | |
| 3.1 Коэффициент использования на j-м уровне управления | |  |  |  | |
| 3.2. Коэффициент исправности | |  |  |  | |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Продолжение табл. 2.2** | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 3.3. Среднее время восстановления |  |  |  |
| 3.4. Вероятность восстановления в заданное время |  |  |  |
| 3.5. Удельные простои ВС по техническим причинам на j-м уровне управления |  |  |  |
| 4. Экономичность поддержания летной годности | | | |
| 4.1. Удельные трудовые затраты на поддержание летной годности ВС на j-м уровне управления |  |  |  |
| 4.2. Удельные материальные затраты на поддержание летной годности ВС на j-м уровне управления |  |  |  |
| 4.3. Удельная себестоимость работ по поддержанию летной годности ВС на j-м уровне управления |  |  |  |
| 5. Комплексные показатели эффективности | | | |
| 5.1. Коэффициент готовности |  |  |  |
| 5.2. Коэффициент оперативной готовности |  |  |  |
| 5.3. Коэффициент оперативного использования на j-м уровне управления |  |  |  |
| 5.4. Коэффициент эффективности использования на j-м уровне управления |  |  |  |

2.3. Принципы управления

Управление эффективностью ПЭ ЛА строится на основе совокупности научно обоснованных и проверенных практикой принципов управления производством. Для повышения целенаправленности управления ПЭ ЛА и ориентации его на конечные результаты используется целевой подход к управлению, в соответствии с которым определяется главная цель управления и её последующая дифференциация в виде иерархической системы целей (в том числе по регионам, объединениям, предприятиям, подразделениям), обеспечиваются условия, необходимые для достижения целей, и организуется деятельность трудовых коллективов.

Для обеспечения рационального разделения задач по управлению эффективностью ПЭ ЛА реализуется функциональный подход к управлению, сущность которого состоит в выделении совокупности конкретных автономных функций управления и формировании для их осуществления специализированных функциональных подсистем управления.

Для обеспечения единства руководства подразделениями, занятыми технической эксплуатацией ЛА сверху донизу, согласованности действий исполнителей и ответственности руководителей за повышение эффективности ПЭ ЛА реализуется линейный подход к управлению, сущность которого состоит в осуществлении руководителем каждого подразделения руководства эффективностью ПЭ ЛА через подчиненных ему линейных руководителей в соответствии с действующей производственной структурой.

Для обеспечения комплексности управления эффективностью ПЭ ЛА осуществляется рациональное сочетание целевого, функционального управления и линейного руководства.

Руководители подразделений отрасли, региона и предприятий осуществляют систематическое совершенствование управления эффективностью ПЭ ЛА на основе передового опыта и достижений теории управления эффективностью производства.

2.4. Функции и методы управления

При формировании системы управления эффективностью ПЭ ЛА в перечень конкретных функций управления включаются следующие типовые элементы управленческого цикла: анализ, прогнозирование, планирование, контроль, регулирование, учет, оценка, стимулирование, организация работ.

При управлении эффективностью ПЭ ЛА используются следующие методы управления: экономические, административные, социально-психологи-ческие.

К экономическим методам управления эффективностью ПЭ ЛА относятся: технико-экономическое планирование; образование и использование фондов экономического стимулирования, содействие внедрению новой техники, изобретения и рационализаторские предложения; использование системы распределения прибыли; использование принципов и методов оценки и стимулирования повышения эффективности труда на каждом рабочем месте.

При применении экономических методов управления эффективностью ПЭ ЛА необходимо обеспечить разработку и внедрение прогрессивных технико-экономических нормативов; раздельного учета (по типам самолетов и видам работ) трудовых и материальных затрат на ТОиР; совершенствования системы экономического стимулирования повышения эффективности ПЭ ЛА.

К административным методам управления эффективностью ПЭ ЛА относятся: разработка и внедрение стандартов и других руководящих методических и нормативно-технических документов; издание приказов, указаний и распоряжений администрации; контроль исполнения.

К социально - психологическим методам относятся: повышение творческой активности и инициативы инженерно-технического персонала, использование различных форм морального поощрения за повышение эффективности ПТЭ.

2.5. Управленческие решения

При управлении эффективностью ПЭ ЛА управленческие решения должны быть направлены на повышение безотказности и интенсивности использования ЛА и снижение затрат времени, труда и средств на ТОиР ЛА.

Типовой процесс выработки и реализации управленческих решений включает следующие этапы: анализ потребности в повышении эффективности ПЭ ЛА или причин её снижения; определение доминирующих состояний ПЭ ЛА, видов работ по ТОиР ЛА и факторов, оказывающих наибольшее влияние на показатели эффективности ПЭ ЛА; подготовку и обоснование управленческих решений; оценку ожидаемой эффективности их реализации; принятие управленческого решения; организацию работы по реализации управленческого решения; организацию контроля выполнения принятого решения; оценку фактических результатов реализации принятого решения [13].

2.6. Основные понятия, термины и определения

*Эксплуатация ЛА –*стадия жизненного цикла ЛА, на которой реализуется, поддерживается и восстанавливается его качество.

*Процесс эксплуатации ЛА* **-** совокупность процессов летной, коммерческой, технической, аэродромной эксплуатации, управления воздушным движением.

*Техническая эксплуатация (ТЭ) ЛА* **-** часть эксплуатации, включающая транспортирование, хранение, техническое обслуживание и ремонт ЛА.

*Процесс ТЭ (ПЭ) ЛА* - последовательная во времени смена состояний эксплуатации в соответствии с принятой стратегией. К состояниям эксплуатации относятся: использование по назначению, различные виды ТОиР, транспортирование, хранение, ожидание поступления в каждое из этих состояний и др.

*Эффективность ПЭ ЛА* - наиболее общее, определяющее свойство любой целенаправленной деятельности, которое раскрывается через категорию цели, объективно выражается степенью достижения цели с учетом затрат ресурсов и времени.

*Показатель эффективности ПЭ ЛА*- количественная характеристика одного или нескольких свойств эффективности ПЭ ЛА.

*Управление ПЭ ЛА* - выработка и осуществление целенаправленных управляющих воздействий на процессы (объект) ПЭ ЛА, ориентированных на сохранение соответствия ЛА действующим требованиям.

*Программное управление ПЭ ЛА* - управление ПЭ ЛА по заранее заданной программе. Программное управление может осуществляться как с использованием обратной связи (замкнутая схема управления), так и без неё (разомкнутая схема управления).

*Оперативное управление ПЭ ЛА* **-** целенаправленное непосредственное воздействие на процесс с целью достижения заданных планом показателей эффективности ПЭ ЛА.

*Стратегия эксплуатации ЛА* **-** система правил управления ПЭ ЛА в эксплуатации, обеспечивающих заданное управление ПЭ путем поддержания наивыгоднейших режимов работы ЛА и назначения профилактических и ремонтных работ в соответствии с техническим состоянием ЛА.

*Режимы эксплуатации ЛА -* условия выполнения мероприятий по технической эксплуатации ЛА, включающие перечень и периодичность выполнения операций и, при необходимости, значения эксплуатационных характеристик применяемых средств.

*Программа эксплуатации ЛА* - документ, устанавливающий стратегии и режимы эксплуатации ЛА, порядок их корректировки на протяжении срока службы с начала эксплуатации до списания изделия.

*Режимы технического обслуживания (ремонта)* - условия проведения технического обслуживания (ремонта), включающие перечень и периодичность выполнения операций и, при необходимости, значения эксплуатационных характеристик применяемых средств.

*Режим диагностирования* - условия проведения технического диагностирования, включающие состав диагностических параметров, их предельно допустимые и наименьшие или наибольшие предотказовые значения, периодичность контроля и эксплуатационные характеристики применяемых средств.

*Режимы контроля параметров* - условия проведения технического диагностирования, включающие состав контролируемых параметров, их предельно допустимые и наименьшие или наибольшие предотказовые значения, и эксплуатационные характеристики применяемых средств.

*Режимы контроля надежности* - условия контроля надежности, включающие контрольные уровни надежности (доверительные границы) и периодичность контроля.

*Управление режимами эксплуатации ЛА* **-** выработка и осуществление целенаправленных управляющих воздействий на режимы эксплуатации ЛА, ориентированных на сохранение соответствия ВС действующим требованиям к эффективности ПЭ ЛА.

**3. ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ**

**ПРОЦЕССОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

3.1. Механизм управления эффективностью

Система управления эффективностью ПЭ ЛА взаимодействует с системой управления эффективностью транспортного процесса и подчинена ей. Одновременно система управления эффективностью ПЭ в эксплуатационном авиапредприятии является составной частью системы управления производством и рассматривается как её целевая подсистема, ориентирующая управление, планирование и организацию производства на достижение лучших конечных результатов по повышению эффективности ПЭ ЛА [14].

Механизм управления эффективностью ПЭ ЛА включает два основных контура (рис. 3.1). Внешний контур К1 (контур планирования) определяет взаимосвязь ПЭ с транспортным процессом и отраслью в целом, которые предъявляют в своем развитии соответствующие требования по повышению эффективности ПЭ ЛА. Контур К1 "настроен" на выполнение требований по повышению эффективности транспортного процесса, в соответствии с которым формируется план повышения эффективности ПЭ ЛА.

Т

П52

Нормирование эффективности ПЭ

Анализ эффективности ПЭ

Планирование эффективности ПЭ

Транспортный процесс

ПТЭ ЛА

Оценка эффективности ПЭ

Оперативное управление эффективностью ПЭ

Контроль эффективности ПЭ

*Б5*

*Б2*

П23

*Б6*

*Б4*

*Б3*

*Б1*

Э

П13

П45

П34

П38

П83

П84

П78

К2

К1

*Б7*

*Б8*

П71

**Рис. 3.1**. Схема системы управления эффективностью ПЭ ЛА:

К1 – внешний контур (планирование);

К2 – внутренний контур (оперативное управление).

Внутренний контур K2 (контур оперативного управления) определяет взаимодействие подразделений организации по ТОиР по управлению эффективностью ПЭ ЛА. Контур "настроен" на выполнение плана повышения эффективности ПЭ ЛА.

Функционирование системы управления эффективностью ПЭ ЛА осуществляется следующим образом (рис. 3.1). На основе сведений о ПЭ ЛА за отчетный период (поток П11) производится анализ (блок Б1 ), в результате которого выявляются факторы, влияние на эффективность ПЭ ЛА, и степень их влияния (поток П12), разрабатывается перечень возможных мероприятий с оценкой ожидаемых результатов и потребных затрат на их внедрение (поток П13).

Для эффективного осуществления транспортного процесса (блок Б5) предъявляются требования к эффективности ПЭ ЛА (поток П52). Исходя из перспективных планов развития производства, формируются отраслевые и региональные требования к эффективности ПЭ ЛА (поток Т). На основе указанных требований и результатов анализа (поток П12) производится нормирование показателей эффективности ПЭ ЛА на планируемый год (блок Б2), заключающееся в определении потребного уровня эффективности.

На основании установленных норм (поток П23) и данных анализа эффективности (поток П13) разрабатывается "План повышения эффективности ПЭ самолетов" (блок Б3), предусматривающий внедрение целевых мероприятий по повышению эффективности, которые являются плановыми управляющими воздействиями (поток П34 ) на эффективность ПЭ ЛА (блок Б4).

Реализация целевых мероприятий по повышению эффективности ПЭ самолетов обеспечивает возможности (поток П45) для повышения эффективности транспортного процесса (блок Б5) .Так происходит функционирование контура К1.

В целях оперативного управления эффективностью ПЭ ЛА осуществляется контроль текущих данных по эффективности ПЭ ЛА (поток П45) и определение текущих значений показателей эффективности (поток П18). Сравнение их с запланированными значениями (поток П38) позволяет определить рас­согласование между плановыми и достигнутыми значениями. В случае выявления неблагоприятных отклонений от плановых величин производятся анализ причин отклонений (блок Б8). По выявленному рассогласованию вырабатываются управляющие воздействия с целью регулирования эффективности ПЭ ЛА (блок Б6).

При выработке управляющих воздействий может быть принято решение о внедрении дополнительных мероприятий (корректирующих воздействий - поток П64) или решение о корректировке плана (поток П83) и на этом внутренний контур управления К2 замыкается.

По окончании планового периода производится оценка достигнутых результатов по повышению уровня эффективности (блок Б6), которые сообщаются в региональные и отраслевые органы управления (поток Э) для оценки выполнения требований (поток Т), предъявляемых к эффективности ПЭ за отчетный период.

3.2. Основные требования к системе управления

Система управления эффективностью ПЭ ЛА представляет собой совокупность управленческих органов и объектов управления, взаимодействующих на основе планомерного выполнения комплекса организационных, научно-технических, экономических социальных мероприятий в соответствии с государственными стандартами, стандартами предприятий и другими руководящими документами по управлению эффективностью ПЭ ЛА.

Система управления должна обеспечивать разработку и осуществление мероприятий на всех стадиях жизненного цикла ЛА (исследование и проектирование, изготовление и эксплуатация), на всех этапах ПЭ ЛА (использование по назначению, техническое обслуживание, ремонт), по всем периодам планирования (перспективное, текущее, оперативное), на всех уровнях организационной структуры системы технической эксплуатации самолетов.

Содержание работ по управлению эффективностью ПЭ ЛА на стадиях жизненного цикла ЛА приведено в табл. 3.1.

**Таблица 3.1**

Типовое содержание работ по управлению эффективностью ПЭ

на стадиях жизненного цикла ЛА

|  |  |
| --- | --- |
| Стадия жизненного  цикла ЛА | Содержание работ |
| 1 | 2 |
| Исследование и проектирование | Обоснование требований к эффективности ПЭ ЛА. Обеспечение заданного уровня эффективности ПЭ ЛА на основе формирования конструктивно-эксплуатационных свойств (надежности, эксплуатационной технологичности) и программы ТОиР, соответствующих современным достижениям научно-технического процесса и прогнозу общественных потребностей на период эксплуатации ЛА данного типа. Проверка соответствия ЛА требованиям по эффективности ПЭ. |
| Изготовление ЛА | Предъявление требования по эффективности ПЭ ЛА в ТУ на поставку ЛА. Обеспечение заданного уровня эффективности ПЭ ЛА путем изготовления ЛА с уровнем конструктивно-эксплуатационных свойств, сформированных на первой стадии жизненного цикла, а также повышения эффективности ПЭ ЛА на основе опыта эксплуатации путем улучшения конструктивно-эксплуатационных свойств, совершенствования технологии производства и программы ТОиР. |
| Эксплуатация ЛА | Перспективное и текущее планирование повышения эффективности ПЭ ЛА. Оперативное управление эффективностью ПЭ ЛА. Повышение эффективности ПЭ ЛА на основе совершенствования технологии, организации и средств технической эксплуатации ЛА, повышения интенсивности их использования, квалификации исполнителей и качества ТОиР, рационального использования трудовых и материальных ресурсов. |

Структура системы управления должна обеспечивать сочетание линейного, целевого и функционального управления на всех уровнях организационной структуры системы технической эксплуатации. В системе используются одноцелевые специальные функции, направленные на достижение одной основной цели, и многоцелевые специальные функции, направленные на достижение ряда или всех основных целей системы технической эксплуатации ЛА.

Система управления должна состоять как из неавтоматизированных, так и автоматизированных элементов.

3.3. Структура системы управления и специальные функции подсистем

Система управления эффективностью ПЭ ЛА включает: подсистему линейного руководства; функциональные подсистемы; целевые подсистемы; подсистему обеспечения управления [14].

Принципиальная схема построения системы управления эффективностью ПЭ ЛА приведена на рис. 3.2.

Управление эффективностью ПЭ ЛА осуществляется линейными руководителями подразделений технической эксплуатации, специальными органами целевого управления, функциональными подразделениями.

Организационно-нормативной основой построения подсистемы линейного руководства являются положения о соответствующих структурных подразделениях и их руководителях и должностные инструкции.

Функции линейных руководителей на разных уровнях управления заключаются в следующем.

На отраслевом уровне: обеспечение целенаправленной деятельности отраслевой эксплуатационной службы по повышению эффективности ПЭ ЛА; организация взаимодействия с отраслями промышленности - поставщиками ЛА по вопросам повышения эффективности ПЭ ЛА; координация работ в отрасли по повышению эффективности ПЭ ЛА; отраслевое перспективное и текущее планирование повышения эффективности ПЭ ЛА; развитие материально-технической базы технической эксплуатации; совершенствование организации и управления на основе современных достижений научно-технического прогресса.

На региональном уровне: обеспечение целенаправленной деятельности региональной эксплуатационной службы по повышению эффективности ПЭ ЛА; организация взаимодействия с вышестоящими и внешними организациями по вопросам повышения эффективности ПЭ ЛА; региональное перспективное и текущее планирование повышения эффективности ПЭ ЛА; контроль за выполнением планов и стимулирование предприятий за повышение эффективности ПЭ ЛА; развитие материально-технической базы технической эксплуатации; совершенствование организации и управления на основе современных достижений научно-технического прогресса.

На уровне предприятия: обеспечение целенаправленной деятельности подразделений по повышению эффективности ПЭ ЛА; организация взаимодействия с вышестоящими организациями по вопросам повышения эффективности ПЭ ЛА; перспективное и текущее планирование повышения эффективности ПЭ ЛА; оперативное управление эффективностью ПЭ ЛА; оценка и стимулирование повышения эффективности ПЭ ЛА; развитие материально-технической базы предприятий; воспитание и подготовка кадров; совершенствование организации и управления производством.

На уровне цехов и смен предприятий: разработка предложений по предупреждению отказов ЛА, сокращению затрат времени, труда и средств на ТОиР ЛА; внедрение запланированных мероприятий по повышению эффективности;

1.0.1

1.0.2

1.0.3

1.0.4

2.0.1

2.0.2

2.0.3

3.0.1

3.0.2

4.0.1

4.0.2

Правовое обеспечение

Подсистема обеспечения управления

Нормативное обеспечение

Информационное

обеспечение

1.1.1

2.1.1

3.1.1

4.1.1

1.2.1

2.2.1

3.2.1

4.2.1

1.3.1

2.3.1

3.3.1

4.3.1

1.4.1

2.4.1

3.4.1

4.4.1

Управление безотказностью

Управление регулярностью

Управление исправностью и использованием

Управление трудовыми и материальными затратами

Многоцелевые специальные функции

Перспективное и текущее планирование

1

Оперативное управление

Оценка и стимулирование

Учет и отчетность

1

1

1

Система управления эффективностью ПЭ ЛА

Подсистема линейного руководства

Функциональные подсистемы

Состав специальных функций целевых подсистем

Целевые подсистемы

**Рис. 3.2**. Схема построения системы управления эффективностью ПЭ ЛА. Содержание специальных функций соответствует табл. 3.1

учет отказов ЛА, простоев, трудовых и материальных затрат на техническое обслуживание ЛА; подготовка кадров; определение меры материального поощрения специалистов цеха (смены) за достигнутые результаты по повышению эффективности ПЭ ЛА. На уровне предприятия: обеспечение целенаправленной деятельности подразделений по повышению эффективности ПЭ ЛА; организация взаимодействия с вышестоящими организациями по вопросам повышения эффективности ПЭ ЛА; перспективное и текущее планирование повышения эффективности ПЭ ЛА; оперативное управление эффективностью ПЭ ЛА; оценка и стимулирование повышения эффективности ПЭ ЛА; развитие материально-технической базы предприятий; воспитание и подготовка кадров; совершенствование организации и управления производством

На уровне цехов и смен предприятий: разработка предложений по предупреждению отказов ЛА, сокращению затрат времени, труда и средств на ТОиР ЛА; внедрение запланированных мероприятий по повышению эффективности; учет отказов ЛА, простоев, трудовых и материальных затрат на техническое обслуживание ЛА; подготовка кадров; определение меры материального поощрения специалистов цеха (смены) за достигнутые результаты по повышению эффективности ПЭ ЛА.

Функциональная подсистема характеризуется специализацией управленческой деятельности, целями управления, составом специальных функций управления, составом задач управления по каждой специальной функции и их распределения по органам управления. В состав функциональных подсистем входят: перспективное и текущее планирование эффективности ПЭ ЛА; оперативное управление эффективностью ПЭ ЛА; оценка и стимулирование повышения эффективности ПЭ ЛА; учет и отчетность по эффективности ПЭ ЛА.

Перечень специальных функций и распределение их по функциональным подсистемам приведены в табл. 3.2.

Цель управления в функциональной подсистеме устанавливается в соответствии с основными целями управления эффективностью ПЭ ЛА и составом специальных функций.

Функциональная подсистема включает функциональные подразделения всех уровней управления, участвующих в выполнении специальных функций функциональных подсистем. По каждой специальной функции назначается головное подразделение и устанавливается одно или несколько подразделений, участвующих в выполнении специальных функций. Устанавливаются следующие иерархические уровни функциональных подразделений: управление, отдел, бюро, группа, специалист.

Целевая подсистема - совокупность специальных функций (комплекс задач управления), выполняемых функциональными подсистемами.

В соответствии с основными целями деятельности подразделений по повышению эффективности ПЭ самолетов в состав целевых подсистем включаются: управление безотказностью ЛА; управление регулярностью отправлений самолетов; управление исправностью и использованием ЛА; управление трудовыми и материальными затратами на ТОиР ЛА. Взаимосвязь специальных функций с целевыми подсистемами показана в табл. 3.2.

**Таблица 3.2**

Перечень специальных функций управления эффективностью ПЭ ЛА

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Шифр специаль-ной функции | Функциональная подсистема и специальные функции | Целевые подсистемы, реализующие специальные функции |
| 1 | 2 | 3 |
| 1. Перспективное и текущее планирование эффективности ПЭ ЛА | | |
| 1.0.1 | Анализ эффективности ПЭ ЛА | Все целевые подсистемы |
| 1.0.2 | Прогнозирование показателей эффективности ПЭ ЛА | То же |
| 1.0.3 | Разработка плана повышения эффективности ПЭ ЛА | — **”** — |
| 1.1.1 | Планирование повышения безотказности ЛА | Управление безотказ -ностью ЛА |
| 1.2.1 | Планирование повышения регулярности отправлений ЛА | Управление регу­лярностью отправлений ЛА |
| 1.3.1 | Планирование повышения исправности и интенсивности использования ЛА | Управление исправ-ностью и исполь-зованием ЛА |
| 1.4.1 | Планирование снижения трудовых и материальных затрат на ТОиР ЛА | Управление трудовыми и материальными затратами на ТОиР |
| 2. Оперативное управление эффективностью ПЭ ЛА | | |
| 2.0.1 | Контроль эффективности ПЭ ЛА | Все целевые подсистемы |
| 2.0.2 | Анализ причин снижения уровня эффективности ПЭ ЛА | То же |
| 2.0.3 | Формирование управляющих воздействий по повышению эффективности ПЭ ЛА | Все целевые подсистемы |
| 2.1.1 | Регулирование безотказности ЛА | Управление безот­казностью ЛА |
| 2.2.1 | Оперативное управление регулярностью отправлений ЛА | Управление регулярностью отправлений ЛА |
| 2.3.1 | Регулирование исправности и использования ЛА | Управление исправностью и использованием ЛА |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Продолжение табл. 3.2** | | |
| 1 | 2 | 3 |
| 2.4.1 | Регулирование трудовых и материальных затрат на ТОиР ЛА | Управление трудовыми и материальными затратами на ТОиР ЛА |
| 3. Оценка и стимулирование повышения эффективности ПЭ ЛА | | |
| 3.0.1 | Оценка уровня эффективности ПЭ ЛА и годового экономического эффекта от его повышения | Все целевые подсистемы |
| 3.0.2 | Стимулирование повышения эффективности ПЭ ЛА | То же |
| 3.1.1 | Оценка и стимулирование повышения безотказности ЛА | Управление безотказ-ностью ЛА |
| 3.2.1 | Оценка и стимулирование повышения регулярности отправлений ЛА | Управление регуляр-ностью отправлении ЛА |
| 3.3.1 | Оценка и стимулирование повышения исправности и интенсивности использования ЛА | Управление исправ-ностью и использо­ванием самолетов |
| 3.4.1 | Оценка и стимулирование снижения трудовых и материальных затрат на ТОиР ЛА | Управление трудовыми и материальными затратами на ТОиР ЛА |
| 4. Учет и отчетность по эффективности ПЭ ЛА | | |
| 4.0.1 | Организация учета при управлении эффективностью ПЭ ЛА | Все целевые подсистемы |
| 4.0.2 | Организация отчетности о выполнении плана повышения эффективности ПЭ ЛА | То же |
| 4.I.I | Учет и отчетность по безотказности ЛА | Управление безот­казностью ЛА |
| 4.2.1 | Учет и отчетность по регулярности отправлений ЛА | Управление регуляр­ностью ЛА |
| 4.3.1 | Учет и отчетность по исправности и использованию ЛА | Управление исправ­ностью и использо-ванием ЛА |
| 4.4.1 | Учет и отчетность по трудовым и материальным затратам на ТОиР ЛА | Управление трудовыми и материальными затратами на ТОиР ЛА |

3.4. Автоматизация управления эффективностью процессов эксплуатации летательных аппаратов

Автоматизация управления эффективностью ПЭ ЛА предназначена для повышения качества управления и является средством повышения эффективности производства на уровнях предприятия, региона, отрасли.

Основой автоматизации управления является совокупность методического обеспечения информационной системы, комплекса технических средств и комплексов организационных, экономических, технических мероприятий.

Главная цель автоматизации управления – улучшение показателей эффективности ПЭ ЛА посредством повышения роли автоматизации в части повышения качества и достоверности обработки информации, повышения обоснованности и оперативности принятия решений, расширения и углубления контроля и анализа процессов производства и управления.

Объектом автоматизации управления является система управления эффективностью ПЭ ЛА, функции и процессы управления.

Автоматизация управления эффективностью ПЭ ЛА является функциональной подсистемой АСУ производством. Она обосновывается производственно-хозяйственной необходимостью и производственно-экономической целесообразностью.

Производственно-хозяйственная необходимость определяется большой трудоемкостью управленческих работ вследствие сложности методов выполнения общих функций управления, сложностью анализа и обработки информации, недостаточной достоверностью информации о состоянии производственной деятельности подразделений и несвоевременностью её получения управляющим персоналом, недостаточной полнотой текущего анализа и оценки эффективности деятельности подразделений, несовершенством действующего методического обеспечения управления эффективностью деятельности подразделений, невозможностью проведения своевременного контроля уровня эффективности процесса эксплуатации самолетов.

Производственно-экономическая целесообразность автоматизации управления определяется на основе системы показателей эффективности производства и экономической эффективности автоматизации.

Основные направления и цели автоматизации функций и процессов управления определяются составом целевых и функциональных подсистем системы управления эффективностью ПЭ ЛА.

Автоматизация управлений эффективностью ПЭ ЛА направлена на решение следующих задач: анализ эффективности ПЭ; прогнозирование показателей эффективности ПЭ; разработка плана повышения эффективности; контроль эффективности; формирование управляющих воздействий по повышению эффективности; оценка уровня эффективности ПЭ; организация учета и отчетности по эффективности ПЭ ЛА.

Основными задачами предприятия по автоматизации управления эффективностью ПЭ ЛА являются: определение степени готовности предприятия к автоматизации; определение требований по реконструкции, модификации объектов автоматизации, обеспечивающих эффективное функционирование автоматизированной системы управления; определение требований к объектам автоматизации; согласование разрабатываемой системы с уже существующими на предприятиях автоматизированными системами.

Автоматизация управления должна сопровождаться внесением изменений в проект системы управления, в том числе уточнением и перераспределением функций и задач управления; изменением информационных и материальных потоков в соответствии с организационной и производственной структурой; дифференциацией технологических операций управленческих процессов между человеком и ЭВМ; приведением в соответствие профессионального состава работающих функций управления в условиях АСУ; разработкой новых или изменением старых форм учетно-отчетной документации для работы в условиях АСУ; изменением штатного расписания и функций работников подразделений в условиях АСУ.

Работы по автоматизации управления должны быть взаимоувязаны с мероприятиями по совершенствованию организационных структур и методов управления, рационализацией документооборота.

**4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

**ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

4.1. Построение модели процесса эксплуатации летательных аппаратов

ПЭ ЛА может быть представлен следующей моделью [11,23]. Имеется некоторый сложный объект эксплуатации с конечным или счетным множеством Ω технических состояний , стохастический процесс изменения которых во времени обозначим . Состояния являются результатом некоторого разбиения , а множество индексов I =<i> считается изоморфным этому разбиению. Предполагается, что объединения соответствующих состояний  образуют подмножества исправных, неисправных, работоспособных и неработоспособных состояний.

Объект подвергается эксплуатации, содержащей конечное множество состояний эксплуатации , образованных путем разбиения , где  , а элементы из I идентифицированы элементами разбиения D . Считается, что соответствующие  или их возможные объединения образуют подмножества состояний использования объекта по назначению, технического обслуживания, ожиданий и т.п.

Предположим, что состояния назначаются в некотором соответствии с возникающими техническими состояниями объекта  и процесс  отражает последовательную смену состояний . Известно пространство состояний ∆ ПЭ и его разбиение D, определяющее выбор элементов . Первоначально объект находится в некотором состоянии эксплуатации  случай­ное время, распределенное по произвольному закону , затем с вероятностью  объект мгновенно переходит в состояние , из которого он регенерирует по указанной схеме.

Поскольку в этом процессе имеются состояния использования объекта по прямому назначению, то на их основе могут быть установлены некоторые целевые функции с экстремумами в качестве критерия оптимальности стратегии управления процессом.

Так как состояния эксплуатации определены через состояния объекта и заданы своими функциями распределения, то изучение законов распределения времени пребывания объектов в состояниях ТОиР  позволяет оценить эффективность режимов ТОиР объекта.

Предложенная модель дает возможность использовать для анализа состояний и переходов реального ПЭ статистические методы. Переходы процесса из состояния в состояние, определяемые стратегией эксплуатации, образуют процесс "моментов переходов", который в литературе принято называть «вложенным процессом», или «вложенной цепью» [13,23] . Статистический анализ ПЭ выполняется в два этапа: на первом этапе исследуются характеристики состояний процесса, на втором - сам вложенный процесс. Если окажется, что он обладает марковскими свойствами, а в состояниях эксплуатации развиваются временные процессы, близкие по структуре к процессам восстановления, то это подтвердит факт полумарковости ПЭ ЛА.

Обозначим моменты времени, соответствующие началу и окончанию некоторого состояния, через  и . Интервал  является характеристикой состояния, определяя его продолжительность, представляющую собой случайную величину, которую мы обозначим через . Составим спецификацию состояний, то есть определим их множество , где *r* - порядковый номер (марка) состояния. Статистический анализ реализаций интервалов времени пребывания объектов в различных состояниях ПЭ позволяет получить вероятностные модели состояний, то есть определить тип распределений случайных величин .

Состояния ПЭ объекта возникают в рассматриваемом процессе последовательно и непрерывно, то есть в моменты времени , - «сшиваются» и образуют процесс. В эти моменты времени объект переходит из одного состояния в другое. Такие переходы осуществляются мгновенно, поэтому в качестве их количественной характеристики рассматриваются относительные частоты  переходов объекта из i-го состояния в k-е, где .

С этой целью на достаточно большом фиксированном промежутке времени наблюдения за ПЭ определяется число  попаданий объекта в i-е состояние и подсчитывается число непосредственных (прямых) переходов из -го в К -е состояние, тогда

. (4.1)

Указанным образом можно подсчитать для каждого из состояний  и составить матрицу частот переходов. Такая матрица будет определять структуру локального ПЭ самолетов. Для того, чтобы эта матрица определяла структуру ПЭ парка самолетов, необходимо показать эргодичность процесса на участке времени наблюдения .

Стохастический процесс называется стационарным, если его вероятностные характеристики, в частности, математическое ожидание, дисперсия и корреляционные моменты не зависят от момента времени, в который рассматривается этот процесс [І1,23].При этом единственным условием, которому должен удовлетворять стационарный процесс, служит условие независимости корреляционной функции от момента времени *t*.

Эргодическим называется стохастический процесс, для которого с вероятностью единица среднее по времени равно среднему по реализациям. Стационарный процесс считается эргодическим, если при  нормированная корреляционная функция стремится к нулю.

Для эргодического процесса могут быть определены абсолютные частоты  попадания объекта в i-е состояние технической эксплуатации за время 

, (4.2)

где N - общее число состояний, наблюдаемых в интервале . Совокупность значений частот  будем называть вложенным вектором-строкой частот состояний или вектором-строкой статистических вероятностей состояний ПЭ самолетов.

Совокупность матрицы и вектора определяет так называемую вложенную цепь ПЭ. Совокупность множеств ,, матрицы Р и вектора определяет весь рассматриваемый ПЭ. Указанный процесс является полумарковским при выполнении следующих условий [5,13]: матрица переходов Р удовлетворяет условиям стохастической или марковской матрицы; матрица квадратная имеет конечное число состояний, все элементы матрицы неотрицательны для всех i и К, сумма элементов каждой строки равна единице , вероятности  зависят от состояния i и не зависят от более ранних состояний; случайные величины  имеют функции распределения; вектор  имеет только стационарные составляющие, если процесс является стационарным и эргодическим на отрезке .

Практически удобно иметь дело с графом состояний и переходов G, который легко построить для каждого типа ЛА, воспользовавшись матрицей вероятностей переходов  [13,23]. Для этого преобразуем матрицу  в матрицу  смежности вершин некоторого графа G путем замены её ненулевых элементов единицами. Определим ребро графа G как элемент декартова произведения  множества его вершин V и будем считать, что это произведение задано матрицей Р. Обозначим на некоторой плоскости все элементы множества V вершин графа G, предполагая это множество конечным, и i-ю вершину из V соединим с К - й вершиной того же множества ребром , если элемент  в  равен единице. Пусть ребра ориентированы от i-й вершины к k - й вершине.

Если же элементы (i,к) и (к,i) существуют одновременно, то будем изображать на плоскости два ориентированных ребра между соответствующими вершинами. В результате такого построения получим неразмеченный граф G ПЭ (рис. 4.1). Разметку ребер и вершин графа G можно выполнить с помощью матрицы вероятностей переходов  и вектор-строки стационарных вероятностей .

Выявление марковских свойств цепи, вложенной в более сложный процесс в каждом состоянии, позволяет для описания ПЭ использовать математический аппарат полумарковских процессов [5,13].

4.2. Формирование иерархической структуры полумарковской модели процессов эксплуатации летательных аппаратов

При построении полумарковской модели процесса ПЭ ЛА все этапы эксплуатации объекта следует разбить на непересекающиеся подмножества (состояния) [24].

С формальной точки зрения выбор  должен подчиняться единственному условию: события «объект находится в состоянии » образуют полную группу событий. Однако с практической точки зрения при исследовании конкретного процесса ПЭ ЛА нужно учитывать следующие факторы.

С одной стороны, необходимо, чтобы модель достаточно полно отражала нужные свойства реального процесса ПЭ ВС, что требует выделения достаточно большого количества состояний .

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Использо-вание по назначению | Ожидание ТОиР | ТОиР | Ожидание использования по назначению | Задержки вылета | Подготовка к использованию  по назначению |





































**Рис. 4.1.** Граф состояний и переходов ПЭ ЛА

С другой стороны, неоправданно большое разбиение процесса ПЭ ЛА на состояния  ведет к чрезмерному увеличению количества параметров модели и связанными с этим трудностями исследования такой модели и определения ее параметров. Например, наличие редко посещаемых состояний с большим средним временем пребывания в них требует огромного числа наблюдений за всем процессом ПЭ ЛА. Более того, в этом случае детализация информации о переходах из данного редко посещаемого состояния в часто посещаемые состояния и обратно, как правило, не имеет важного практического значения.

Одним из вариантов выделения состояний  является разбиение множества всех состояний ПЭ ЛА на группы в соответствии с порядком среднего времени пребывания в этих состояниях. Пусть, например, такое разбиение имеет вид [24]:

где  - время пребывания объекта в состояниях из  - порядка нескольких часов, в состояниях из - порядка нескольких суток, из - порядка нескольких недель и больше.

Исходная структура процесса ПЭ ЛА (табл. 4.1) сформирована с учетом существующей в системе государственной статистической отчетности формы № 34-ГА «Сведения о календарном времени самолетов, вертолетов». В этой ситуации совершенно ясно, что какие-либо меры по улучшению процесса ПЭ ЛА в состояниях групп  можно обосновать и применить гораздо быстрее, чем соответствующие меры по отношению к группе или . В табл. 4.1 приведены состояния процесса ПЭ ЛА , включающие следующие группы:

состояния, содержащиеся в форме № 34-ГА,

состояния, полученные путем декомпозиции состояний в рейсе (К) и на техническом обслуживании (ТО) формы № 34-ГА, которые предлагается ввести дополнительно (выделены курсивом),

новые состояния, которые предлагается ввести дополнительно (выделены полужирным шрифтом) [24].

Это означает, что

.

Тогда иерархическая структура модели ПЭ ЛА может быть представлена в виде графа состояний и переходов управляемого процесса ПЭ ЛА (рис. 4.2). Предложен новый подход к построению полумарковской модели управления процессом ПЭ ЛА с учетом его иерархической структуры и характера исходной информации. Использование приведенных методических рекомендаций по построению модели управления процессом ПЭ ЛА направлено на повышение его эффективности.

При таком подходе следует строить модели ПЭ ЛА на разных уровнях управления его иерархической структуры следующим образом [13] (табл. 4.2):

0-й уровень  – состояния 

1-й уровень – состояния 

2-й уровень – состояния 

3-й уровень – состояния 

Это означает, что .

Тогда иерархическая структура модели ПЭ ЛА может быть представлена в виде графа состояний и переходов управляемого процесса ПЭ ЛА (рис. 4.2).

Предложен новый подход к построению полумарковской модели управления процессом ПЭ ЛА с учетом его иерархической структуры и характера исходной информации. Использование приведенных методических рекомендаций по построению модели управления процессом ПЭ ЛА направлено на повышение его эффективности.

4.3. Основные характеристики полумарковской модели процессов эксплуатации летательных аппаратов

Выявление марковских свойств цепи, вложенной в более сложный случайный процесс с произвольным распределением времени пребывания ЛА в каждом состоянии, позволяет для описания ПЭ использовать математический аппарат полумарковских процессов [5,13,23].

Рассмотрим вероятности  перехода из *j* в *k* за n>1 шагов:

 (4.3)

где N - общее число состояний ПЭ.

Отсюда

 (4.4)

или в матричной форме:

,

где  - диагональная матрица, полученная из R заменой недиагональных элементов нулями.

Для эргодической вложенной цепи существует единственный вектор решения , удовлетворяющий условиям .

Обозначим , тогда

 (4.5)

где I - тождественная (единичная) матрица N**·**N.

Умножив обе части выражения (4.5) на , получим:

 (4.6)

Следовательно,и можно окончательно записать:

 (4.7)

В частности,

 (4.8)

Этот результат справедлив для вложенной цепи с сообщающимися состояниями. Если процесс не имеет поглощающих состояний и общее число состояний является конечным, то в таком процессе всегда можно указать маршрут конечной длины, следуя которому процесс может перейти из одного состояния в другое за конечное число шагов.

Среднее число шагов  первого попадания из i-го состояния в j-е удовлетворяет уравнению восстановления вида:

 (4.9)

Отсюда легко показать, что среднее число шагов *mij*, необходимых для возвращения процесса в состояние *i* , определяется равенством

 (4.10)

Функцию распределения времени безусловного пребывания процесса в состоянии *i*  выразим через функцию распределения времени перехода из *i*-го состояния в *j*-е

 (4.11)

Если  - среднее время, соответствующее распределению, то из (4.9) можно получить среднее время  безусловного пребывания процесса в состоянии :

 (4.12)

Обозначим через  среднее время до полного перехода из состояния *i* в состояние *j* и используя зависимости, сходные с (4.1 - 4.7), получим:

 (4.13)

где M - матрица, элементами которой служат безусловные средние ;  - диагональная матрица, полученная из *L* заменой недиагональных элементов нулями.

Выражение (4.13) может быть записано в виде:

 (4.14)

Для среднего времени возвращения процесса в состояние *i* получим:

 (4.15)

Для средней наработки объекта в состоянии *j* ПЭ между двумя очередными входами в состояние *i* можно получить формулу:

 (4.16)

где - число попаданий в состояние *j*. Отсюда следует, что



**Таблица 4.1**

Структура процесса ПЭ ЛА

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Фонд времени | Парк летательных аппаратов (Ф) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Исправные (И) | | | | | | | | Неисправные (Н) | | | | | | | | | | | | | | |
| Состоя-ния | В рейсе | | | | В ожидании  рейса | | | | Техничес-кое обслужи-вание | | Простои по орг. причинам | | Продле-ние ресурсов, сертификация | | Простои по КПН | | Рассле-дование АП, восстано-вление | | Ремонт, мониторинг ЛГ, списание | | | | |
| *В полете* | *Обеспечение вылета в рейсе* | *Устранение повреждений* | *Простои по метео в рейсе* | В резерве | Простои по метеоусловиям | Не совершавшие полетов | Обеспечение вылета | *Оперативное ТО* | *Периодическое ТО* | Отсутствие запчастей | Отсутствие двигателей | **Продление ресурсов и сроков службы** | **Сертификация экземпляра ЛА** | Доработки по бюллетеням | Рекламации промышленности | Расследование АП | Восстановление повреждений | Ожидание ремонта | Ремонт капитальный | **Мониторинг летной годности** | Рекламация АРЗ | Списание ВС |
| Новые | *П* | *Р* | *Р* | *Р* |  |  |  |  | *Б* | *П* |  |  | **Р** | **Э** |  |  |  |  |  |  | **Л** |  |  |
| № 34 ГА | К | | | | Г | М | А | Е | ТО | | З | В |  |  | Д | Ж | Л | В | Р | Р |  | Р | С |
| Уровни управле-ния | U0 | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| U1 | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | |
| U2 | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | |
| U3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Условные обозначения: Ф – общий фонд времени парка ЛА, в том числе фонды времени И – исправных ВС и Н – неисправных ЛА.

**Таблица 4.2**

Иерархическая структура процесса ПЭ ЛА

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Уровни управления | | | | Подмножества состояний процесса ПЭ ЛА | | Состояния процесса ПЭ ЛА | |
| U1 | U2 | U3 | U4 | Обозначение, | Наименование | Обозначение | Наименование |
| + | + | + | + |  | Исправные в рейсе | *П* | *В полете* |
| *ЕР* | *Обеспечение вылета в рейсе* |
| *ВР* | *Восстановление повреждений в рейсе* |
| *МР* | *Простои по метеоусловиям в рейсе* |
|  | + | + | + |  | Исправные в авиапредприятии | Г | В резерве |
| А | Исправные, не совершавшие полетов |
| М | Простои по метео в базовом аэропорту |
| Е | Обеспечение вылета в базовом аэропорту |
|  |  | + | + |  | Неисправные в авиапредприятии | *ТБ* | *ТО по форме Б* |
| *ТП* | *ТО по периодическим формам* |
| З | Отсутствие запасных частей |
| ДВ | Отсутствие двигателей |
| Д | Доработки по бюллетеням |
| Ж | Рекламации промышленности |
| В | Восстановление повреждений |
| ПР | **Продление ресурсов и сроков службы** |
| Э | **Сертификация экземпляра ЛА** |
| Л | Расследование происшествий |
|  |  |  | + |  | Неисправные в Центре ТОиР (АРЗ) | Мл | **Мониторинг летной годности** |
| ОР | Ожидание ремонта |
| РК | Ремонт капитальный |
| ЖР | Рекламации ремонтным заводам |
|  |  |  |  |  |  | С | Списание ЛА |

U0(К)

U1

U2

U3

**Рис. 4.2**. Иерархическая структура модели процесса ПЭ ЛА:

U0 – нулевой уровень управления (цикл использования по назначению), U1 – 1-й уровень управления (оперативный цикл), U2 – 2-й уровень управления (периодический цикл), U3 – 3-й уровень управления (ремонтный цикл).

Обозначения состояний приведены в табл. 4.2.

Введем вероятность перехода из состояния *i* в состояние *j* за время, не превышающее *t* :

 (4.17)

Теорема Смита [14] для конечных процессов с сообщающимися состояниями произвольных функций при <

 . (4.18)

Выражение (4.18) представляет собой коэффициент использования в состоянии *j* . В частности, если *j* - целевое состояние ПЭ, то  можно определить её целевую функцию ПЭ.

Покажем, что выбранная целевая функция может рассматриваться как коэффициент использования и его максимум может служить критерием оптимальности ПЭ. Используя выражение (4.15), найдем

. (4.19)

Из (4.19) следует, что >*0* для всех  и . Следовательно,  есть вероятность.

Так как  есть функция , то она является функцией ПЭ и поэтому может служить целевой функцией.

Из выражения (4.19) путем нескольких алгебраических преобразований можно получить серию распространенных на практике удельных критериев эффективности ПЭ, в частности, удельные затраты на техническую эксплуатацию. Это обстоятельство служит неформенным обоснованием выбора *Kj* в качестве целевой функции.

Из (4.19) можно, например, получить

 (4.20)

Выражение

 (4.21)

стоящее в знаменателе (4.20), часто называют коэффициентом средних удельных потерь. Для максимизации *Kj* в (4.20) достаточно минимизировать . Снижение  возможно прежде всего за счет перераспределения вероятностей и , а также сокращения .

В том случае, когда вместо средних времен  введены средние стоимости *Ск* пребывания в состояниях , из выражения (4.20) можно получить экономический критерий оптимальности ПЭ *Kjc*. Действительно, в этом случае имеем:

 (4.22)

Если положить, что каждый час использования объёма по прямому назначению дает удельный доход , то можно считать, что доход определяется произведением .

Подставляя это выражение в (4.22), получаем



Сомножитель при  носит название средних удельных затрат  на техническую эксплуатацию объема. Если *dj=сonst*, то максимум *Кjc* достигается минимизацией выражения

 (4.23)

Условие  вполне справедливо, если оптимизации будет подвергнут лишь ПЭ. Одновременно с этим принимается постоянным и значение среднего времени пребывания объекта в целевом состоянии , которое определяется его назначением и конструкцией, а также другими факторами, не связанными непосредственно с ПЭ. В то же время, как следует из (4.23), снижение удельных затрат  на ТОиР возможно путем перераспределения вероятностей  и , а также изменением затрат *Ск*.

Аналогично выражению (4.23) может быть получена зависимость для определения удельных трудозатрат

 (4.24)

где  - трудовые затраты за одно пребывание в состоянии *k*.

Анализируя целевые функции (4.20-4.23), получим следующие критерии оптимальности ПЭ и (или) .

**5. МЕТОДЫ АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ**

**ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

5.1.Система показателей эффективности процессов эксплуатации летательных аппаратов

Оценка показателей эффективности ПЭ ЛА производится на каждом уровне иерархической структуры ПЭ ЛА (табл. 4.1, 4.2, рис. 4.2) по формулам, приведенным в табл. 5.1.

Единичные показатели эффективности ПЭ ЛА характеризуют достижение отдельных целей управления.

Комплексные показатели эффективности ПЭ ЛА характеризуют достижение нескольких целей или всех целей.

По сравнению с известной системой показателей эффективности процесса технической эксплуатации [14, 23] в табл. 2.2, 5.1 введены дополнительно показатели (выделены курсивом) [15]:

1) единичные показатели - вероятность безотказной работы на j-м уровне управления,  наработка на отказ на j-м уровне управления , среднее время восстановления , вероятность восстановления в заданное время 

2) комплексные показатели - коэффициент готовности , коэффициент оперативной готовности , коэффициент оперативного использования на j-м уровне управления , коэффициент эффективности использования на j-м уровне управления .

5.2. Методы дифференциального анализа и прогнозирования показателей эффективности процессов эксплуатации летательных аппаратов

Изменение показателей эффективности ПЭ ЛА во времени отражает динамику процесса. Учитывая подверженность ПЭ ЛА воздействию широкого спектра эксплуатационных факторов и сезонных колебания, целесообразно привлечь для анализа математический аппарат временных рядов [1]. Временной ряд наблюдаемых значений показателя эффективности образован в результате месячных оценок эффективности ПЭ в течение рассматриваемого периода времени . Целью дифференциального анализа является построение модели, описывающей динамику показателя эффективности

. (5.1)

Временной ряд может быть представлен в виде сочетания следующих компонент: регулярной составляющей , описываемой гладкой зависимостью и отражающей устойчивую тенденцию развития процесса (тренд); гармонической составляющей , характеризующей циклический процесс с периодом колебания более 12 месяцев; сезонной составляющей , учитывающей сезонные колебания с периодом в 12 месяцев и случайной составляющей , учитывающей подверженность ПЭ воздействию случайных факторов.

**Таблица 5.1**

Оценка обобщенных показателей эффективности ПЭ ЛА,

наименования которых приведены в табл. 2.2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Обозначения показателей | Оценка показателей | |
| Расчетные формулы | Исходные данные |
| 1 | 2 | 3 |
| 1. Безотказность АТ и безопасность полетов | | |
| 1.1 |  | суммарное количество отказов, выявленных в полете, - наработка (налет) парка ЛА |
| 1.2. |  | - суммарное количество отказов, приведших к инцидентам |
| 1.3*.* |  | - количество отказов за время (наработку) , - общее количество наблюдаемых изделий |
| 1.4*.* |  | - суммарная наработка |
| 1.5***.*** |  | - количество особых ситуаций i-го вида за время , - общее количество полетов |
| 1. Регулярность отправления ВС в рейсы | | |
| 2.1***.*** |  | - количество задержек отправлений ВС в рейсы по техническим причинам, - общее количество отправлений ВС в рейсы |
| 2.2. |  | - суммарное время задержки рейсов |
| 1. Использование ВС по времени | | |
| 3.1. |  | - налет парка ВС на -м уровне управления, - календарный фонд времени парка ВС |
| 3.2. |  | -суммарное время пребывания парка ЛА в исправном состоянии на -м уровне управления |
| 3.3*.* |  | - суммарное время восстановления, - общее количество восстановлений |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Продолжение табл. 5.1** | | |
| 1 | 2 | 3 |
| 3.4. |  | - количество восстановлений за время меньше заданного, - общее количество восстановлений |
| 3.5. |  | -суммарные простои парка ЛА по техническим причинам |
| 4. Экономичность эксплуатации ЛА | | |
| 4.1. |  | -суммарные трудовые затраты на эксплуатацию ЛА |
| 4.2. |  | - суммарные материальные затраты на эксплуатацию ЛА |
| 4.3. |  | - суммарные затраты на эксплуатацию ЛА |
| 5. Комплексные показатели эффективности | | |
| 5.1*.* |  |  |
| 5.2*.* |  |  |
| 5.3*.* |  |  |
| 5.4. |  | , - фонд календарного времени на  уровне управления, соответственно |

Методы дифференциального анализа обеспечивают решение следующих задач: определение компонентного состава временного ряда ; определение вида модели; сглаживание значений исходного ряда; выравнивание сглаженных значений теоретической зависимостью, описание и выделение регулярной, гармонической и сезонной составляющих; исследование случайной составляющей (рис. 5.1).

Компонентный состав ряда  можно определить по характеру изменения интенсивности спектра исходного ряда. Для этого по сформированным значениям выявляютсявеличины:

, (5.2)

, (5.3)

 (5.4)

 (5.5)

 , (5.6)

где  - циклическая частота (число циклов в единицу времени), - период колебания.

Если величина  нечетная, то  изменяется в пределах . Результаты вычислений могут быть представлены в виде графика зависимости интенсивности спектра от циклической частоты  (рис. 5.2). Анализ зависимостей  позволяет выявить компонентный состав исследуемого ряда. Если в исходном ряде присутствует тренд, то все графики интенсивности спектра имеют скачок в начале координат убывающий с увеличением циклической частоты (рис. 5.2).

О наличии гармонических составляющих свидетельствуют скачки интенсивности спектра, проявляющиеся на определенных частотах. Так, например, наличие составляющей с периодом колебаний в 12 месяцев проявляется в виде скачка на частоте 0,083 (рис. 5.3).

Анализ интенсивности спектра исходного ряда позволяет выявить наличие следующих компонентов: тренда , гармонической составляющей  с периодом колебаний более 12 месяцев, сезонной составляющей  с периодом колебаний в 12 месяцев и случайной составляющей  (рис. 5.4).

Для проверки гипотезы о наличии тренда наиболее часто применяются критерии, основанные на ранговой корреляции, на знаках разностей, на длине фазы и на поворотных точках [15]. Для обнаружения линейного тренда наилучшим является критерий, основанный на ранговой корреляции. Если предполагается, что тренда нет, то для проверки гипотезы о случайности исходного ряда целесообразно пользоваться критерием, основанным на поворотных точках. При большом количестве поворотных точек используется фазовый критерий.

Компоненты, описывающие динамику показателей эффективности, могут сочетаться в виде следующих моделей:

аддитивной

,

мультипликативной

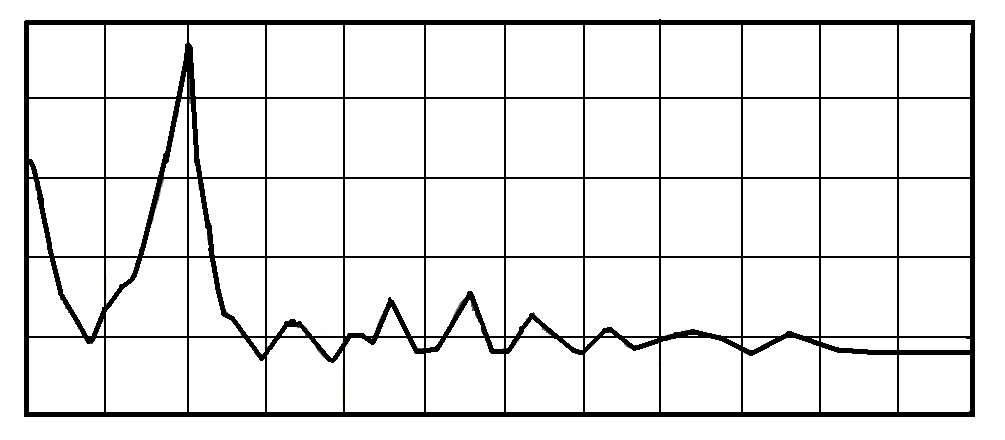
,

смешанной

.



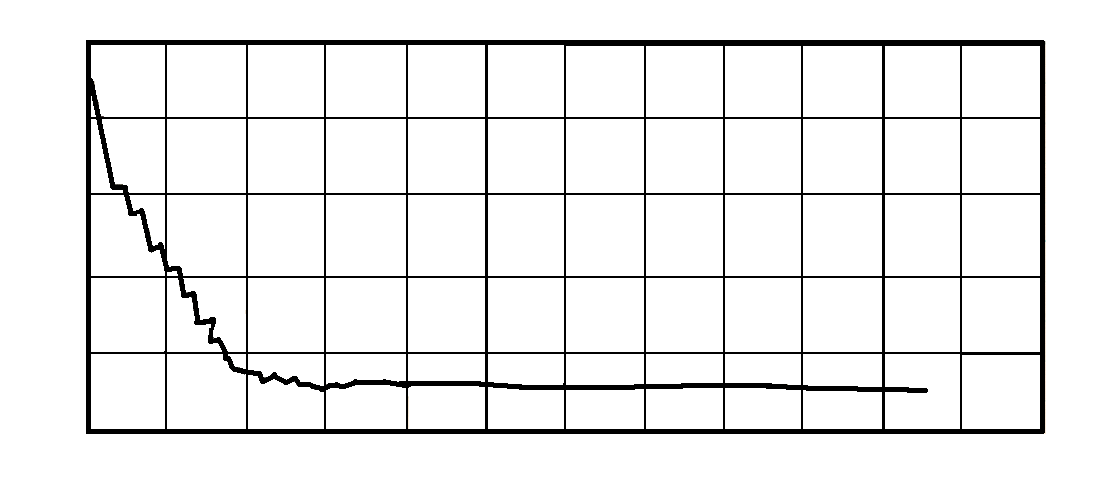
I (λi)



λi

0 0,25 0,5

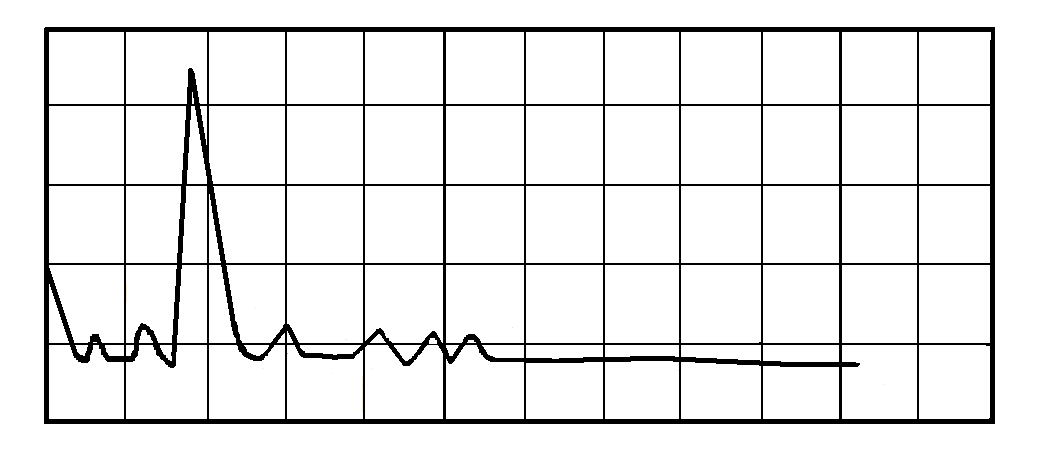
**Рис. 5.2**. Зависимость интенсивности спектра от циклической частоты I(λi)

I(λi) λi

0 0,25 0,5

**Рис. 5.3**. Вид интенсивности спектра гладкого тренда

I (λi)



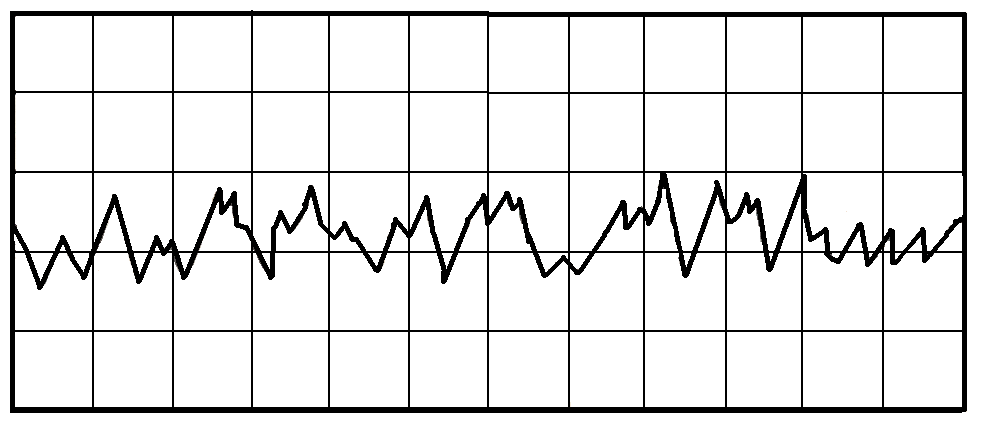
λi

0 0,25 0,5

**Рис. 5.4**. Вид интенсивности спектра с гармонической составляющей

в 12 месяцев

I (λi)



λi

0 0,25 0,5

**Рис. 5.5**. Вид интенсивности спектра случайного ряда

Аддитивные модели характеризуются постоянным рассеиванием относительно некоторой тенденции, а для мультипликативных моделей рассеивание относительно тенденции увеличивается во времени.

Для выделения отдельных компонент производится предварительная статистическая обработка (сглаживание) исходного ряда методами простой скользящей средней, взвешенной скользящей средней и экспоненциальной средней. При использовании метода взвешенной скользящей средней сглаженные значения исходного ряда получаютсяв результате вычислений 

, ,

.

Полученная последовательность  называется скользящей средней исходной последовательности . Если исходный ряд имеет случайную составляющую, то

.

Предполагается, что , , , .

В силу этого величина  имеет дисперсию . Веса выбираются малыми, чтобы дисперсия была значительно меньше, чем дисперсия . В [2] приведены таблицы  для различных  и  (степень аппроксимирующего полинома). В результате сглаживания исходного ряда скользящей средней возникают ошибки:

систематическая ошибка, выраженная соотношением

;

случайная ошибка, оцениваемая дисперсией величины

.

Если сглаживающая формула основывается на полиноме степени  и тренд является полиномом той же (или меньшей) степени, то систематическая ошибка равна нулю, в противном случае она отличается от нуля. При фиксированном значении  систематическая ошибка с увеличением  в большинстве случаев возрастает, а дисперсия  убывает [1] . В то же время при фиксированном  систематическая ошибка с увеличением  убывает, а дисперсия величины  возрастает. Задача выбора значений  и  является статистической задачей с многими решениями.

Если известны дисперсия величины  и средние квадраты систематической ошибки для каждой комбинации  и , то можно выбрать комбинацию  и , минимизирующую среднеквадратическую ошибку. В действительности в начале исследования эти величины не известны, а строить алгоритм на последовательном выборе решений нецелесообразно. Наиболее целесообразный подход заключается в определении наименьшего , при котором средний квадрат смещения близок или равен нулю, когда  фиксировано или является заданной функцией , например , для этого применяется метод последовательных разностей с вычислением величины

, (5.7)

где - разности порядка , определяемые как

, ,

Если исходный ряд содержит полином порядка  (или локально представляется рядом полиномов) с наложенным на него случайным элементом, то переход к разности порядка исключает его из значений исходного ряда и оставляет элементы, связанные со случайной компонентой. Из формулы (5.7) следует, что математическое ожидание величины  зависит от суммы . Эта сумма равна нулю, если полином имеет степень, меньшую , и приближается к нулю, если функция близка к полиному степени . Использование величины для определения степени аппроксимирующего полинома скользящей средней заключается в проверке гипотезы , а затем гипотезы  в предположении, что , . Эта гипотеза отвергается, если  будет намного больше . Для этой процедуры используется статистика

. (5.8)

Если указанная гипотеза верна, то математическое ожидание числителя  анализируемого критерия (5.8) равно нулю. В противном случае оно положительно. Практическое использование данной статистики связано с определенными трудностями, заключающимися в том, что предельная вероятность гипотезы , а затем гипотезы  описывается двумерным нормальным распределением. Предельная вероятность для  решений требует привлечения  - мерного нормального распределения. На практике обходят эти трудности, производя проверку по каждому критерию в отдельности. При этом процедура определения степени полинома сводится к следующим операциям: применяя оператор вычисления разностей к исходному ряду*,* получаем последовательность  и вычисляем ; затем, применяя разностный оператор к , получаем последовательности  , вычисляем  и т.д., получая последовательности ; поскольку величины определяются одна из другой, то каждая из них сравнивается с предыдущей до обнаружения момента, когда эта величина становится постоянной. Значение величины , после которого  становится постоянной, принимается за степень полинома скользящей средней.

Перед выравниванием сглаженных значений теоретической кривой необходимо дополнить на обоих концах значения сглаженного ряда  значениями, которые теряются при сглаживании исходного ряда скользящей средней. С учетом этого сглаженные значения ряда могут быть получены в результате следующих вычислений

, , (5.9)

, , (5.10)

, . (5.11)

Анализ показал, что на практике величину можно принять равной тремопределить следующим образом: вычислить разности -го порядка

, , , (5.12)

вычислить показатель по формуле (5.7).

Принимается то численное значение , после которого величина становится постоянной. Значения коэффициентов , с учетом и  могут быть взяты из таблиц, приведенных в [2].

Процесс выравнивания сглаженных значений теоретической кривой состоит из двух этапов: выбора типа кривой, форма которой соответствует характеру изменения динамики ряда; определения численных значений параметров кривой.

При выборе формы кривой следует учитывать, что сложные кривые в ряде случаев увеличивают точность описания тренда в прошлом, однако большое число параметров и более высокие степени независимой переменной приводят к расширению доверительных интервалов по сравнению с более простыми кривыми при одном и том же периоде упреждения.

Существуют разные способы выбора формы кривой [1]. При визуальном способе риск субъективного и произвольного выбора достаточно велик. Однако при относительно простой конфигурации тенденции развития визуальный способ дает приемлемые результаты. При выравнивании ряда многочленами используют метод последовательных разностей [1,2] , который позволяет определить степень выравнивающего полинома.

В некоторых случаях для выбора формы кривой принимают один из статистических критериев:

1) стандартная ошибка ,

где  - число определяемых коэффициентов кривой;

2) средняя относительная ошибка

,

3) среднее линейное отклонение

.

Наиболее важным и хорошо зарекомендовавшим себя на практике критерием является корреляционное отношение

,

которое и будем использовать в наших исследованиях.

Поскольку область изменения величины  (О, I), то близость корреляционного отношения к единице позволяет судить о надежности выбора вида зависимости.

Для оценки достоверности выбранного вида зависимости используем -критерий Фишера

,

где - табличное значение при заданной доверительной вероятности .

Для выбора гипотезы о виде кривой по сглаженным значениям исходного ряда можно использовать средние приросты:

,

,



и по характеру изменения показателей (табл. 5.2) можно судить о форме кривой [27].

Используя линеаризацию, можно подобрать тип кривой среди гладких функций, которые путем несложных преобразований сводятся к прямой (табл. 5.2).

Процедура выбора кривой заключается в следующем:

а) сглаживание значений исходного ряда путем преобразования приводим к линейной зависимости вида

;

б) вычислим значения коэффициентов

, (5.13)

; (5.14)

**Таблица 5.2**

Характер изменения показателей для различных видов кривых

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| №п/п | Показатель | Характер изменения показателей во времени | Вид кривой |
| 1 |  |  |  |
| 2 |  |  |  |
| 3 |  |  |  |
| 4 |  |  |  |
| 5 |  |  |  |
| 6 |  |  |  |
| 7 |  |  |  |
| 8 |  |  |  |

в) вычислим коэффициент детерминации

; (5.15)

г) вид кривой, описывающей гладкую компоненту исходного ряда - , выбираем из табл. 5.2 по наибольшему коэффициенту детерминации.

После того, как выбрана зависимость, описывающая гладкую составляющую , она удаляется из значений исходного ряда в соответствии с принятой гипотезой о характере исходной модели:

для аддитивной модели

,

для мультипликативной модели

.

Если в результате анализа частотных характеристик исходного ряда установлено наличие гармонических составляющих и , то они также выделяются. Процедура выделения гармонических составляющих заключается в следующем:

а) для очищенных от тренда значений исходного ряда вычисляем по зависимостям (5.1-5.6) величины , , ;

б) выделяем циклические частоты  (значения меньше 0,083), на которых интенсивность спектра  имеет существенные скачки, и по этим частотам записываем выражение гармонической составляющей

 (5.16)

где ,

,

,

где  - множество выделенных частот , на которых интенсивность спектра имеет существенные скачки;

в) сезонная составляющая записывается в следующем виде:

 (5.17)

где

,

.

После того, как описаны гармонические составляющие и  , выделяем их из ряда и для оставшихся членов ряда ,  вычисляем характеристики:

,

.

Одним из условий правильности выбора вида модели, описывающей динамику показателя эффективности, является отсутствие взаимосвязи в остаточных членах ряда .

Для обнаружения автокорреляции в остаточных членах ряда используется статистика [2, 27]

.

где -  - коэффициент автокорреляции первого

порядка.

При отсутствии автокорреляции статистика *d* принимает значение, равное двум. В случае полной автокорреляции статистика принимает значение ноль и четыре. В [27] приведена таблица для проверки гипотезы о значимости критерия .

В том случае, когда наблюдается автокорреляция в значениях случайной составляющей, ее необходимо описать с помощью авторегрессионной модели



где- коэффициенты уравнения авторегрессии;

- случайные величины, удовлетворяющие условиям



{.

Если значения,  распределены по нормальному закону , оценку параметров уравнения авторегрессии получаем следующим образом:

,

, ,

,

где - вектор оцениваемых параметров уравнения регрессии; - матрица, компоненты которой являются значениями

,

 - вектор значений 

Если условие относительно случайной составляющей не выполняется, необходимо пересмотреть исходную модель.

После того как описаны все составляющие динамики исходного ряда, приступаем к прогнозированию показателя эффективности на предстоящий период. Прогнозирование заключается в точечной оценке прогноза на период упреждения L и в оценке доверительных границ прогноза.

Точечная оценка прогноза на период упреждения L получается как

. (5.18)

Доверительный интервал прогноза имеет следующий вид:

, (5.19)

где - среднее квадратическое отклонение суммарного прогноза;

- статистика Стьюдента, таблица которой приведенав [18].

Для аддитивной модели суммарная дисперсия имеет зависимость

, (5.20)

где **-** дисперсия прогнозаj-й компоненты.

Для мультипликативной модели

.

Дисперсия прогноза компоненты, выраженной линейной зависимостью, имеет следующий вид:

.

Для нелинейных зависимостей, приведенных в табл. 5.2 , дисперсия прогноза находится через линеаризирующие преобразования, которые приведены в этой же таблице.

Для гармонических составляющих ряда ив качестве оценки дисперсии прогноза используется выражение [1]:

, (5.21)

где - число частот, которые включены в функциональные зависимости и;

- дисперсия исходного ряда.

5.3. Методы комплексного анализа и прогнозирования показателей эффективности процессов эксплуатации летательных аппаратов

При управлении ПЭ ЛА возникает необходимость в анализе и прогнозировании показателей эффективности с учетом взаимосвязей между ними. Появляется потребность в методах комплексного анализа и прогнозирования показателей, которые позволили бы выделить некоррелированные факторы, оказывающие доминирующее влияние на показатели эффективности ПЭ ЛА (рис. 5.6).

Для решения этих задач следует применять к исходным показателям процедуру выделения общих факторов, основанную на методах многофакторного анализа [20, 26]. Сущность многофакторного анализа показателей эффективности заключается в следующем. Пусть мерный случайный вектор, представляющий оценку показателей эффективности ПЭ ЛА; мерный вектор, компонентами которого являются непосредственно ненаблюдаемые переменные (общие факторы); вектор сумм ошибок и специфических факторов. Каждое конкретное значение  вектора  может рассматриваться как сумма воздействий некоторого небольшого числа общих факторов , взятых с определенными весами  специфического фактора , воздействующего только на данную переменную и ошибки измерения . Поскольку  и  в факторном анализе не различимы, их будем рассматривать как сумму , - матрица порядка  (, элементы которой - факторные веса, определяющие нагрузку -й переменной на -й фактор,  - число наблюдений над вектором .

Основное выражение факторного анализа в матричной форме имеет вид

,

где  - общая часть, обусловленная действием общих факторов;

- специфическая часть.

Предполагаем, что  не зависит от , и все  не коррелируют между собой.

В качестве исходных данных для комплексного анализа используются "очищенные" от тренда значения показателей эффективности, сформированные в виде матрицы  для  -го показателя эффективности  и -го объекта наблюдения (интервала времени) . Тогда -е значение -го исходного показателя представляется как линейная комбинация -х общих факторов, .

, ,.

Для оценки взаимосвязи между исходными показателями эффективности определяется корреляционная матрица , элементы которой вычисляются по формуле

,

где  - число объектов наблюдения,

;  - средние значения показателей , .

Предположим для удобства, что случайные величины  нормированы, тогда дисперсия  разлагается в сумму

,

где  - общности - часть дисперсии, обусловленная общими факторами,

- дисперсия, обусловленная специфическими факторами и ошибками.

Матрица  может быть объяснена при помощи некоторого числа общих факторов

,

где  - исходная корреляционная матрица с единицами на главной диагонали;  - редуцированная корреляционная матрица, у которой на главной диагонали стоят величины , соответствующие общностям;  - диагональная матрица из квадратов сумм специфических факторов и ошибок.

Матрица  получается путем замены диагональных элементов матрицы  на значения . Процедура заключается в следующем: для каждого столбца матрицы  определяется максимальное абсолютное значение элемента и ставится с положительным знаком на главную диагональ. Разложение матрицы  при использовании центроидного метода и метода главных факторов позволяет определить необходимое количество общих факторов, достаточное для отражения всех корреляций между показателями и нагрузки каждого фактора для разных показателей.

В основе этой процедуры лежит выражение для некоррелированных факторов.

,

где - матрица факторных весов порядка.

В случае применения метода главных компонент для определения факторных нагрузок в расчетах используется исходная корреляционная матрица .

Поскольку  - симметричная матрица, то путем ортогональныx преобразований ее можно привести к диагональному

,

где  - ортогональная преобразующая матрица, столбцами которой являются собственные векторы , образующие ортонормированную систему;

 - диагональная матрица, составленная из характеристических корней .

Ввиду ортогональности матрицы  имеем:

,

,

где.

Таким образом, задача определения матрицы факторных нагрузок сводится к нахождению собственных значений и собственных векторов.

Из большого количества существующих методов нахождения собственных значений и собственных векторов [7,10] выберем метод Якоби, обеспечивающий хорошую сходимость. Сущность данного метода заключается в нахождении такой ортогональной матрицы , при которой выполняется условие

. (5.22)

редуцированной

редуцированной

процесса



Так как при всех ортогональных преобразованиях сферическая норма матрицы  не изменяется, то от всех ортогональных преобразований матрицы  преобразование (5.22) отличается тем, что это преобразование делает максимальной сумму квадратов диагональных элементов преобразованной матрицы и минимальной сумму квадратов всех внедиагональных элементов этой матрицы.

Метод нахождения диагональной матрицы  состоит в построении последовательности матриц



каждая последующая из которых получается из предыдущей при помощи выражения

, (5.23)

где

 (5.24)

Номера  и  выбираем таким образом, чтобы значение было наибольшим среди квадратов всех недиагональных элементов матрицы , то есть выбор номеров  иподчинить условию:

, , ,  (5.25)

Угол поворота  в матрице выбираем из условия

, . (5.26)

Обозначим сумму квадратов всех внедиагональных элементов матрицы  через . При числе итераций, стремящемся к бесконечности, имеет место следующее равенство

. (5.27)

Опираясь на это выражение, необходимое число итераций  и соответствующие им величины и  определяем на основании выражений (5.23-5.27) с учетом условия

, (5.28)

где -неотрицательное число, характеризующее степень точности вычислений.

В качестве значений для матрицы  берем диагональные значения матрицы , сумма квадратов внедиагональных элементов которой удовлетворяет условию (5.27), а для матрицы  выражение

.

Применение метода Якоби для нахождения собственных значений и собственных векторов требует реализации его на ЭВМ, так как этот метод сопряжен с большим объемом вычислений.

Для отыскания собственных значений и собственных векторов с использованием простейших вычислительных средств можно использовать метод Крылова [7].

Задача определения собственных чисел методом Крылова сводится к решению характеристического уравнения

, (5.29)

где - коэффициенты характеристического полинома, определяющиеся путем решения следующей системы уравнений







- собственные значения матрицы ;

 - матрица, столбцы которой получаются при помощи следующих вычислений ;

 - произвольный исходный вектор.

Если исходный вектор  выбран удачно, так что определитель



системы уравнений относительно  отличен от нуля, то значения коэффициентов характеристического полинома можно получить, решая исходную систему обычными методами, изложенными в [7].

После того, как найдены значения , необходимо решить исходное характеристическое уравнение (5.28) относительно  любым численным методом [7].

Собственные векторы  находим по следующей зависимости, выраженной в векторной форме:

,

где



Учитывая то, что значения собственных векторов определяются с точностью до постоянного множителя, целесообразней пользоваться нормированными значениями собственных векторов, которые определяем следующим образом:

, .

После того, как вычислены собственные значения и собственные векторы, переходим к формированию матриц  и .

Диагональная матрица  образуется путем выстраивания по диагонали в порядке убывания квадратных корней собственных значений матрицы . Матрица  представляет собой ортогональную матрицу, столбцы которой являются собственными векторами матрицы .

Затем определяем матрицу факторных нагрузок

.

Число значимых факторов, оказывающих доминирующее воздействие на исследуемые показатели и описывающих их не менее исходной информации, определяем из условия:

,

где - сумма квадратов элементов -го столбца матрицы факторных нагрузок ; - сумма квадратов элементов -й строки матрицы факторных нагрузок ; m- число рассматриваемых показателей эффективности;  - число рассматриваемых факторов. Значение  выбираем в пределах 80-90 %.

Полученные факторные нагрузки не являются единственным решением. Путем ортогональных преобразований можно получить другие эквивалентные наборы факторных решений. Геометрический смысл данной процедуры состоит в повороте системы координат в пространстве общих факторов вокруг начала координат. В новом факторном решении факторы продолжают оставаться независимыми и описывают тот же объем суммарной дисперсии исходных показателей.

Вращение осуществляется для облегчения интерпретации результатов. При этом необходимо стремиться к тому, чтобы показатели, которые в большей или меньшей степени измеряют некоторые легко опознаваемые стороны явления, имели высокие нагрузки на один фактор (этому фактору присваиваем наименование соответствующего явления) и почти нулевые нагрузки - на другие факторы.

Пусть в результате исследований необходимо изменить факторные нагрузки у факторов  и . Данная процедура осуществляется следующим образом:

,

где - значения исходной матрицы факторных нагрузок ;

- значения преобразованной матрицы факторных нагрузок ,.

При вращении по часовой стрелке матрица ортогональных преобразований выглядит следующим образом:

.

Угол поворота  подбираем исходя из следующих соображений: согласованность результатов с выводами, получаемыми в результате других исследований; получение факторной структуры, согласующейся с существующими гипотезами о взаимосвязи между рассматриваемыми показателями.

В качестве критерия оптимального (в смысле интерпретации) положения факторных осей в пространстве используется варимакс - критерий [26]

,

где определяется как дисперсия квадратов соответствующих факторных весов

.

Оптимальное положение факторных осей в пространстве определяется в виде

,

где  - исходная матрица факторных нагрузок;

*T* - ортогональная преобразующая матрица, выбранная таким образом, чтобы критерий  для матрицы  был максимальный. Матрица факторных весов определится как

,

где  - матрица, обращенная по отношению к матрице ,  - матрица факторных весов размерности ; - число выделенных общих факторов, оказывающих доминирующее воздействие на показатели эффективности ПЭ ЛА.

Преимуществом прогнозирования с использованием результатов факторного анализа по сравнению с прогнозированием непосредственно каждого показателя в отдельности является существенное снижение размерности решаемой задачи и одновременное согласование прогнозов отдельных показателей.

Комплексный прогноз показателей эффективности ПЭ ЛA строится на основе методов прогнозной экстраполяции. Применение этих методов увязывает фактическое развитие эффективности ПЭ с гипотезами о динамике исследуемого процесса в перспективе с учетом его физической и логической сущности. При определении прогнозных значений предполагается, что статистическая структура прогнозируемой системы на отрезке времени упреждения сохраняет свои основные тенденции. Исходя из этого, для получения прогнозных значений с использованием результатов факторного анализа предполагается, что матрица факторных нагрузок на отрезке времени упреждения  равна матрице факторных нагрузок, полученной на базовом отрезке времени .

Оценку прогноза эффективности ПЭ на предстоящий период получаем по следующей зависимости:

,(5.30)

где  - матрица, у которой первые  столбцов являются оценками показателей эффективности  для прошедшего периода наблюдения, а последние  столбцов - прогнозируемыми значениями показателей;  - матрица факторных весов, у которой последние столбцов получаются в результате прогноза развития динамики выделенных факторов на период упреждения; - матрица факторных нагрузок, наилучшим образом объясняющая природу взаимосвязей между рассматриваемыми показателями.

Получить прогнозные значения матрицы факторных весов можно двумя способами:

а) используя механизм индивидуального прогнозирования;

б) построением регрессионной модели динамики выделенных факторов в зависимости от основных технико-экономических показателей авиапредприятия.

При использовании второго способа в качестве технико-экономических показателей могут быть приняты планируемые на этот период показатели: налет парка ЛА; объемы работ, характеризующие программу ТОиР эксплуатируемого парка ЛА; располагаемый фонд времени, учитывающий количество эксплуатируемых ЛА; производительность труда на техническом обслуживании и т.д.

Для выделенной группы технико-экономических показателей формируется матрица

,

где столбцы этой матрицы, начиная со второго, характеризуют выделенные показатели, а строки - численные значения этих показателей, получаемых в результате наблюдений за ними на отрезке времени .

Необходимо учитывать, что значительное увеличение числа технико-экономических показателей (предикторы регрессионной модели) приводит к заметному усложнению модели и не во всех случаях ведет к повышению ее точности. В связи с этим возникает задача выбора технико-экономических показателей .

В качестве критерия для определения оптимального количества предикторных переменных в регрессионной модели можно использовать выражение [4]

,

где - нижняя доверительная граница истинного значения коэффициента детерминации  для заданной доверительной вероятности ;

- множитель пропорциональности, зависящий oт доверительной вероятности ;

n - число наблюдений над вектором ;

- число предикторных переменных .

Величина  вычисляется по следующей зависимости:

,

где - коэффициент детерминации (квадрат множественного коэффициента корреляции)

.

Последовательно для каждого вычисляются значения величин  и . В качестве оптимального числа предикторов, включаемых в модель, берется то значение , для которого величинамаксимальна.

Выбор предикторов, подлежащих включению в модель, производится на основе оценки частных коэффициентов корреляции между зависимой переменной (анализируемый фактор) и наблюдаемыми предикторами (технико-экономическими показателями). В модель включаются те показатели, которые имеют наибольшее значение коэффициента корреляции.

Коэффициенты корреляции между переменными и  определим по следующему выражению:

,

- частный коэффициент корреляции между переменными и при фиксированных значениях всех остальных переменных ;

- алгебраическое дополнение для элемента в определителе корреляционной матрицы  анализируемых признаков , т. е. в определителе

,

где rij – парные коэффициенты корреляции, определяемые по зависимости:

.

Для прогнозирования эффективности ПЭ целесообразно использовать модель множественной регрессии [8,9] , которая учитывает взаимосвязь динамики факторных весов  с выделенной группой показателей , характеризующих производственную деятельность авиапредприятия. Решение этой задачи будем искать среди линейных (относительно оцениваемых параметров) нормальных схем регрессионных зависимостей случайного результирующего показателя  от неслучайных объясняющих переменных вида



где - система известных (базисных) функций (в частном случае , для , - неизвестные (подлежащие оцениванию) параметры, а остаточная случайная компонента  подчинена нормальному закону распределения со средним значением  и дисперсией , то есть . Отсюда вытекает, что истинная функция регрессии имеет вид

.

Связь между имеющимися наблюдениями  в матричной форме определяется соотношением следующего вида

,

где  - вектор-столбец наблюдаемых значений -го факторного веса;

- вектор-столбец наблюдаемых регрессионных остатков;



- матрица значений базисных функций в наблюдаемых точках предикторной переменной.

При этом принимаем, что нормально распределенные регрессионные остатки  взаимно некоррелированы, то есть их ковариационная матрица имеет вид ,

где - единичная матрица размерности .

Предполагаем, что в классе допустимых решений  определено семейство, "покрывающее" истинную функцию регрессии, то есть



и, следовательно, .

Оценки  неизвестных параметров , участвующих в аналитической записи функции регрессии , определяются в соответствии с методом наименьших квадратов по следующей зависимости:

.

После получения оценки параметров  необходимо решить вопрос об их значимости и включении их в уравнение регрессии. Для этого проверяем гипотезу . Если в этом случае для выбранной доверительной вероятности  выполняется условие:

,

где ,

- табличное значение -статистики Стьюдента [28] с  степенями свободы,

то параметр  малозначим в выбранной нами регрессии и его нецелесообразно включать в уравнение регрессии.

Приведенные оценки  и  являются несмещенными и эффективными, то есть имеют минимальную дисперсию среди всех несмещенных оценок.

В том случае, когда объясняющие переменные сильно коррелированы, то есть существуют линейные связи между несколькими или всеми объясняющими переменными , необходимо при оценивании параметров уравнения регрессии учитывать это (явление ультиколинеарности). Учесть это явление можно одним из методов регуляризации задачи - модификации регрессии на главные компоненты, гребневых и редуцированных оценках.

Для проверки правильности выбора общего вида функции регрессии вычисляется статистика

,

где - дисперсия остаточных членов .

Задавшись уровнем значимости критерия  и найдя по таблице [3] величины  и  точки  - распределения с  степенями свободы (соответственно и ), проверяем выполнение неравенства:

.

Если эти неравенства окажутся нарушенными, то гипотезу об общем виде функции регрессии следует отклонить и вид функциональной регрессионной зависимости следует искать среди других функциональных зависимостей.

После решения вопроса о регрессионной зависимости каждого выделенного общего фактора  от технико-экономических показателей  прогнозируем развитие каждого фактора на периоды упреждения . Полученные значения позволяют окончательно сформировать матрицу факторных весов  и прогнозные значения показателей эффективности ПЭ ЛА в виде последних  столбцов матрицы  [5].

**6. ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

6.1. Метод оценки показателей эффективности процессов эксплуатации летательных аппаратов

Рассмотренный в п. 4.1 подход к построению полумарковской модели управления ПЭ ЛА с учетом его иерархической структуры и характера исходной информации может быть использован при разработке метода оценки эффективности процесса ПЭ ЛА [25]. Обсудим кратко взаимосвязь показателей эффективности процесса ПЭ ЛА полумарковских моделей различных уровней. Довольно большая группа показателей процесса ПЭ ЛА имеет смысл вероятности пребывания объекта в заданном целевом состоянии при условии его нахождения в определенном множестве состояний. К таким показателям относятся, например, коэффициент использования, коэффициент готовности.

При традиционном подходе оценка указанных показателей может быть рассмотрена на примере коэффициента использования. Пусть - целевое состояние (полет), тогда для любого из уровней коэффициент использования  будет определяться как доля времени пребывания ЛА в полете в фонде календарного времени за рассматриваемый период (табл.4.1, 4.2, рис. 4.2):

на 0-м уровне управления  (цикл использования по назначению) - коэффициент использования имеет вид,

на 1-м уровне  управления (оперативный цикл) -,

на 2-м уровне  управления (периодический цикл) –,

на 3-м уровне  управления (ремонтный цикл) - рассмотренные показатели (коэффициенты использования) отражают долю времени пребывания ЛА в полете от общего фонда времени для разных уровней ПЭ ЛА и в терминах полумарковских процессов определяются по следующим формулам:

  (6.1)

 (6.2)

 (6.3)

 (6.4)

Однако при применении этих показателей следует учитывать ограниченные возможности управления на 2-м и 3-м уровнях процессом использования ЛА по назначению.

Предложен новый подход к оценке показателей типа коэффициента использования, при которых на каждом последующем уровне процесса ПЭ ЛА в качестве целевого состояния принимается подмножество состояний предыдущего уровня.

Для реализации этого подхода сформулируем утверждение, устанавливающее связь показателей эффективности на разных уровнях иерархической структуры процесса ПЭ ЛА с показателем использования [26].

**Утверждение.** Предположим, что на 0-м уровне  модели целевым состоянием является и соответствующий показатель имеет вид  - вероятность пребывания объекта в состоянии при условии его нахождения в множестве состояний . На 1–м уровне  модели целевым состоянием является  и соответствующий показатель имеет вид  - вероятность пребывания объекта в состоянии при условии его нахождения в множестве состояний . На 2-м уровне  модели целевым состоянием является состояние  и показатель . На 3-м уровне  модели целевое состояние и показатель . Тогда можно утверждать, что связь этих показателей определяется выражением:

, (6.5)

где  - вероятность нахождения объекта в целевом состоянии (в полете) вне зависимости от уровней управления.

Для доказательства приведенного утверждения поясним физическую сущность этих показателей. В отличие от рассматриваемых на разных уровнях управления условных вероятностей  (6.5) нахождения объекта в соответствующем данному уровню целевом состоянии  показатель для всех уровней управления  (абсолютный показатель) представляет собой безусловную вероятность пребывания объекта в целевом состоянии . Для процесса эксплуатации ЛА, обладающего эргодическими свойствами, обозначим абсолютные частоты  попадания объекта в i-е состояние и среднее время  пребывания объекта в i-м состоянии. Определим в терминах полумарковских процессов показатели  на различных уровнях и абсолютный показатель  (на примере коэффициента использования):

 (6.6)

 (6.7)

 (6.8)

 (6.9)

 (6.10)

Найдем произведение условных показателей  (6.6-6.9) и после упрощения получим его равенство абсолютному показателю  (6.10), т.е. утверждение, что  (6.5), является доказанным.

Заметим, что предложенные условные показатели эффективности ПЭ ЛА:  (6.6-6.9) названы в табл. 6.1 коэффициентами эффективности использования  на  уровне управления.

Определим с учетом (6.6-6.10) зависимости условных показателей от абсолютного показателя  [25]:





 (6.11)





 (6.12)



 (6.13)



. (6.14)

Полученные зависимости (6.11-6.14) условных показателей  от абсолютного показателя  могут быть использованы для нормирования показателей эффективности ПЭ ЛА на различных уровнях управления этим процессом.

В табл. 6.1 приведены формулы оценки показателей эффективности процессов ПЭ ЛА при известном методе и новом методе.

Предложен принципиально новый метод оценки показателей эффективности ПЭ ЛА, который учитывает его иерархическую структуру, характер исходной информации и позволяет на каждом уровне управления обеспечить целенаправленную деятельность инженерно-технического персонала авиапредприятий по переводу ЛА в соответствующее данному уровню целевое состояние за счет сокращения простоев ЛА. При этом решается задача сокращения непроизводительных простоев ЛА на каждом уровне управления и конечным результатом управления процессом ПЭ ЛА на всех уровнях является повышение эффективности использования ЛА [26].

**Таблица 6.1**

Методы оценки показателей эффективности процессов ПЭ ЛА

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Уровень управления, | Показатели эффективности | |
| Коэффициент использования  (известный метод) | Коэффициент эффективности использования  (новый метод) |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

6.2. Оценка и моделирование показателей эффективности использования летательных аппаратов на разных уровнях иерархической структуры процесса их эксплуатации

В качестве показателей эффективности ПЭ ЛА в данном параграфе рассматриваются (табл. 2.2, 5.1, 6.1) коэффициент использования  (6.1-6.4) и коэффициент эффективности использования  (6.6 - 6.10). Заметим, что коэффициент использования  (6.4), т.е. равен абсолютному показателю (табл. 6.1).

Исходная информация по эксплуатации парка самолетов получена в авиакомпаниях Дальавиа, Аэрофлот и ЮТэйр. Информация содержится в формах № 34 государственной статистической отчетности.

По парку самолетов Ан-24, Ту-214, Ил-62, Ту-154Б, Ту-154М, Ан-26 авиакомпании Дальавиа за 2006 год выполнена оценка коэффициента эффективности использования  и коэффициента использования  . В табл. 6.2 и на рис. 6.1 приведены достигнутые значения показателей эффективности i-го уровня управления и абсолютный коэффициент использования, которые при дальнейшем исследовании вместе с аналогичными показателями других предприятий могут быть приняты за исходные, показатель меняется от 0,02 для Ан-26 до 2,6 для Ту-214, мало изменяется в течение года (не подвержен сезонности) для Ту-214 в отличие от самолета Ту-154.

На рис. 6.2 приведены значения предложенного в работе коэффициента эффективности использования и коэффициента использования для каждого уровня управления (в рейсе, оперативном, периодическом, ремонтном циклах). Видно, что фактически ремонт отсутствует, вследствие чего коэффициенты эффективности использования I-3 близки к единице. У имеющего наибольшее значение коэффициента использования самолета Ту-214 есть резерв по его повышению на втором уровне, т.е. сокращение простоев в периодическом цикле. Для остальных самолетов – повышение коэффициентов использования в рейсе и в оперативном цикле.

Для сравнительной оценки показателей использования самолетов Ту-154 М в 2006 г. в авиакомпаниях Дальавиа, Аэрофлот, ЮТэйр (рис. 6.3) определены значения коэффициентов эффективности использования и коэффициентов использования на разных уровнях управления.

Лучших результатов добился Аэрофлот, а по коэффициенту эффективности использования могут быть поставлены следующие задачи: для Аэрофлота – снизить простои в периодическом цикле, а для ЮТэйр и Дальавиа – снизить простои в рейсе и в оперативном цикле.

Выполнено моделирование зависимостей коэффициентов эффективности использования и коэффициентов использования для разных уровней управления от абсолютного коэффициента использования парка самолетов Ту-154 М авиакомпании Дальавиа в 2006 г. (табл. 6.3, 6.4, рис. 6.4).

Полученные зависимости позволяют определить конкретные значения коэффициентов эффективности использования и коэффициентов использования по уровням управления для планируемых (нормируемых) значений абсолютного коэффициента использования. Для повышения абсолютного коэффициента использования I с достигнутого значения 0,174 до 0,3 (как в Аэрофлоте) необходимо выдать задание по повышению коэффициента эффективности использования: I до 0,589; I-1 с 0,522 до 0,609; I-2 с 0,829 до 0,856; I-3 с 0,973 до 0,977.

Аналогично приведены результаты моделирования коэффициента эффективности использования и коэффициента использования от абсолютного коэффициента использования парка Ту-154М авиакомпаний Аэрофлот (рис.6.5) и ЮТэйр (рис. 6.6). Эти зависимости дают возможность нормировать значения коэффициентов эффективности использования и коэффициентов использования на каждом уровне управления по заданным значениям абсолютного коэффициента использования в условиях каждой авиакомпании.

**Таблица 6.2**

Коэффициенты эффективности использования парка ВС Дальавиа в 2006 г.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип ВС | Коэффициенты эффективности использования | | | | Абсолютный коэффициент использования |
| I0 | I1 | I2 | I3 |
| Ан-24 | 0,476 | 0,264 | 0,874 | 0,909 | 0,100 |
| Ту-214 | 0,645 | 0,633 | 0,639 | 1,000 | 0,261 |
| Ил-61М | 0,215 | 0,252 | 0,774 | 0,946 | 0,040 |
| Ту-154Б | 0,418 | 0,519 | 0,877 | 0,871 | 0,166 |
| Ту-154М | 0,413 | 0,522 | 0,829 | 0,973 | 0,174 |
| Ан-26 | 0,678 | 0,037 | 0,801 | 0,995 | 0,020 |

В качестве примера нормирования приведены результаты моделирования распределения коэффициентов использования (табл. 6.4) и коэффициентов эффективности использования (табл. 6.5, рис. 6.7) на разных уровнях управления парка самолетов Ту -154М в авиакомпаниях Дальавиа, ЮТэйр, Аэрофлот.



**Рис 6.1**. Значения абсолютного коэффициента использования парка ВС

авиакомпании Дальавиа в 2006 году

**Коэффициенты эффективности использования парка ВС Дальавиа в**

**2006 году**

**0,000**

**0,100**

**0,200**

**0,300**

**0,400**

**0,500**

**0,600**

**0,700**

**0,800**

**0,900**

**1,000**

**I0**

**I1**

**I2**

**I3**

**Коэффициент эффективности использования**

**АН-24**

**Ту-214**

**Ил-62М**

**Ту-154Б**

**Ту-154М**

**АН-26**

**Коэффициенты использования парка ВС Дальавиа в 2006 году**

**0,000**

**0,100**

**0,200**

**0,300**

**0,400**

**0,500**

**0,600**

**0,700**

**0,800**

**J0**

**J1**

**J2**

**J3**

**Коэффициент использования**

**АН-24**

**Ту-214**

**Ил-62М**

**Ту-154Б**

**Ту-154М**

**АН-26**

**Рис. 6.2.** Коэффициент эффективности использования и коэффициент

использования парка ВС разных типов авиакомпании

ОАО «Дальавиа» в 2006 году







**Рис. 6.3**. Коэффициенты эффективности использования и коэффициенты

использования парка самолетов Ту-154М авиакомпаний ОАО «Дальавиа»,

ОАО «Аэрофлот-РАЛ» и ОАО «АК ЮТэйр» в 2006 году





**Рис. 6.4.** Моделирование зависимости коэффициентов эффективности

использования и коэффициентов использования от абсолютного

коэффициента использования парка самолетов Ту-154М

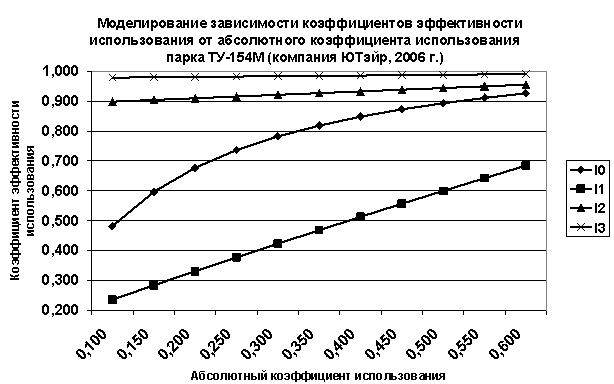
ОАО « Дальавиа» в 2006 году





**Рис. 6.5**. Моделирование зависимостей коэффициентов эффективности

использования и коэффициентов использования от абсолютного коэффициента использования парка самолетов Ту-154М ОАО « Аэрофлот-РАЛ» в 2006 году





**Рис. 6.6.** Моделирование зависимостей коэффициентов эффективности

использования и коэффициентов использования от абсолютного

коэффициента использования парка самолетов Ту-154М

ОАО «АК ЮТэйр» в 2006 году





**Рис. 6.7.** Моделирование распределения коэффициентов эффективности

использования и коэффициентов использования для значений абсолютного

коэффициента использования I=0,2 и I =0,4 парка самолетов Ту-154М

авиакомпаний ОАО «Дальавиа», ОАО «Аэрофлот-РАЛ» и ОАО «АК ЮТэйр»

(по данным 2006 года)



# 7. МЕТОДЫ ТЕКУЩЕГО ПЛАНИРОВАНИЯ ПОВЫШЕНИЯ

# ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ

# ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

## 7.1. Механизм текущего планирования повышения эффективности процессов эксплуатации летательных аппаратов

Целью планирования является эффективное и планомерное использование всех возможностей для выполнения требований транспортного процесса по повышению эффективности ПЭ ЛА путем его совершенствования на основе достижений научно-технического прогресса. Планирование повышения эффективности ПЭ ЛА осуществляется путем формирования целенаправленных управляющих воздействий на условия и факторы, определяющие уровень эффективности:

организационно-технические, определяющие уровень специализации инженерно-технического персонала (ИТП), продолжительность выполнения видов ТОиР, уровень стандартизации и унификации, механизации и автоматизации, уровень технологических процессов и т.д.;

научно-технические, экономические и хозяйственного управления, определяющие полноту и степень внедрения системы управления, методы планирования, организации и регулирования, учета и анализа эффективности ПЭ ЛА; внедрение НОТ; производственную и организационную структуру; научно-технический уровень АСУ и т.д.

Достижение цели в процессе планирования осуществляется путем реализации специальных функций: анализа эффективности ПЭ ЛА; прогнозирования эффективности ПЭ ЛА; разработки плана повышения эффективности ПЭ ЛА; планирования повышения безотказности АТ; планирования повышения регулярности отправлений самолетов; планирования повышения интенсивности использования самолетов; планирования снижения трудовых и материальных затрат на ТОиР ЛА.

Механизм планирования представляет собой поэтапный многоуровневый процесс (цех, организация по ТОиР, эксплуатационное авиапредприятие (ЭАП) принятия решения по установлению плановых значений показателей эффек-

тивности ПЭ ЛА и формированию плана мероприятий по повышению эффективности ПЭ ЛА (рис. 7.1).

На первом этапе производится анализ эффективности ПЭ ЛА за отчетный период, обобщение опыта цехов (участков), организаций по ТОиР, ЭАП по повышению эффективности ПЭ, прогнозирование показателей эффективности ПЭ ЛА.

На втором этапе разрабатываются рекомендации по планированию повышения эффективности и отбору предложений в план повышения эффективности.

На третьем этапе производится формирование, согласование и утверждение плана повышения эффективности ПЭ ЛА.

Анализ эффективности проводится с целью выявления эксплуатационных факторов, влияющих на эффективность ПЭ ЛА, и определения возможных мероприятий по повышению безопасности полетов, регулярности отправлений и экономичности эксплуатации, оценки потребных затрат на внедрение мероприятий и ожидаемых результатов внедрения.

Прогнозирование эффективности предназначено для обоснования планирования повышения эффетивности ПЭ ЛА. Прогнозирование основывается на изучении тенденций динамики показателей эффективности ПЭ ЛА. В результате прогноза дается оценка возможности развития показателей эффективности ПЭ ЛА в будущем на основе статистических закономерностей, выявленных по данным предшествующего периода.

Разработка плана повышения эффективности ПЭ ЛА выполняется на основе планов развития эксплуатационных предприятий, результатов анализа и прогнозирования показателей эффективности ПЭ ЛА. План повышения эффективности содержит следующие разделы: планируемые показатели эффективности ПЭ ЛА, мероприятия по повышению безопасности полетов, безотказности АТ, регулярности отправлений, интенсивности использования самолетов по налету часов, снижения трудовых, материальных и финансовых затрат на ТОиР ЛА.

Внедрение мероприятий требует затрат времени, труда и средств. Источником покрытия этих затрат являются резервы, которые образуются в результате совершенствования производства, сокращения занятости специалистов, снижения трудовых и материальных затрат на ТОиР ЛА. При формировании плана мероприятий выполняется оценка ожидаемого годового экономического эффекта от внедрения планируемых мероприятий.

Повышение уровня безотказности АТ достигается за счет: обеспечения высокого качества выполнения работ по ТОиР в строгом соответствии с эксплуатационной и ремонтной документацией, внедрения системы управления качеством ТОиР; улучшения работы по анализу отказов, проявившихся в полете, исключения повторных отказов, разработки предупредительных мер, совершенствования методов и средств диагностирования; совершенствования режимов ТОиР; совершенствования рекламационной работы.

Повышение регулярности отправлений достигается обеспечением оптимальной пропускной способности цехов АТБ для своевременного выполнения работ по оперативным видам технического обслуживания за счет формирования необходимого числа бригад, комплектования бригад необходимым количеством специалистов и достижения высокой производительности труда исполнителей. В процессе планирования регулярности отправлений определяется необходимый резерв самолетов. В процессе планирования повышения регулярности особое место занимают вопросы совершенствования организации диспетчерского управления, графиков комплексной подготовки самолетов к вылету, взаимодействия цехов и служб; создания специализированных бригад по обнаружению и устранению отказов, обеспечению возможности быстрой замены оборудования, агрегатов, выполнению мелкого ремонта; строгого соблюдения норм резерва самолетов, исключения случаев постановки в резерв неисправных самолетов; использования сообщений с борта самолета об обнаруженных в полете неисправностях АТ; создания обменного фонда оборудования и агрегатов; совершенствования методов и средств борьбы с обледенением самолетов на земле.

Повышение исправности и интенсивности использования самолетов достигается за счет сокращения простоев самолетов на ТОиР в результате: исключения случаев ожидания ТОиР ЛА, в том числе по причине межсменных перерывов; совершенствования технологии ТОиР, внедрения перспективного технологического оборудования; совершенствования управления производством; внедрения передовых методов ТОиР, совершенствования диагностирования, сокращения затрат времени на устранение дефектов.

Планирование снижения трудовых и материальных затрат должно производиться на основе прогрессивных норм и нормативов использования материалов, топлива, запасных частей, затрат труда. Сокращение трудовых и материальных затрат на ТОиР обеспечивается: повышением производительности труда ИТП за счет внедрения механизации и автоматизации процессов ТОиР; сокращением потерь рабочего времени за счет внедрения научной организации труда, улучшения обеспеченности рабочего места, планирования и нормирования; сокращением объема дополнительных работ за счет улучшения хранения самолетов и оборудования, бережного отношения к имуществу и оборудованию, механизации дополнительных работ; совершенствованием порядка составления заявок на оборудование, запасные части и материалы; использованием возможностей продления ресурса агрегатов и двигателей; сокращением случаев необоснованных замен в результате ошибок диагностирования; организацией ремонта агрегатов в условиях АТБ; увеличением сроков использования оборудования, машин, сооружений и сокращения затрат на их ремонт; экономией ГСМ и всех видов энергии, используемых при ТОиР ЛА.

7.2. Анализ влияния организационно-технических факторов на эффективность процессов эксплуатации летательных аппаратов

Экспериментальная проверка эффективности различных организационных и технических мероприятий по совершенствованию системы технической эксплуатации самолетов в условиях реальной эксплуатации сопряжена с затратами времени и материальным риском, размеры которого трудно определить заранее. В связи с этим до внедрения в практику таких мероприятий целесообразно осуществить проверку их путем математического моделирования.

В формальном смысле полумарковская модель ПЭ ЛА содержит два механизма управления:

1. вложенной марковской цепью, характеризуемой матрицей переходных вероятностей  и вектором частот состояний ;
2. процессами восстановления, протекающими в состояниях ПЭ и характеризуемыми распределением времени , затратами труда  и средств  и др.

С первым механизмом связаны мероприятия по совершенствованию системы технической эксплуатации, изменению стратегий, режимов и методов ТОиР.

Второй механизм может быть реализован при неизменной структуре ПЭ и может быть связан с внедрением различных организационных и технических мероприятий по механизации и автоматизации процессов ТОиР, специализации и кооперированию и др.



Заметим, что такое разделение является условным, так как отдельные мероприятия могут оказывать влияние на характеристики вложенной цепи и состояний ПЭ одновременно.

Эффективность ПЭ оценивается относительными показателями эффективности. При анализе изменения уровня эффективности ПЭ прежде всего обращается внимание на значения показателей безопасности полетов и безотказности АТ (К1000ПАП, К1000П) и регулярности отправлений (Р100, tЗВ). Если имеет место снижение уровня по этим показателям, то должны быть прежде всего разработаны мероприятия по повышению безопасности и регулярности полетов.

При анализе изменения уровня эффективности ПЭ по показателям интенсивности использования и экономической эффективности прежде всего оценивается степень влияния отдельных состояний ПЭ на значение этих величин:

1. по затратам времени – величиной ;
2. по трудовым затратам – величиной ;
3. по материальным затратам – величиной ;
4. по финансовым затратам – величиной .

Указанные величины представляют собой относительные затраты времени, труда, материальных и финансовых ресурсов, представленные в терминах полумарковской модели ПЭ. Состояния, для которых указанные величины являются наибольшими, оказывают наиболее существенное влияние на значения соответствующих показателей эффективности ПЭ самолетов.

По указанному признаку все состояния ПЭ по каждому из показателей могут быть выстроены в ряд (ранжированный ряд) по убыванию влияния на эффективность ПЭ, что позволяет из множества состояний ПЭ выделить для анализа только те, которые оказывают наиболее существенное (доминирующее) воздействие. Количество доминирующих состояний , выделяемых по каждому из показателей эффективности, зависит от глубины анализа. Проведенные исследования показали, что из 22 состояний ПЭ (рис. 2.3, 2.4 в [13]) доминирующими являются 3÷4 состояния по каждому из показателей, на них приходится 70-90% значения показателя.

Изложенный подход позволяет сосредоточить внимание прежде всего на анализе доминирующих состояний, влиянии организационных и технических факторов, действующих в доминирующих состояниях.

Зависимости относительных показателей эффективности от относительных значений затрат времени, труда и средств в i–м доминирующем состоянии , , , , ,  определяются выражениями, приведенными в табл. 2.4 в [13].

Оценка влияния может быть произведена по каждому из факторов и для совокупности факторов, вызвавших изменение времени пребывания, трудоемкости и стоимости по каждому из доминирующих состояний ПЭ.

В случае изменения за отчетный период уровня эффективности по конкретному показателю, выявление организационных и технических факторов, вызвавших данное изменение, производится следующим образом:

а) определяется, в каких доминирующих состояниях произошло изменение времени пребывания, трудоемкости и стоимости по сравнению с базовыми показателями, и рассчитываются значения ,, ;

б) производится проверка правильности определения доминирующих состояний, для чего определяется общее изменение показателей за счет изменения затрат в доминирующих состояниях по формулам:

, ,

, ,

, ,

где , , , , ,  - изменение относительных показателей за счет изменения простоев, трудоемкости и стоимости в доминирующих состояниях.

Если полученное в результате расчетов общее изменение относительных показателей эффективности близко к фактическому, то это означает, что изменение уровня эффективности произошло за счет изменения характеристик ПЭ именно в доминирующих состояниях. Если же полученное в результате расчета общее изменение отличается от фактического, то необходимо рассмотреть другие состояния, близкие по степени влияния на эффективность ПЭ к доминирующим состояниям.

Путем инженерного анализа работ, выполняемых в состояниях, вызвавших изменение времени простоя, трудоемкости и стоимости, выявляются конкретные организационные и технические причины (факторы), вызвавшие изменение уровня эффективности ПЭ самолетов.

## 7.3. Определение целесообразности и рациональной последовательности внедрения организационно-технических мероприятий по повышению эффективности процессов эксплуатации летательных аппаратов

Влияние широкого спектра факторов на эффективность ПЭ самолетов и наличие ограниченных ресурсов требуют решения задачи целесообразного использования резервов производства и определения рациональной последовательности внедрения мероприятий по совершенствованию системы технической эксплуатации самолетов. К таким мероприятиям относятся целенаправленные действия ИАС по совершенствованию средств ТОиР, организации и управлению производственными процессами, изменению режимов и внедрению прогрессивных стратегий и методов ТОиР и др.

Определение рациональной последовательности мероприятий рекомендуется производить в следующем порядке:

а) определение доминирующих состояний ПЭ, функциональных систем самолета, видов работ по ТОиР, оказывающих наибольшее влияние на эффективность ПЭ;

б) анализ изменения относительных показателей эффективности ПЭ от изменения затрат в доминирующих состояниях и построение графиков зависимости относительных значений времени, трудоемкости и стоимости в доминирующих состояниях;

в) начиная с доминирующего состояния, имеющего наибольшую степень влияния на уровень эффективности, определяются возможные организационные и технические мероприятия, путем инженерных расчетов определяется ожидаемое относительное сокращение затрат времени , трудоемкости  и стоимости  в -м состоянии ПЭ () от внедрения мероприятий.

Используя графики зависимостей относительных показателей эффективности от изменения , ,  в доминирующих состояниях, определяется ожидаемое изменение показателей эффективности , , ,  от внедрения конкретных мероприятий. Определяется ранжированный ряд мероприятий по убыванию степени их влияния на показатели эффективности ПЭ ЛА, оцениваемой по отношению ожидаемого результата к общим затратам.

В план последовательно отбираются рациональные мероприятия до достижения планируемых значений показателей эффективности.

Достаточность мероприятий по повышению безотказности определяется по зависимости

,

где  - количество сокращенных отказов в результате внедрения мероприятий;  - налет за отчетный период.

Достаточность мероприятий по повышению регулярности отправлений в рейсы определяется обеспечением неравенства

,

где  - сокращение числа задержек отправлений;

 - число отправлений за отчетный период.

Достаточность мероприятий по сокращению простоев ЛА на ТОиР определяется обеспечением неравенства

,

где  - сокращение простоев ЛА от внедрения планируемых мероприятий.

Достаточность мероприятий по сокращению удельных трудовых затрат на ТОиР определяется неравенством

,

где  - сокращение удельных трудозатрат от внедрения планируемых мероприятий.

Достаточность мероприятий по сокращению стоимости ТОиР определяется неравенством

,

где  - сокращение удельной стоимости ТОиР от внедрения планируемых мероприятий.

Внедрение требует затрат времени, труда и средств. Источником этих затрат являются резервы производства, образуемые в результате совершенствования производства, обеспечивающего сокращение занятости специалистов, простоев ЛА, трудовых и стоимостных затрат на ТОиР ЛА.

В случае достижения планируемых значений показателей внутренние резервы будут иметь следующие величины

а) по простоям на ТОиР

;

б) по трудозатратам

;

в) по стоимостным затратам

.

При таком подходе к определению резервов учитывается увеличение затрат в производстве, связанное с увеличением налета самолетов за счет сокращения простоев на ТОиР. Поэтому данные резервы могут быть полностью использованы на внедрение мероприятий по повышению эффективности ПЭ ЛА.

При проверке обеспеченности плана повышения эффективности ПЭ ЛА в первую очередь определяют потребность в простоях самолетов на земле для внедрения каждого мероприятия и проверяют наличие условий по простоям для реализации мероприятий

,

где  - потребные простои в часах на внедрение мероприятий плана повышения эффективности.

Затем проверяют обеспеченность плана резервами трудозатрат. Для этого суммируют ожидаемые трудозатраты по всем отобранным в план мероприятиям и проверяют выполнение условия

,

где  - потребные трудозатраты в нормо-часах на внедрение мероприятий плана.

Аналогично проверяют обеспеченность плана стоимостными ресурсами ,

где Δ*Сэф* - потребные финансовые ресурсы на выполнение плана мероприятий.

В случае недостаточности внутренних резервов для внедрения плана мероприятий принимается решение о сокращении их числа.

# 8. Методы оперативного управления ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ

# процессОВ эксплуатации ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

8.1. Механизм оперативного управления эффективностью процессов эксплуатации летательных аппаратов

Под оперативным управлением эффективностью ПЭ ЛА понимается целенаправленное непосредственное воздействие на процесс с целью достижения заданных планом уровней снижения затрат времени, труда и средств на ТОиР при выполнении требований по безопасности и регулярности полетов.

Оперативное управление направлено на установление значимости рассогласования фактических значений показателей эффективности ПЭ ЛА с планируемыми значениями, определение причин отклонения и принятия решения о необходимости в дополнительных управляющих воздействиях на ПЭ или корректировки плана повышения эффективности.

Задачей оперативного управления является устранение наилучшим способом неблагоприятных отклонений от принятого плана повышения эффективности производственной деятельности по критериям безопасности и регулярности полетов, интенсивности использования и экономичности эксплуатации самолетов. Основные функции оперативного управления рассматриваются в соответствии с п. 2.1 в [13].

Специальными функциями оперативного управления являются многоцелевые функции и одноцелевые функции. К многоцелевым функциям относятся контроль эффективности, анализ причин снижения уровня эффективности, формирование управляющих воздействий по повышению эффективности ПЭ ЛА. Одноцелевыми функциями являются регулирование безотказности, регулярности, исправности, расходование трудовых и материальных ресурсов.

Механизм оперативного управления эффективностью ПЭ ЛА заключается в следующем (рис. 8.1). В процессе оперативного управления осуществляется контроль и оценка показателей эффективности ,  и определение значимости отклонений (блоки 3, 4).

В случае отклонения от плана вырабатываются управляющие воздействия по поддержанию эффективности ПЭ ЛА (блок 5) или предложения по корректировке плана повышения эффективности (блок 9). Проводится работа по выявлению резервов при оперативном управлении (блоки 7 и 8) и при текущем планировании (блок 6). Осуществляется также контроль выполнения мероприятий по повышению эффективности ПЭ ЛА (блок 10).

Особенностью оперативного управления является использование на уровне цехов и участков (смен) показателей эффективности в натуральном выражении за плановый период: количество отказов в полете ; количество задержек рейсов по техническим причинам ; средняя продолжительность задержки рейсов по техническим причинам ; простои самолетов в i-м состоянии ПЭ ЛА (i-й форме ТО) ; трудозатраты на ТО в i-м состоянии ПЭ ЛА (на i-й форме ТО) ; материальные затраты в i-м состоянии ПЭ ЛА (на i-й форме ТО) ; себестоимость работ в i-м состоянии ПЭ ЛА (на i-й форме ТО) Плановые значения указанных показателей определяются из установленных для АТБ показателей эффективности ПЭ ЛА , , ,  (табл. 2.4 в [11]).

## 8.2. Контроль эффективности процессов эксплуатации летательных

## аппаратов

Контроль эффективности ПЭ ЛА при оперативном управлении выполняется с целью обнаружения значимых отклонений фактически достигнутого уровня эффективности от запланированного и определения причин этих отклонений. При планировании и проведении контроля эффективности ПЭ ЛА решаются следующие задачи: планирование эксплуатационных наблюдений; регистрация и учет исходных данных для оценки показателей эффективности; оценка показателей эффективности; оценка отклонений фактически достигнутых показателей от планируемых значений.

Планирование эксплуатационных наблюдений предусматривает выбор объектов и планов наблюдений, условий эксплуатации и режимов работы. В качестве объектов эксплуатационных наблюдений принимается ПЭ парка однотипных ЛА эксплуатационного предприятия (управления ГА, отрасли).

Уровень ПЭ парка ЛА (оперативного, действующего, приписного) оказывает влияние на характеристики плана эксплуатационных наблюдений. План наблюдений должен устанавливать число объектов наблюдений, порядок проведения наблюдений и критерии их прекращения. При контроле эффективности «реальный план» наблюдений характеризуется следующим: переменным числом объектов, наблюдаемых на r-м уровне ПЭ ЛА, *r*=1,2,3 в зафиксированные моменты календарного времени (переменность парка); ограничением наработки объектов техническим ресурсом (до ремонта, межремонтным), приводящим к усеченности выборки; неодновременным началом и окончанием наблюдений за отдельными экземплярами объектов. Усеченность выборки связана также с календарными периодами оперативного контроля эффективности ПЭ ЛА. Такой план имеет некоторые общие черты со стандартными планами наблюдений, используемыми в теории надежности, [NRT] и [NMT], согласно которым под наблюдением находится *N* объектов, отказавшие объекты заменяются (*R*) или восстанавливаются (*M*), испытания прекращаются по наработке (календарной продолжительности) *T* каждого объекта.

При планировании контроля эффективности ПЭ ЛА требуется определить минимальное число *N* реализаций случайной величины *X*, определяемое по числу реализаций наиболее редкого события. Таким событием будет попадание самолета в наиболее редко посещаемое состояние *Sm*самой трудоемкой формы ремонта (ТО). Число посещений *Nsm* состояния *Sm* для обеспечения заданной точности оценки

 , (8.1)

где  - безусловная вероятность попадания в состояние *Sm*; Q – вероятность (уровень доверия) того, что частота появления состояния  отличается от вероятности  не больше, чем на ;  - функция, обратная функции Лапласа. Доверительная вероятность Q выбирается из ряда 0,80; 0,90; 0,95; 0,99. Предельную абсолютную ошибку выбирают из ряда ; ; ; .

Минимальное число реализаций *Nsm* оказывает влияние на периодичность оценки эффективности ПЭ (период наблюдений) парка самолетов.

Период наблюдений  определяется на основе *Nsi* (8.1) и среднего времени возвращения *lii* в *i*-е состояние ПЭ:

.

Регистрация и учет исходных данных позволяет получить временной ряд наблюдаемых подекадно значений показателя эффективности . Оценка показателя эффективности  при оперативном контроле выполняется с использованием статистических критериев, позволяющих исключить выпадающие (анормальные) наблюдения и определить значимость изменения уровня эффективности. При нормальном распределении случайной величины  выполняется оценка показателя эффективности с исключением анормальных наблюдений.

Определяются выборочные среднее и среднее квадратическое отклонение для упорядоченной выборки , вычисляются отношения

 или ,

результат сравнивают с величиной *β*, взятой из таблицы, приведенной в ГОСТ 11.002 для данного объема выборки *n* и принятого уровня значимости *α*; если , то подозреваемый в отклонении результат анормален и может быть исключен, в противном случае его считают нормальным и не исключают; находится оценка математического ожидания  и среднего квадратического отклонения *St* показателя эффективности за контролируемый период *t* для оставшихся значений *Yt* после исключения анормального наблюдения.

Оценка значимости изменения уровня эффективности производится в следующем порядке:

вычисляются среднее значение *Ym* и среднее квадратическое отклонение *Sm* за *m* периодов, предшествующих расчетному;

вычисляются среднее значение *Ym* и среднее квадратическое отклонение *Sm* за (*m+1*)-й период (включая расчетный период);

определяется наблюдаемое значение критерия

;

определяется критическое значение *Tкр(α,k)* для принятого уровня значимости α и числа степеней свободы *k=2m-1* по таблице *t*-распределений; если , то принимается предположение о значимости (существенности) изменения уровня эффективности ПЭ ЛА по показателю *Ym+1* в (*m+1*)-ом периоде.



8.1

8.3. Анализ причин снижения эффективности процессов эксплуатации летательных аппаратов

Анализ выполняется с целью своевременного выявления факторов (причин), обусловивших существенные отклонения фактического уровня эффективности от запланированного и подготовки обоснованных решений по управлению эффективностью ПЭ ЛА. В процессе анализа решаются следующие задачи: выявляются причины, вызвавшие изменение уровня эффективности ПЭ ЛА, а также производится их элиминирование (выделение причин, устранение которых не зависит от деятельности цеха); выявляются и оцениваются внутрицеховые резервы повышения эффективности ПЭ ЛА; обобщаются результаты анализа и производится подготовка обоснованных предложений по повышению эффективности ПЭ ЛА. Руководство проведением анализа осуществляется начальниками АТБ, функционального отдела, цеха и выполняется в рамках работ по реализации Плана повышения эффективности ПЭ ЛА. Основой для проведения анализа являются результаты подекадной оценки эффективности ПЭ ЛА.

Содержание анализа по основным направлениям заключается в следующем: по безотказности изделий АТ анализируется качество ТО, изменение условий летно-технической эксплуатации, эффективность системы контроля технического состояния ЛА, конструктивно–производственные недостатки; по регулярности полетов – отказы, приводящие к задержке рейса, подготовка ЛА к вылету в сложных метеорологических условиях, подготовка резервных ЛА, работа спецавтотранспорта при обеспечении вылета ЛА; по затратам времени, труда и средств на ТО - неплановые простои на ТО, трудоемкость дополнительных работ, производственные расходы, аэропортовые расходы.

Возможные причины снижения эффективности по каждому из указанных направлений представлены на схеме анализа эффективности ПЭ ЛА с целью выработки управляющих воздействий (табл. 8.1 – 8.3). Анализ рекомендуется начинать с причины, указанной первой, так как причины приведены в порядке, соответствующем уменьшению вероятности их появления.

Для анализа каждой из причин определяется группа «исполнителей». Примерный состав приведен в технологии формирования управляющих воздействий при оперативном управлении эффективностью ПЭ ЛА (рис. 8.2 – 8.4). Исполнитель, указанный в технологии, распределяет обязанности между членами группы (соисполнителями) и организует работу.

Основную информационную базу при выполнении анализа эффективности составляют: нормативно – справочные документы, включающие плановое задание по повышению эффективности ПЭ ЛА, нормативы простоя ЛА на ТО, нормативы расходования запасных частей, материалов ГСМ и электроэнергии, регламент и технологию ТО, нормы времени на замену агрегатов; техническое описание и инструкции, руководство по летной эксплуатации; рабочая документация по ТО, в том числе карта-наряд на ТО, бортовой журнал самолета, карточки учета неисправностей; сведения, содержащиеся в отчете цеха о трудоемкости ТО и отчете планово-экономического отдела о выполнении производственного плана. В случае необходимости руководитель группы организует получение недостающей информации. В качестве дополнительных источников информации могут использоваться: ведомость учета исправности ЛА (ПДО); анализ качества ТО (ОТК); отчеты и анализы группы надежности изделий АТ; калькуляция расходов (бухгалтерия); материалы научно-технических конференций; рекламационные и технические акты. Классификация информации и документального обеспечения оперативного управления эффективностью ПЭ ЛА приведены на рис. 8.5, 8.6.

Выводы и предложения группы анализа должны содержать заключение о наиболее вероятных причинах снижения эффективности ПЭ ЛА, резервах повышения эффективности, выявленных в ходе анализа, путях их мобилизации.

## 8.4. Формирование управляющих воздействий по повышению эффективности процессов эксплуатации летательных аппаратов

В результате разработки предложений по повышению эффективности ПЭ ЛА должен быть составлен перечень организационно-технических мероприятий, позволяющих стабилизировать положительные или устранить отрицательные изменения уровня эффективности ПЭ ЛА. Предложения по повышению эффективности ПЭ разрабатываются с использованием технологических схем (табл. 8.1 - 8.3).

В процессе разработки предложений выделяют следующие основные этапы: подготовка (планирование) работ; изучение и анализ выводов и предложений, полученных на этапе анализа эффективности; выделение мероприятий, реализация которых возможна в рамках системы оперативного управления эффективностью ПЭ ЛА.

На этапе планирования руководитель работ по анализу эффективности ПЭ ЛА назначает исполнителей, которые формируют группы соисполнителей согласно технологии по основным направлениям анализа (рис. 8.2 - 8.4). Согласно технологическим схемам производится выбор основных источников информации, а также определяется необходимый объем информации и документального обеспечения (рис. 8.5, 8.6).

При изучении выводов и предложений, полученных на этапе анализа эффективности ПЭ ЛА, подробно анализируются наиболее сильные факторы. Влияние остальных факторов рассматривается, но детально не раскрывается. К

ним возвращаются после количественной оценки основных мероприятий, если последние не обеспечивают достижения заданного уровня эффективности.

Затем перечень основных мероприятий анализируется с точки зрения возможности их реализации силами и средствами, имеющимися в распоряжении смены или цеха. Мероприятия, выполнение которых требует участия других подразделений АТБ или дополнительных средств, группируют в перечень предложений для реализации в рамках текущего планирования эффективности ПЭ ЛА (нижний поток предложений на технологической схеме).

Общая организация процесса оперативного управления эффективностью ПЭ осуществляется начальником цеха и заключается в следующем: принятии решения об основных направлениях анализа и сроках его проведения; координации работы групп исполнителей при оценке, анализе и разработке предложений по повышению эффективности ПЭ; привлечении в случае необходимости дополнительных ресурсов и исполнителей; определении путей мобилизации резервов; контроле за внедрением предложений и оценкой фактического эффекта.

Реализация предложений по улучшению показателей эффективности ПЭ осуществляется в форме заданий, утверждаемых начальником цеха, начальником производства или главным инженером АТБ, если они распространяются на другие цеха и отделы АТБ. Схема организации работ представлена на рис. 8.7, взаимодействие исполнителей при оценке, анализе и разработке предложений по повышению эффективности ПЭ – на рис. 8.8.

# Таблица 8.1

# Схема анализа и выработки управляющих воздействий по повышению безотказности АТ

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Основные направленияанализа | Причины снижения эффективности ПЭ | Типовые управляющие воздействия |
| Снижение качества ТО | Нарушение технологии выполнения регламентных работ. | Мероприятия по обеспечению полноты и качества выполнения работ по ТО. |
| Неполное восстановление работоспособности. | Контроль за качеством устранения неисправностей. |
| Неполная или некачественная ЭТД. | Проверка полноты и качества ЭТД. |
| Изменение условий эксплуатации | Изменение условий работы АТ. | Мероприятия по устранению отрицательного воздействия природно-климатических условий |
| Изменение структуры рейсов. | Анализ условий работы АТ и структуры рейсов. |
| Несоответствие ТЗ ЗИП, материалов, жидкостей, газов, ГСМ. | Проверка качества и условий хранения ЗИП, материалов, ГСМ, газов. |
| Снижение эффективности контроля | Снижение надежности средств контроля. | Проверка качества ТО и условий хранения средств контроля. |
| Снижение точности средств диагностирования. | Проверка качества метрологического оборудования. |
| Недостаточное методическое обеспечение диагностирования. | Разработка типовых программ поиска неисправностей. |
| Конструктивно-производственные недостатки | Несвоевременное обнаружение и устранение неисправностей. | Выпуск информационных жетонов по характерным неисправностям. |

## 

## **Таблица 8.2**

## Схема анализа и выработки управляющих воздействий по повышению регулярности

# отправлений ЛА в рейсы

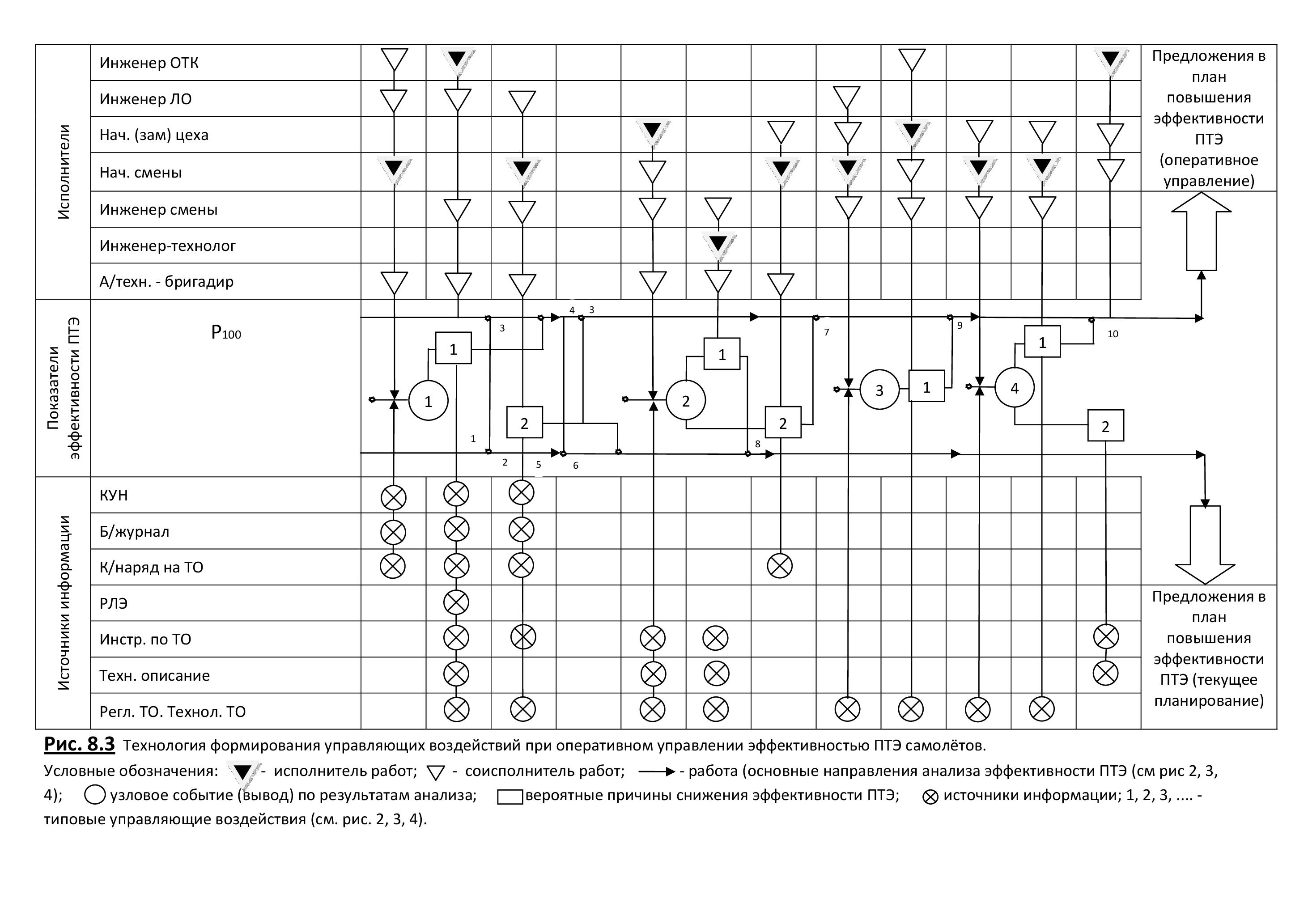
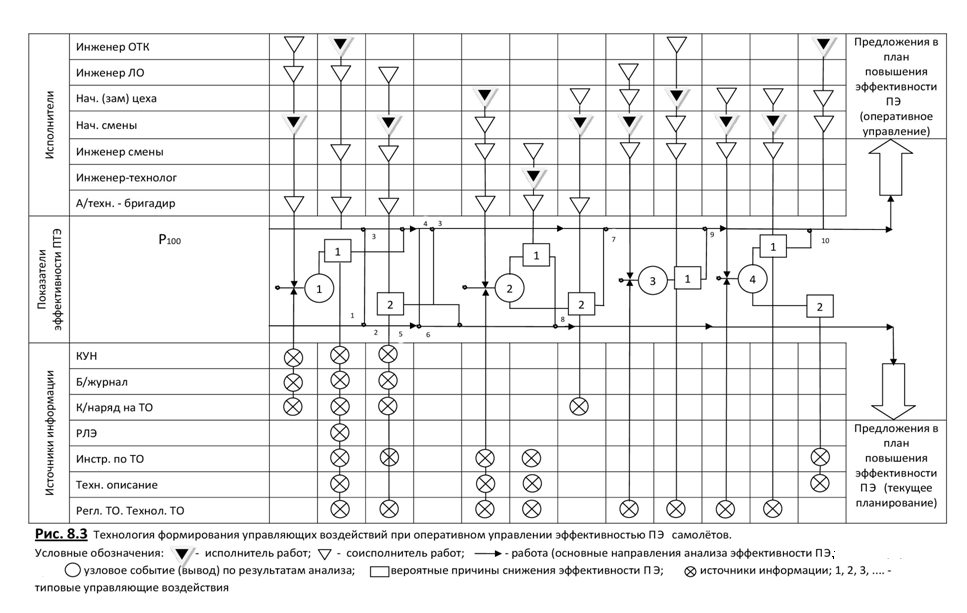
|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Основное направление анализа | Причины снижения эффективности ПЭ | Типовые управляющие воздействия |
| Отказы, приведшие к задержкам рейсов | Необнаружение отказов при ТО. | Выпуск информационных жетонов по характерным отказам и неисправностям.  Проверка метрологического оборудования. |
| Несвоевременное обнаружение неисправности. | Разработка типовых программ поиска неисправностей.  Улучшение технической учебы ИТП. |
| Подготовка самолетов к вылету в сложных метеоусловиях | Недостаточная эффективность удаления снега и льда. | Увеличение степени механизации работ по удалению снега и льда. |
| Недостаточная оперативность смен и участков. | Увеличение мобильности и перераспределение ИТП смен и участков. |
| Подготовка резервных самолетов | Невыполнение степени готовности к вылетам резервных самолетов. | Контроль подготовки резервных самолетов.  Повышение оперативности снабжения ЗИП и материалами.  Подготовка целевых инструментальных комплектов. |
| Работа спецавтотранспорта при подготовке самолетов к вылету | Неудовлетворительное техническое состояние автотранспорта. | Усиление контроля за техническим состоянием автотранспорта. |
| Нарушение правил подъезда автотранспорта. | Контроль правильности эксплуатации автотранспорта. |

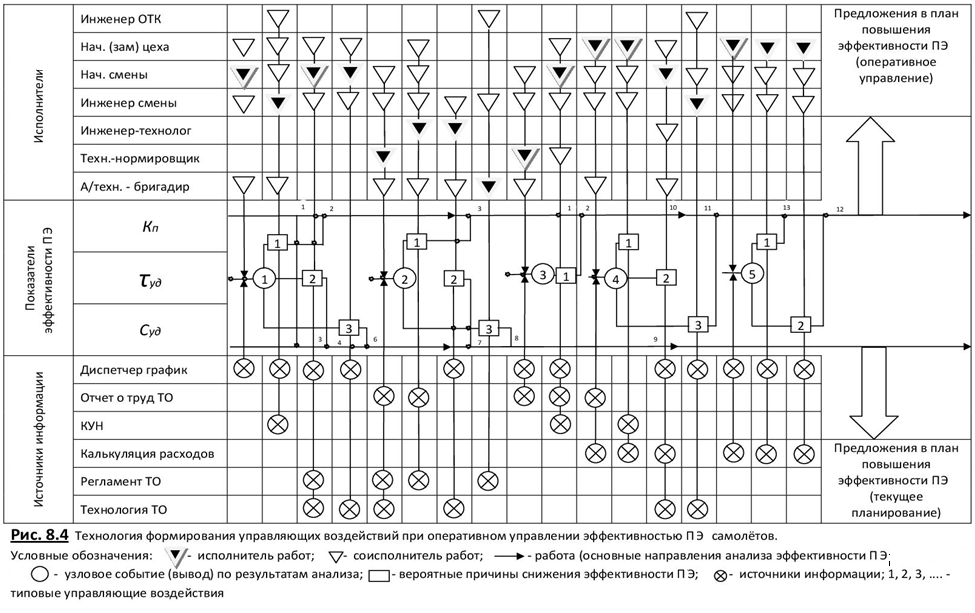
## **Таблица 8.3**

## Схема анализа и выработки управляющих воздействий по сокращению затрат времени труда и средств ТОиР ЛА

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Основное направление анализа | Причины снижения эффективности ПЭ | Типовые управляющие воздействия |
| Неплановые простои на ТО | Несвоевременное устранение неисправностей. | Разработка типовых программ поиска неисправностей.  Выпуск информационных жетонов по характерным неисправностям.  Проверка качества метрологического обеспечения.  Проверка условий хранения и качества ТО КПА. |
| Несвоевременное обеспечение ЗИП, материалами, ГСМ. | Повышение оперативности обеспечения ЗИП, материалами, ГСМ. |
| Несвоевременное обеспечение спецавтотранспортом. | Улучшение работы спецавтотранспорта. |
| Трудоемкость неплановых работ | Большой объем дополнительных работ. | Совершенствование технологии ТО. |
| Недостаточный уровень эксплуатационной технологичности. | Повышение уровня эксплуатационной технологичности. |
| Трудоемкость регламентных работ | Наличие неэффективных регламентных работ. | Корректировка регламента ТО. |
| Недостаточный уровень механизации трудоемких работ. | Повышение уровня механизации трудоемких работ. |
| Производственные расходы | Большие расходы на ремонт. | Организация ремонта агрегатов в условиях АТБ. |
| Увеличение расхода ЗИП, материалов, ГСМ. | Экономия ЗИП, материалов, ГСМ. |
| Аэропортовые расходы | Большой расход электроэнергии. | Экономия электроэнергии. |
| Большие транспортные расходы. | Экономия транспортных расходов. |
| Затраты рабочего времени | Большие непроизводственные затраты рабочего времени. | Повышение уровня организации производства и производственной дисциплины. |



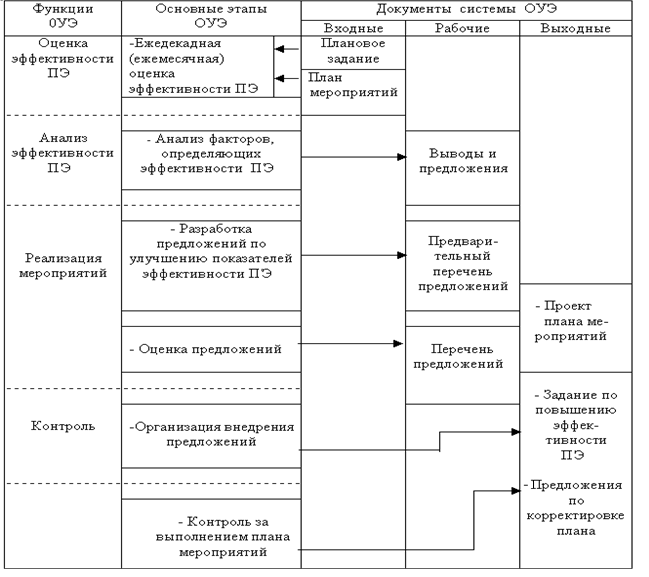




|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | Материалы для оперативного анализа  эффективности ПЭ | | | | | | | | | |  |
|  | | | |  |  | | | |  | | | | |
| Нормативно-справочные | | | | О фактическом уровне эффективности ПЭ | | | | |
| Плановое задание по повышению эффективности | | | | периодическая информация | | | | |
| Нормативы простоя ЛА на ТО | | | |  | | результаты подекадной оценки эффективности ПЭ | | |
| Нормы времени на замену агрегатов | | | | результаты месячной оценки эффективности ПЭ | | |
| Нормы расходования запасных частей, материалов, ГСМ и электроэнергии | | | | отчеты (анализы) цехов и отделов | | |
|  | | | | текущая информация | | |
|  | | сведения об отказах, | | |
| влияющих на безопасность и регулярность полетов | | |
| фактические простои самолетов на ТО | | |
| акты на задержку рейса и инциденты | | |
|  | | | | |
|  | Техническая документация | | | | | | | | | | |  | |
|  | | | | | |  | | | | | | |
| Типовая | | | | |  | Рабочая | | | | | | |
|  | технические описания | | | |  |  | бортовой журнал самолета | | | | | |
| технические инструкции | | | | карта-наряд на ТО | | | | | |
| Руководство по летной эксплуатации | | | | карточка учета неисправностей | | | | | |
| регламент и технология ТО | | | |  | | |  |  | | | |

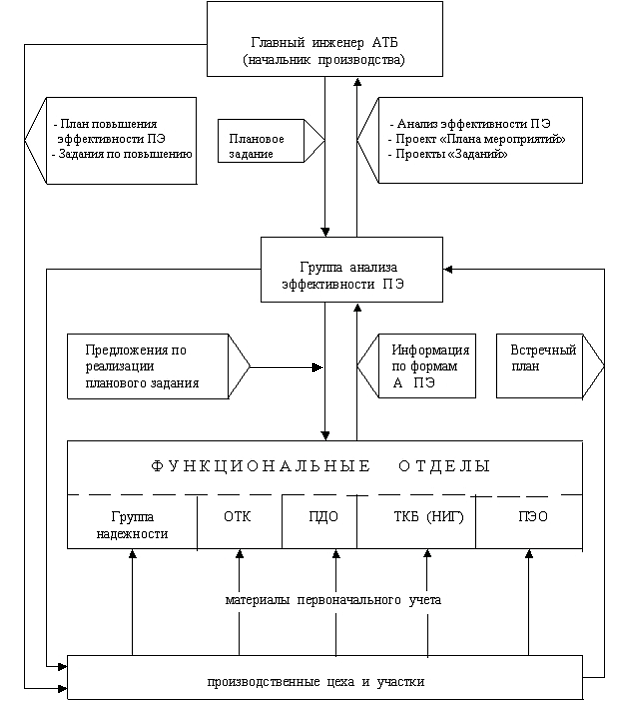
**Рис. 8.5**. Информация, используемая при оперативном анализе эффективности ПЭ самолетов





**Рис. 8.7**. Схема организации работ при оперативном управлении

эффективностью ПЭ самолетов



**Рис. 8.8**. Схема взаимодействия исполнителей при оперативном

управлении эффективностью ПЭ

**ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ**

Раздел 1

1.1. Какую актуальность имеет проблема обеспечения эффективности процессов эксплуатации ЛА?

1.2. В чем заключаются содержание и научная основа дисциплины?

1.3. Дайте определение процесса эксплуатации ЛА.

1.4. Какую структуру имеет авиационная транспортная система?

1.5. Охарактеризуйте структуру процесса эксплуатации ЛА.

1.6. Раскройте содержание понятий: *система, система типа «объект», система типа «процесс», технический процесс.*

1.7. Раскройте содержание понятий: *эффективность,**цель,**проблема*.

1.8. Что является предметом изучения и какие задачи содержит дисциплина *эффективность процессов эксплуатации ЛА*?

1.9. Что относится к физическим объектам эксплуатации?

1.10. Какие используются математические модели процессов?

1.11. Какие используются методы обеспечения эффективности?

1.12. Какие используются средства обеспечения эффективности?

1.13. С какими задачами связано программное управление, текущее планирование и оперативное управление?

Раздел 2

2.1. Приведите классификацию процессов эксплуатации ЛА.

2.2. Охарактеризуйте условия управления эффективностью ПЭ ЛА.

2.3. Охарактеризуйте процесс эксплуатации летательных аппаратов как объект управления.

2.4. Как осуществляется формирование целей и показателей эффективности ПЭ ЛА?

2.5. Какие используются принципы управления эффективностью ПЭ ЛА?

2.6. Какие используются функции и методы управления эффективностью ПЭ ЛА?

2.7. Какие принимаются управленческие решения по повышению эффективности ПЭ ЛА?

2.8. Чем определяется эффективность операции и что такое показатель эффективности ПЭ ЛА?

2.9. Приведите схему управляемого по эффективности ПЭ ЛА.

2.10. Что понимается под управлением эффективностью ПЭ ЛА?

2.11. В чем заключается главная цель системы (процесса) эксплуатации ЛА?

2.12. Назовите основные области и цели деятельности по повышению эффективности ПЭ ЛА.

2.13. Какие виды показателей включает система показателей эффективности ПЭ ЛА?

2.14. Какие показатели служат для оценки уровня эффективности ПЭ ЛА?

2.15. Какие требования предъявляются к составу показателей эффективности ПЭ ЛА?

2.16. Какие группы показателей содержат единичные показатели эффективности ПЭ ЛА?

2.17. Дайте определения понятий *программное управление, оперативное управление, стратегия* эксплуатации, *режимы* эксплуатации *ЛА*.

Раздел 3

3.1. Что представляет собой система управления эффективностью ПЭ ЛА?

3.2. Что представляет собой механизм управления эффективностью ПЭ ЛА?

3.3. Представьте схему управления эффективностью ПЭ ЛА. Как осуществляется функционирование системы управления эффективностью ПЭ ЛА?

3.4. Приведите типовое содержание работ по управлению эффективностью ПЭ на стадиях жизненного цикла ЛА.

3.5. Какую структуру имеет система управления эффективностью ПЭ ЛА?

3.6. Представьте принципиальную схему построения системы управления эффективностью ПЭ ЛА.

3.7. Раскройте содержание специальных функций управления эффективностью ПЭ ЛА.

3.8. Приведите перечень специальных функций управления эффективностью ПЭ ЛА.

3.9. Для чего предназначена автоматизация управления эффективностью ПЭ ЛА?

3.10. Назовите главную цель автоматизации управления эффективностью ПЭ ЛА.

3.11. Каковы основные направления и цели автоматизации функций и процессов управления эффективностью ПЭ ЛА?

3.12. Назовите основные задачи предприятия по автоматизации управления эффективностью ПЭ ЛА.

Раздел 4

4.1. Опишите порядок построения полумарковской модели ПЭ ЛА. Раскройте содержание полумарковской модели ПЭ ЛА.

4.2. Как осуществляется взаимодействие процесса пребывания ЛА в состояниях ПЭ ЛА и процесса переходов ЛА из одного состояния в другое?

4.3. Как осуществляется статистическая оценка вероятностей перехода ЛА из одного состояния в другое?

4.5. Какой процесс называется стационарным?

4.6. Какой процесс называется эргодическим?

4.7. Как осуществляется статистическая оценка абсолютных частот  попадания объекта в i-е состояние?

4.8. Какие условия определяют возможность применения полумарковской модели ПЭ ЛА?

4.9. Какими характеристиками можно задать полумарковскую модель ПЭ ЛА?

4.10. Что представляет собой граф состояний и переходов ПЭ ЛА?

4.11. Как осуществляется построение полумарковской модели ПЭ ЛА с учетом его иерархической структуры?

4.12. Раскройте иерархическую структуру ПЭ ЛА.

4.13. Охарактеризуйте форму статистической отчетности, характеризующую распределение фонда календарного парка ЛА между состояниями ПЭ ЛА.

4.14. Приведите формулы для целевых функции и критериев оптимальности для полумарковской модели ПЭ ЛА,

Раздел 5

5.1. Приведите формулы для относительных показателей эффективности ПЭ ЛА.

5.2. С какой целью выполняется дифференциальный анализ показателей эффективности ПЭ ЛА?

5.3. Приведите формулы для определения показателей безотказности и безопасности полетов ЛА.

5.4. Приведите формулы для определения показателей регулярности полетов ЛА.

5.5. Приведите формулы для определения показателей интенсивности использования ЛА.

5.6. Приведите формулы для определения показателей экономичности ЛА.

5.7. Какой математический аппарат используется при дифференциальном анализе показателей эффективности ПЭ ЛА?

5.8. Какие задачи решают при дифференциальном анализе показателей эффективности ПЭ ЛА?

5.9. В виде сочетания каких компонент может быть временной ряд?

5.10. По зависимостям какого параметра от времени можно определить компонентный состав временного ряда?

5.11. Какие признаки зависимости интенсивности спектра от времени свидетельствуют о наличии тренда, гармонической, сезонной составляющихкомпонент временного ряда?

5.12. В виде каких моделей могут сочетаться составляющие компонент временного ряда?

5.13. Из каких этапов состоит процесс выравнивания сглаженных значений теоретической кривой?

5.14. Как можно подобрать тип кривой среди гладких функций, используя линеаризацию?

5.15. В чем заключается процедура выбора кривой?

5.16. Как осуществляется точечная оценка прогноза на период упреждения L и оценка доверительных гpaниц прогноза при дифференциальном анализе показателей эффективности ПЭ ЛА?

5.17. Поясните сущность задач комплексного анализа показателей эффективности ПЭ ЛА.

5.18. Поясните сущность задач многофакторного анализа показателей эффективности ПЭ ЛА.

5.19. Как осуществляется определение корреляционной матрицы?

5.20. Как осуществляется определение факторных нагрузок?

5.21. Как осуществляется формирование факторной модели?

5.22. Приведите формулы для оценки коэффициента использования на разных уровнях ПЭ ЛА и в терминах полумарковских процессов.

5.23. Поясните теорему, устанавливающую связь показателей эффективности использования на разных уровнях иерархической структуры ПЭ ЛА с показателем использования.

5.24. Определите в терминах полумарковских процессов показатели эффективности использования на разных уровнях иерархической структуры ПЭ ЛА.

5.25. В чем заключается сущность нового метода оценки показателей эффективности использования ПЭ ЛА?

Раздел 6

6.1. Какая исходная информация по эксплуатации парка самолетов используется для оценки показателей эффективности использования?

6.2. Каков характер изменения коэффициента использования парка самолетов от уровня иерархической структуры ПЭ?

6.3. Каков характер изменения коэффициента эффективности использования парка самолетов от уровня иерархической структуры ПЭ?

6.4. Как осуществляется моделирование зависимости коэффициента использования от абсолютного коэффициента использования?

6.5. Как осуществляется моделирование зависимости коэффициента эффективности использования от абсолютного коэффициента использования?

6.6. Как осуществляется нормирование коэффициентов эффективности использования и коэффициентов использования на каждом уровне иерархической структуры ПЭ?

Раздел 7

7.1. Как осуществляется планирование повышения эффективности ПЭ ЛА?

7.2. В чем заключается механизм планирования повышения эффективности ПЭ ЛА?

7.3. Какая рекомендуется последовательность операций планирования повышения эффективности ПЭ ЛА?

7.4. Как осуществляется разработка плана повышения эффективности ПЭ ЛА?

7.5. За счет чего достигается повышение уровня безотказности АТ?

7.6. За счет чего достигается повышение регулярности отправлений?

7.7. За счет чего достигается повышение исправности и интенсивности использования?

7.8. За счет чего достигается снижение трудовых и материальных затрат? Какие механизмы управления содержит полумарковская модель ПЭ ЛА?

7.9. По каким величинам осуществляется анализ изменения уровня эффективности ПЭ по показателям интенсивности использования и экономической эффективности?

7.10. Как определяются доминирующие состояния ПЭ ЛА?

7.11. Как определяются зависимости относительных показателей эффективности от относительных значений затрат времени, труда и средств в доминирующих состояниях?

7.12. Какой рекомендуется порядок определения рациональной последовательности внедрения мероприятий по повышению эффективности ПЭ ЛА?

7.13. Как определяется достаточность мероприятий по повышению эффективности ПЭ ЛА?

7.14. Как определяются внутренние резервы в случае достижения планируемых значений показателей?

7.15. Как определяется потребность в простоях ЛА на земле для внедрения каждого мероприятия и проверяется наличие условий по простоям для реализации мероприятий?

Раздел 8

8.1. Что понимается под оперативным управлением эффективностью ПЭ ЛА? Какие задачи решаются при оперативном управлении эффективностью ПЭ ЛА?

8.2. Назовите специальные функции оперативного управления повышением эффективностью ПЭ ЛА.

8.3. В чем заключается механизм оперативного управления эффективностью ПЭ ЛА?

8.4. В чем заключается особенность оперативного управления эффективностью ПЭ ЛА на уровне цехов и участков (смен)?

8.5. Как осуществляется контроль эффективности ПЭ ЛА при оперативном управлении?

8.6. Как осуществляется планирование эксплуатационных наблюдений при контроле эффективности ПЭ ЛА?

8.7. Как осуществляется анализ причин снижения эффективности ПЭ ЛА?

8.8. Охарактеризуйте содержание анализа эффективности ПЭ ЛА по основным направлениям: по безотказности АТ, по регулярности отправлений, по интенсивности использования ЛА, по экономичности ПЭ ЛА.

8.9. Охарактеризуйте основную информационную базу при выполнении анализа эффективности ПЭ ЛА.

8.10. Охарактеризуйте основные этапы разработки предложений по повышению эффективности ПЭ ЛА.

8.11. Охарактеризуйте схемы анализа и выработки управляющихвоздействий по повышению безотказности АТ,регулярности отправлений, интенсивности использования ЛА, экономичности ПЭ ЛА.

8.12. Опишите схему организации работ при оперативном управлении эффективностью ПЭ самолетов.

8.13. Как осуществляется оценка эффективности разработанных предложений по повышениюэффективности ПЭ ЛА?

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Андерсен Т. Статистический анализ временных рядов. - М.: Мир, 1976.

2. Андерсен Т. Введение в многомерный статистический анализ. - М.: Мир, 1963.

3. Андронов А.М. Алгоритм нахождения оптимальных стратегий в управляемых полумарковских процессах размножения и гибели // Техническая кибернетика. - М., 1970. - № 5. - С. 90-94.

4. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Е.Д. Прикладная статистика. Ис следование зависимостей. - М.: Финансы и статистика, 1985.

5. Барлоу Р., Прошан Ф. Математическая теория надежности. - М.: Сов. радио, 1969.

6. Далецкий С.В., Деркач О.Я., Петров А.Н. Эффективность технической эксплуатации самолетов гражданской авиации. - М.: Воздушный транспорт, 2002.

7. Демидович Б.П., Марон И.А. Основы вычислительной математики. - М.: Наука, 1970.

8. Драйпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ: в 2-х кн. - М.: Финансы и статистика, 1986. – Кн. 1. - 1987. – Кн. 2.

9. Золото А.А., Степаненко С.В., Королев Е.П. Прогнозирование показателей эффективности процесса технической эксплуатации самолетов на основе факторного анализа // Инженерно-авиационное обеспечение полетов: межвузовский сб. науч. тр. - М.: МИИГА, 1986. - С. 89-93.

10. Ильин В.А., Позняк Э.Г. Линейная алгебра. - М.: Статистика: Наука, 1974.

11. Ицкович А.А. Управление эффективностью процесса технической эксплуатации машин // Показатели остаточной долговечности и их оценка в задачах продления сроков службы технических объектов / Г.С.Садыхов. Управление эффективностью процесса технической эксплуатации машин/ А.А. Ицкович. – М.: Знание, 1986. - С. 56-106.

12. Ицкович А.А. Обоснование программ технического обслуживания и ремонта машин // Обоснование программ технического обслуживания и ремонта машин / А.А. Ицкович. Гибкие программы статистического контроля надежности. / В.А.Лапидус. – М.: Знание, 1986. - С. 1-78.

13. Ицкович А.А. Управление процессами технической эксплуатации летательных аппаратов: учеб. пособие. - М.: МГТУ ГА, 1994. - Ч. 1. – 2002. - Ч. 2,3.

14. Ицкович А.А., Смирнов Н.Н. Управление эффективностью процесса технической эксплуатации самолетов гражданской авиации: учеб. пособие. – М.: МИИГА, 1993.

15. Ицкович А.А., Файнбург И.А. Эффективность процессов эксплуатации летательных аппаратов: пособие по выполнению лабораторных работ. – М.: МГТУ ГА, 2010.

16. Кокс Д.Р., Смит В.Д. Теория восстановления. - М.: Сов. радио, 1967.

17. Методика текущего планирования повышения эффективности процесса технической эксплуатации самолетов. – М.: МИИГА, 1987.

18. Методика оперативного управления эффективностью процесса технической эксплуатации самолетов в эксплуатационных авиапредприятиях. – М.: МИИГА, 1987.

19. Надежность и эффективность в технике: справочник в 10 т. / Эффективность технических систем. - М.: Машиностроение, 1986. – Т. 3.

20. Окунь Д. Факторный анализ. - М.: Статистика, 1974.

21. Повышение эффективности технической эксплуатации самолетов: Обзор по материалам отечественной и иностранной литературы. – М.: ЦНТИ ГА, 1982.

22. Руководство по управлению эффективностью процесса технической эксплуатации самолетов. – М.: МИИГА, 1987.

23. Смирнов Н.Н., Ицкович А.А. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию. - М.: Транспорт, 1987.

24. Файнбург И.А. Построение полумарковской модели управления процессом поддержания летной годности воздушных судов. // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Эксплуатация воздушного транспорта и ремонт авиационной техники. – М.: МГТУ ГА, 2008. - № 123 (13). - С. 147-152.

25. Файнбург И.А. Метод оценки эффективности процесса поддержания летной годности воздушных судов // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Эксплуатация воздушного транспорта и ремонт авиационной техники. – М.: МГТУ ГА, 2007. - № 123 (13). - С. 153-157.

26. Харман Г. Современный факторный анализ. - М.: Наука, 1971.

27. Четыркин Е.М. Статистические методы прогнозирования. - М.: Статистика, 1976.

28. Шор Я.Б., Кузьмин Ф.И. Таблицы для анализа и контроля надежности. - М.: Сов. радио, 1968.

**СОДЕРЖАНИЕ**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 1 | Введение ………………………………………………………………..  Предмет и задачи эффективности процессов эксплуатации летательных аппаратов……..……………………………………………… | 3  4 |
| 1.1. | Актуальность проблемы обеспечения эффективности процессов эксплуатации летательных аппаратов……………………………….. | 4 |
| 1.2. | Содержание и научная основа дисциплины…………………………. | 4 |
| 2 | Основы теории эффективности процессов эксплуатации летательных аппаратов………………………………………………………… | 9 |
| 2.1. | Процесс эксплуатации летательных аппаратов как объект управления……………………………………………………………… | 9 |
| 2.2. | Формирование целей и показателей эффективности процессов эксплуатации летательных аппаратов…………………………………… | 11 |
| 2.3. | Принципы управления………………………………………………… | 15 |
| 2.4. | Функции и методы управления………………………………………. | 16 |
| 2.5. | Управленческие решения…………………………………………….. | 16 |
| 2.6. | Основные понятия, термины и определения……………………….. | 17 |
| 3. | Построение системы управления эффективностью процессов эксплуатации летательных аппаратов………………………………….. | 18 |
| 3.1. | Механизм управления эффективностью…………………..………… | 18 |
| 3.2. | Основные требования к системе управления……………………….. | 20 |
| 3.3. | Структура системы управления и специальные функции подсистем……………………………………………………………… | 22 |
| 3.4. | Автоматизация управления эффективностью процессов эксплуатации летательных аппаратов………………………………………….. | 27 |
| 4. | Моделирование процессов эксплуатации летательных аппаратов. | 28 |
| 4.1. | Построение модели процесса эксплуатации летательных аппаратов | 28 |
| 4.2. | Формирование иерархической структуры полумарковской модели процессов эксплуатации летательных аппаратов………………….. | 31 |
| 4.3. | Основные характеристики полумарковской модели процессов эксплуатации летательных аппаратов………………………………….. | 34 |
| 5. | Методы анализа эффективности процессов эксплуатации летательных аппаратов……………………………………………………. | 41 |
| 5.1. | Система показателей эффективности процессов эксплуатации летательных аппаратов………………………………………………….. | 41 |
| 5.2. | Методы дифференциального анализа и прогнозирования показателей эффективности процессов эксплуатации летательных аппаратов …………………………………………………………………....... | 41 |
| 5.3. | Методы комплексного анализа и прогнозирования показателей  эффективности процессов эксплуатации летательных аппаратов…. | 56 |
| 6. | Оценка показателей эффективности процессов эксплуатации летательных аппаратов ……………………………………………………. | 69 |
| 6.1. | Метод оценки показателей эффективности процессов эксплуатации летательных аппаратов…………………………………………… | 69 |
| 6.2. | Оценка и моделирование показателей эффективности использования летательных аппаратов на разных уровнях иерархической структуры процесса их эксплуатации …………………………………………… | 74 |
| 7. | Методы текущего планирования повышения эффективности  процессов эксплуатации летательных аппаратов …………………. | 84 |
| 7.1. | Механизм текущего планирования повышения эффективности процессов эксплуатации летательных аппаратов ………………….. | 84 |
| 7.2. | Анализ влияния организационно- технических факторов на эффективность процессов эксплуатации летательных аппаратов…. | 87 |
| 7.3. | Определение целесообразности и рациональной последователь-ности внедрения организационно-технических мероприятий поповышению эффективности процессов эксплуатации летательныхаппаратов………………………………………………………………. | 90 |
| 8. | Методы оперативного управления эффективностью процессовэксплуатации летательных аппаратов……………………………….. | 93 |
| 8.1. | Механизм оперативного управления эффективностью процессов эксплуатации летательных аппаратов…………………………..……. | 93 |
| 8.2. | Контроль эффективности процессов эксплуатации летательных аппаратов ………………………………………………………………. | 94 |
| 8.3. | Анализ причин снижения эффективности процессов эксплуатации летательных аппаратов………………………………………..………. | 98 |
| 8.4. | Формирование управляющих воздействий по повышению эффективности процессов эксплуатации летательных аппаратов……….. | 99 |
|  | Вопросы для самоконтроля …………………………………………. | 111 |
|  | Литература ……………………………………………………………. | 116 |