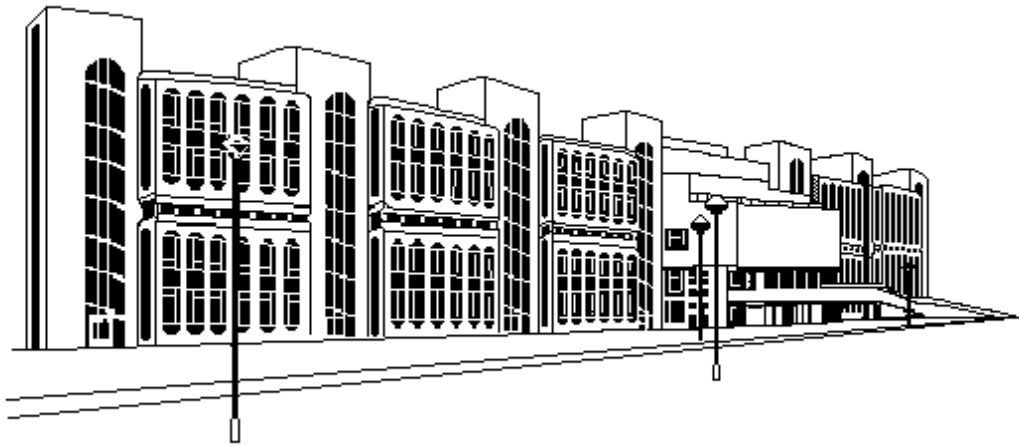


МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

А.А. Ицкович, И.А. Файнбург

УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМАМИ И ПРОЦЕССАМИ
ЭКСПЛУАТАЦИИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Часть 1



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ»**

**Кафедра технической эксплуатации летательных аппаратов
и авиационных двигателей**

А.А. Ицкович, И.А. Файнбург

**УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМАМИ И ПРОЦЕССАМИ
ЭКСПЛУАТАЦИИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ**

Часть 1

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ И ПРОЦЕССОВ
ЭКСПЛУАТАЦИИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ**

Рекомендовано Учебно-методическим
объединением вузов Российской Федерации
по образованию в области эксплуатации
авиационной и космической техники
для межвузовского использования
в качестве учебного пособия

Москва - 2014

УДК 629.7.083
ББК 39.52-082

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Московского государственного технического университета ГА.

Рецензенты:

д-р. техн. наук, проф. Ципенко В.Г.,
начальник отдела ГосНИИ ГА
д-р. техн. наук, Далецкий С.В.

Ицкович А.А., Файнбург И.А.

Управление системами и процессами эксплуатации авиационной техники. Ч.1
Системный анализ систем и процессов эксплуатации авиационной техники: учеб. пособие. –
М.: МГТУ ГА, 2014. – 87 с., 23 табл., 17 ил., лит. 19 наим.

Учебное пособие издается для студентов направлений 162300, 25.03.01 (магистры) по
циклу специальных дисциплин.

Учебное пособие содержит материалы учебно-методического характера, необходимые
для освоения знаний и умений системами и процессами эксплуатации авиационной техники
в Организациях по техническому обслуживанию и ремонту авиационной техники в
соответствии с требованиями государственных и международных нормативных документов.

Учебное пособие рекомендуется также слушателям системы послевузовской
подготовки специалистов ГА.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 27.05.2014 г. и методического совета
по направлению 162300 (25.03.01) 30.05.2014 г.

ИЦКОВИЧ Александр Абрамович
ФАЙНБУРГ Инна Александровна

УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМАМИ И ПРОЦЕССАМИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Учебное пособие

ВВЕДЕНИЕ

На разных этапах развития гражданской авиации (ГА) в центре внимания специалистов оказывались различные аспекты проблемы повышения эффективности систем и процессов эксплуатации (СиПЭ) авиационной техники (АТ). В 60-е годы XX века решались задачи совершенствования традиционной планово-предупредительной системы технического обслуживания и ремонта (ТОиР) АТ. В 70-е годы по мере исчерпания резервов традиционной системы ТОиР на первый план вышли задачи разработки и внедрения стратегий ТОиР АТ по состоянию. В 80-е годы значительное внимание уделялось управлению эффективностью СиПЭ АТ и формированию программ их ТОиР. В 90-е годы решались задачи автоматизации управления СиПЭ АТ. В 1-е десятилетие 2000-х годов большое внимание уделялось разработке и внедрению системы менеджмента качества в организациях по ТОиР АТ. В настоящее время особую актуальность приобретает проблема оптимизации управляемых СиПЭ АТ и поддержания летной годности летательных аппаратов (ЛА).

По мере увеличения масштабов производства и парка АТ в ГА, усложнения конструкции ЛА и повышения их стоимости возрастают требования по обеспечению безопасности и регулярности полетов, интенсивности использования и экономичности эксплуатации АТ. Управление СиПЭ АТ требует постоянных усилий специалистов эксплуатационных авиапредприятий.

В связи с этим при подготовке магистров по технической эксплуатации ЛА и двигателей возникает необходимость в изучении дисциплины "Управление системами и процессами эксплуатацией АТ" с целью получения студентами знаний и практических навыков по анализу СиПЭ АТ, программному и оперативному управлению СиПЭ АТ, автоматизации управления СиПЭ АТ.

Обобщение результатов исследований и опыта эксплуатации АТ и использование методов системного анализа, теории управления, теории эффективности и теории технических систем послужило надежной основой для разработки методологических основ управления СиПЭ АТ.

При подготовке учебного пособия использованы результаты исследований авторов, материалы прочитанных ими курсов лекций и изданных в МГГУ ГА учебных и методических пособий по дисциплинам кафедры "Техническая эксплуатация ЛА и авиадвигателей" [4-11, 14-17].

Учебная дисциплина "Управление системами и процессами эксплуатации авиационной техники" относится к числу специальных профилирующих дисциплин направления 162300 «Техническая эксплуатация ЛА и двигателей».

1. ПРЕДМЕТ И ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ, ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

1.1. Содержание и значение проблемы управления системами и процессами эксплуатации авиационной техники

1.1.1. Актуальность проблемы управления системами и процессами эксплуатации авиационной техники

Проблема повышения эффективности СиПЭ АТ в современных условиях работы отрасли находится в центре внимания авиационной администрации, специалистов научно-исследовательских организаций и 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. Управление СиПЭ АТ направлено на обеспечение безопасности и регулярности полетов, интенсивности использования ЛА, экономичности СиПЭ АТ. Основные требования к управлению СиПЭ АТ 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 АТ является внедрение СиПЭ АТ, обеспечивающих проведение всех видов ТОиР и доработок АТ, продление ресурсов и сроков службы, сертификацию экземпляра АТ и техническую поддержку эксплуатации АТ в авиакомпаниях.

1.1.2. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование профессиональной культуры управления СиПЭ АТ, под которой понимается готовность и способность личности использовать в профессиональной деятельности приобретенную совокупность знаний, умений и навыков для обеспечения безопасности полетов и эффективности СиПЭ АТ в сфере профессиональной деятельности, характера мышления и ценностных ориентаций, при которых вопросы безопасности полетов и эффективности СиПЭ АТ рассматриваются в качестве приоритета.

1.1.3. Место дисциплины в структуре общей образовательной программы (ООП) магистратуры

Дисциплина относится к базовой части профессионального цикла.

Требования к входным знаниям, умениям студента, необходимым для изучения дисциплины, определяются в объеме ООП бакалавриата по данному направлению, в частности, студент должен владеть знаниями, умениями и навыками, сформированными дисциплинами: конструкция и прочность самолета/вертолета, конструкция и прочность двигателей, системы самолета/вертолета и двигателя, основы теории надежности, техническая диагностика, основы теории технической эксплуатации ЛА, технологические процессы технического обслуживания, техническая эксплуатация ЛА и двигателей, в частности

знать:

- конструкцию ЛА, силовых установок и функциональных систем;
- основные положения теории надежности, технической диагностики, теории вероятностей, математической статистики;

- методы выбора стратегий и формирования режимов ТОиР ЛА;

- основные понятия технической эксплуатации АТ;

уметь:

- обрабатывать эксплуатационные данные;
- выполнять анализ надежности и эффективности процессов эксплуатации АТ;

- определять эффективные стратегии ТОиР компонентов АТ;

владеть:

- навыками целостного подхода к анализу проблем эксплуатации АТ;
- методами статистической оценки данных эксплуатационных наблюдений.

Дисциплины, для которых данная дисциплина является предшествующей:

– Анализ и прогнозирование надежности и эксплуатационной технологичности;

- Управление ресурсами;
- Управление безопасностью полетов;
- Технологические процессы ТО и Р ВС;
- Научно-исследовательская работа;
- Выпускная квалификационная работа.

1.1.4. Требования к результатам освоения дисциплины

Обучающийся должен

знать:

– методы организации баз данных для решения задач управления эксплуатацией АТ;

– методы управления процессами поддержания летной годности;

– методы системного анализа объектов и эффективности технической эксплуатации ЛА;

– достижения науки и техники, передовой и зарубежный опыт;

– методы обеспечения безопасности полетов;

- пути и методы совершенствования стратегии и режимов ТОиР ЛА;
- методологические основы управления СиПЭ АТ;
- характеристику системы СиПЭ АТ;
- методы анализа и прогнозирования показателей эффективности СиПЭ АТ;
- методы программного управления СиПЭ АТ;
- методы оперативного управления СиПЭ АТ;

уметь:

- управлять эффективностью процессов технической эксплуатации и поддержания летной годности;
- планировать работы по ТОиР и использованию по назначению АТ;
- планировать, осуществлять подготовку, проведение и обработку результатов испытаний;
- решать задачи управления техническим состоянием АТ;
- решать задачи управление СиПЭ АТ;
- решать задачи управления режимами ТОиР;
- решать задачи управления объемами запасных частей АТ;
- решать задачи анализа эффективности СиПЭ АТ;

владеть:

- навыками применения на практике специального программного обеспечения для решения задач управления СиПЭ АТ;
- навыками разработки планов использования АТ, отхода ее на ТОиР;
- навыками разработки рекомендаций по совершенствованию режимов и технологии технического обслуживания, контроля технического состояния ЛА;
- навыками разработки и реализации организационно-технических мероприятий по предупреждению авиационных происшествий, досрочной съемки двигателей, отказов АТ;
- основными положениями международных, государственных и отраслевых нормативных документов и терминологией в области эксплуатации АТ;
- методами моделирования СиПЭ АТ на основе современных информационных технологий;
- методами и навыками эффективного управления СиПЭ АТ.

1.2. Основные, понятия, термины и определения

Гражданскую авиацию (ГА) как отрасль народного хозяйства, предназначенную для осуществления воздушных перевозок и другой летной работы, можно представить в виде авиационной транспортной системы (АТС). Минимальной организационной структурной единицей ГА, сохраняющей все основные свойства и функции отрасли в целом, является эксплуатационное авиапредприятие (эксплуатант), рассматриваемое во взаимодействии с авиаремонтным предприятием (АРП).

АТС представляет собой совокупность ЛА, комплекса наземных средств по подготовке и обеспечению полетов, авиационного персонала, занятого эксплуатацией и ремонтом, программы управления процессами эксплуатации ЛА. 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 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. Качество АТС определяется совокупностью и сложной взаимосвязью качества ЛА, наземных средств, авиационного персонала и программы управления процессами эксплуатации.

АТС можно разделить на ряд функционально самостоятельных систем: летной эксплуатации, технической эксплуатации, управления воздушным движением, коммерческой эксплуатации, аэродромной эксплуатации. Каждой из них соответствует свой процесс функционирования: АТС - процесс эксплуатации; системе летной эксплуатации - процесс использования по назначению; системе технической эксплуатации - ПТЭ; системе коммерческой эксплуатации - процесс коммерческой эксплуатации; системе управления воздушным движением - процесс управления воздушным движением; системе аэродромной эксплуатации - процесс аэродромной эксплуатации. Взаимодействие этих процессов определяется общей целью и наличием единого объекта эксплуатации - ЛА, который в каждой из названных систем (процессов) представляется определенной совокупностью своих свойств.

В теории технических систем различают *системы типа "объект"*, элементами которых являются предметы, и *системы типа "процесс"*, элементами которых являются операции (например, изготовление, техническое обслуживание, ремонт) [18]. При таком подходе рассматриваемые системы и процессы эксплуатации относятся к системам типа "объект" и типа "процесс" соответственно.

Системой называется совокупность, образованная (и упорядоченная) по определенным правилам из конечного множества элементов. Между элементами системы существуют определенные отношения.

Термин *"процесс"* означает, что что-то происходит, совершается, т.е. изменяется с течением времени. Различают естественные процессы (старение, изнашивание, коррозия) и искусственные процессы, организуемые человеком с целью осуществления для себя необходимых или желательных изменений.

Вводится термин *"операнд"*, означающий общее название предметов, систем и состояний, подвергаемых целенаправленному преобразованию. При этом под *преобразованием* понимается следствие определенных воздействий, основанных на физических, химических или биологических явлениях и описываемых некоторой инструкцией (алгоритмом, технологией). Воздействие на "операнд" выполняется оператором.

Алгоритм однозначно определяет последовательность операций, которая либо устанавливается заранее и действует в течение всего процесса преобразования, либо меняется в зависимости от результата выполненной операции, т.е. *алгоритм* - упорядоченное множество операций, их отношений и

условий перехода от одной операции к другой. Тогда техническая система рассматривается как средство реализации преобразований.

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

Следует отметить, что в государственных стандартах, связанных с производственными системами, широко используются понятия производственных и технологических процессов.

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

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

Встречается в литературе также термин "*трудовой технологический процесс*", означающий совокупность действий людей с использованием технических средств, направленных на достижение определенной производственной цели (изменение предмета производства, проектирование чего-либо, управление коллективом людей и т.д.). Отмечается, что "трудовой технологический процесс" состоит из отдельных операций (работ).

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

Таким образом, просматривается упорядоченная последовательность производственных процессов: технический процесс, производственный процесс, технологический процесс, технологическая операция.

В государственных стандартах *эксплуатация* определена как стадия жизненного цикла изделия, на котором реализуется, поддерживается и восстанавливается его качество. Эксплуатация включает в себя в общем случае использование по назначению, транспортирование, хранение, ТОиР.

Техническая эксплуатация является частью эксплуатации, включающей транспортирование, хранение, ТОиР изделия. Наставление по технической эксплуатации и ремонту АТ ГА техническую эксплуатацию определяет как производственную деятельность организаций, авиапредприятий и работников ГА по инженерно-авиационному обеспечению (ИАО) полетов. Она включает подготовку ЛА к полетам, техническое обслуживание в процессе использования АТ, хранение и транспортирование, организацию и обеспечение технического обслуживания и других работ, выполняемых на АТ.

Потребности практики в совершенствовании управления процессами эксплуатации в ГА пытаются удовлетворить путем разработки автоматизированных систем управления (АСУ) производством и технологическими процессами. При этом за основу в ряде случаев берется существующая технология, которая уже не удовлетворяет современным требованиям научно-технического прогресса.

В этих условиях возникает необходимость в определении иерархической структуры процессов эксплуатации АТ и их взаимосвязи с производственными процессами.

Проведенный выше анализ процессов эксплуатации и производственных процессов дает возможность предложить классификацию технических процессов (рис.1.1). Особенностью классификации является определение упорядоченной последовательности эксплуатационных процессов: процесс эксплуатации, ПТЭ, процесс ТОиР (процесс ИАО), операции ТОиР (операции ИАО). Установлено соответствие производственных и эксплуатационных процессов: процессы эксплуатации - производственные процессы, процессы ТОиР - технологические процессы, операции ТОиР - технологические операции.

Показано место процессов изменения технического состояния АТ в структуре технических процессов.

Эксплуатация АТ характеризуется взаимодействием объективного процесса изменения технического состояния и субъективного процесса технической эксплуатации, представляющего собой последовательную во времени смену состояний эксплуатации в соответствии с принятой стратегией.

К состояниям эксплуатации относятся: использование по назначению, различные виды ТОиР, диагностирование, транспортирование, хранение, ожидание поступления в каждое из этих состояний и др.

Стратегия технической эксплуатации АТ представляет собой совокупность правил, обеспечивающих заданное управление СиПЭ АТ путем поддержания наивыгоднейших режимов работы АТ и назначения профилактических и ремонтных работ в соответствии с техническим состоянием самолетов. Объектом управления является СиПЭ АТ соответствующего уровня: отрасли, региона, предприятия. Условия управления СиПЭ АТ реализуются через установление входных управляющих воздействий и выходных параметров, а также назначением методов управления СиПЭ АТ.

Входными управляющими воздействиями при управлении СиПЭ АТ являются ресурсы времени, труда и средств, затрачиваемые в процессе эксплуатации. Выходными параметрами являются показатели безопасности и регулярности полетов, интенсивности использования АТ, экономичности процесса их технической эксплуатации. Взаимосвязь входных управляющих воздействий и выходных параметров устанавливается моделями СиПЭ АТ.

Целевой подход к исследованию сложных систем реализуется в ряде "системных" дисциплин, таких как "Исследование операций", "Теория управления", "Теория систем", "Системный анализ", "Теория эффективности" и "Теория технических систем" [12]. Все эти дисциплины связаны с принятием решений в условиях функционирования систем разной физической природы. Особенности и взаимосвязь "системных" дисциплин, рассмотренные в работе, заключаются в том, что "системный анализ" можно считать дальнейшим развитием "исследования операций" и "теории управления", поскольку одной из центральных проблем "системного анализа" является проблема принятия решений. При этом в системном анализе цель перестает быть экзогенным фактором, а становится самостоятельным объектом исследования. В отличие от "теории систем", которая относится к общей методологии науки, "системного анализа" является прикладной дисциплиной, ориентированной на решение конкретных практических задач.

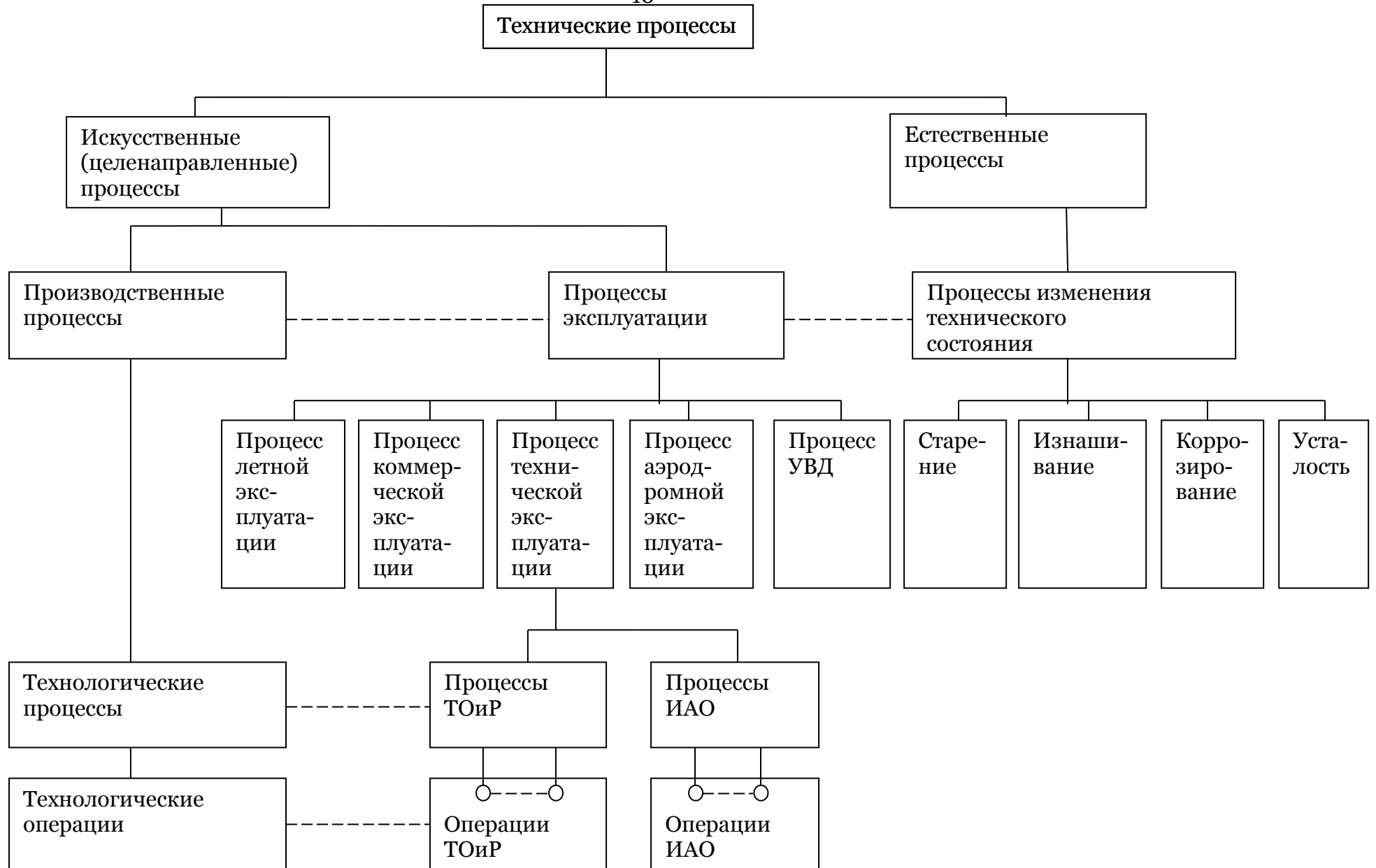


Рис. 1.1. Классификация технических процессов

"Теория эффективности" рассматривается в качестве раздела "системотехники", изучающего вопросы планирования, проектирования и поведения сложных информационных систем [12].

Под эффективность 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, достигаемого в пределах некоторого интервала времени. Если фактический результат (состояние) не соответствует желаемому, то имеет место *проблема* - расхождение между действительным и желаемым. Комплекс условий, в которых существует проблема, обобщенно называется *ситуацией*. Совокупность проблемы и ситуации образует *проблемную ситуацию*.

В соответствии с областью применения различают: общую теорию систем, которая справедлива для всех систем независимо от их физической природы, и специальные теории, которые конкретизируют общую теорию для отдельных видов технических систем и сфер их использования. Фундаментальные результаты "системного анализа", "теории управления", "теории эффективности" и "теории технических систем", относящиеся к общей теории систем, могут служить надежной основой для разработки теории "управления СиПЭ АТ" в рамках научной дисциплины "Техническая эксплуатация ЛА и двигателей".

В качестве основного признака, характеризующего управление СиПЭ АТ целесообразно принять характер информации о техническом состоянии и условиях эксплуатации АТ, которая используется при принятии решений. Эту *информацию* по времени получения и использования можно разделить на *априорную* (полученную до опыта) и *апостериорную* (полученную при проведении опыта). При этом под опытом понимается серийная эксплуатация АТ. Тогда особенностью процесса управления для разных поколений ЛА является использование для вновь создаваемой АТ *априорного анализа (синтеза)*, а для серийных ЛА – *апостериорного анализа (синтеза)* и наличие связи между поколениями АТ (табл. 1.1).

Задачи априорного анализа (синтеза) связаны с *программным* управлением (табл.1.2), предусматривающим выполнение заранее заданной программы технической эксплуатации, сформированной на основе априорной информации о конструктивно-эксплуатационных свойствах и ожидаемых условиях эксплуатации АТ.

Задачи апостериорного анализа (синтеза) связаны с *оперативным управлением* (табл.1.2), носящим адаптивный характер и обеспечивающим корректировку программы технической эксплуатации и выработку управляющих воздействий на основе обработки и анализа апостериорной информации о техническом состоянии и реальных условиях эксплуатации АТ.

Основные предметы исследования (задачи) теорий управления СиПЭ АТ приведены на рис. 1.2.

Таблица 1.1

Связь априорного и апостериорного анализа (синтеза)

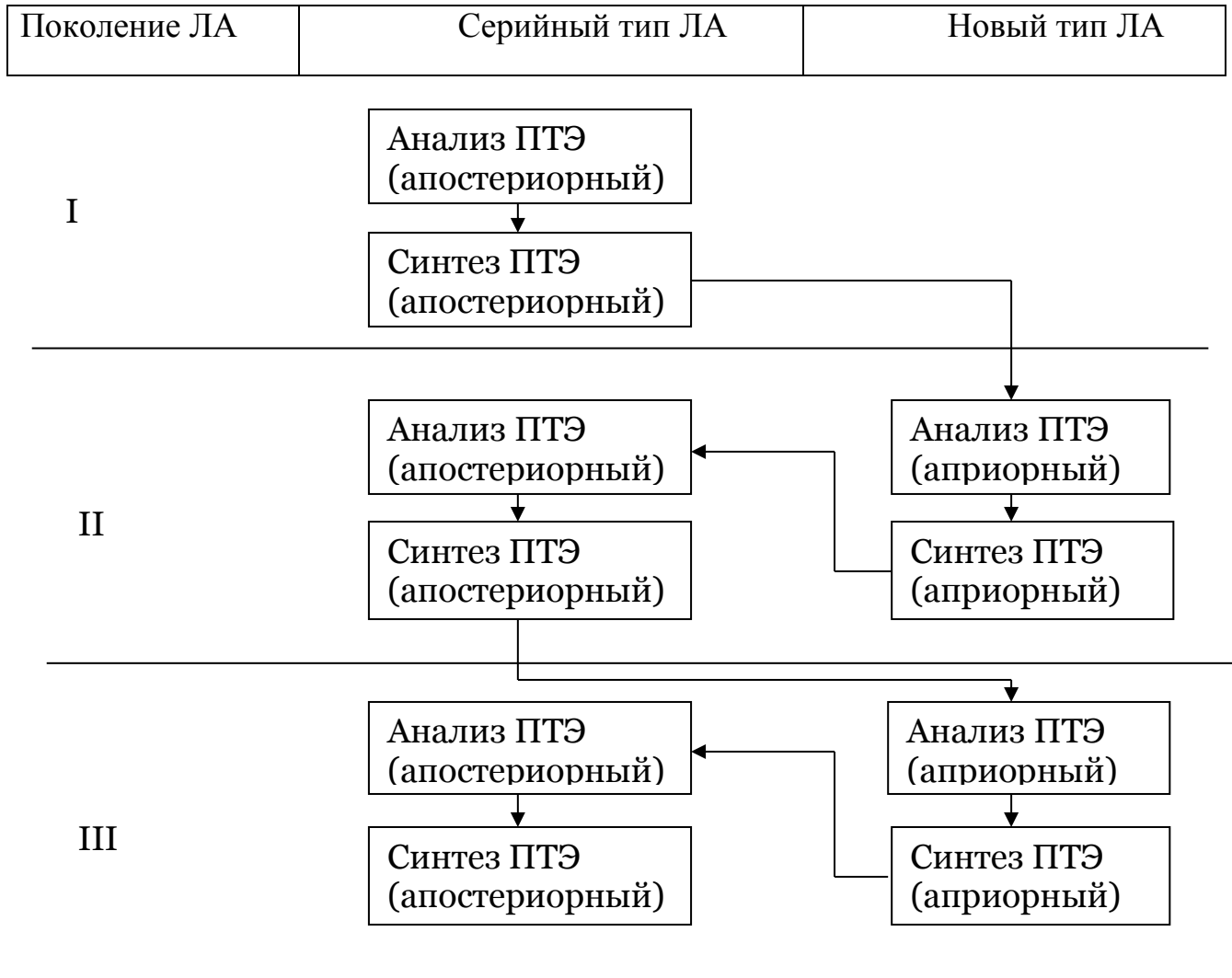


Таблица 1.2

Связь программного управления с текущим планированием и оперативным управлением

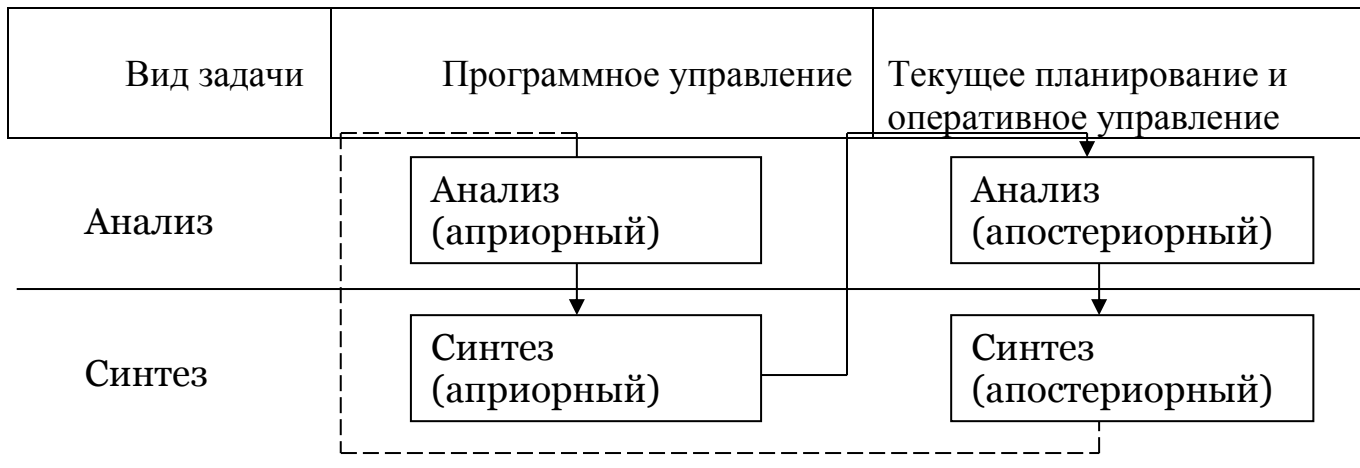




Рис. 1.2. Основные предметы (задачи) управления СиПЭ АТ

2. УПРАВЛЯЕМЫЕ СИСТЕМЫ И ПРОЦЕССЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Научно-методического обеспечения управления СиПЭ АТ содержит нормативную базу управления и научное обоснование: принципов управления, целей управления, объектов управления, органа управления, функций управления, методов управления и управленческих решений (табл. 2.1).

Нормативная база управления СиПЭ АТ содержит: международные стандарты, воздушный кодекс РФ, постановления правительства, государственные стандарты, федеральные авиационные правила, приказы Минтранса и Росавиации, эксплуатационную и ремонтную документацию.

2.1. Принципы управления системами и процессами эксплуатации авиационной техники

Эффективность СиПЭ АТ зависит от многих факторов, действующих на разных этапах жизненного цикла АТ (рис. 2.1) и определяется совершенством конструкции и программы технической эксплуатации (ТОиР), которые находятся в тесной взаимосвязи. Организация согласованных совместных действий разработчика, изготовителя и эксплуатанта по повышению эффективности СиПЭ АТ требует создания теоретической и научно-методической базы.

В связи с этим особую актуальность приобретает проблема разработки системы научно-методического обеспечения управления СиПЭ АТ, отражающей целенаправленную деятельность специалистов организаций и предприятий ГА и авиационной промышленности на всех стадиях жизненного цикла АТ по повышению безопасности и регулярности полетов, интенсивности использования АТ, снижению затрат времени, труда и средств на ТОиР.

Управление СиПЭ АТ строится на основе совокупности научно-обоснованных и проверенных практикой принципов управления производством, нормативных документов и научных результатов по эксплуатации, надежности, ТОиР АТ, системному анализу и теории эффективности систем [4, 6, 12, 14].

Основными принципами управления являются: системный подход, целенаправленность, процессный подход, целенаправленность, функциональный подход, процессный подход, комплексность управления, многовариантность проработки, сбалансированность по ресурсам и динамичность.

Системный подход заключается в создании целостной системы управления, охватывающей все стадии жизненного цикла АТ, все этапы эксплуатации, периоды планирования и все уровни организационной структуры инженерно-авиационной службы ГА (рис. 2.2).

Содержание научно-методического обеспечения управления СиПЭ АТ

*Система научно-методического обеспечения управления СиПЭ АТ**1. Нормативная база системы*

| | | | | | | |
|-------------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---|
| Международные стандарты | Воздушный кодекс РФ | Постановления правительства | Государственные стандарты | Федеральные авиационные правила | Приказы Минтранса и Росавиации | Эксплуатационная и ремонтная документация |
|-------------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---|

2. Подсистемы и элементы научно-методического обеспечения управления процессами СиПЭ АТ

| | | | | | | |
|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| <i>2.1. Принципы управления</i> | <i>2.2. Цели управления</i> | <i>2.3. Объект управления</i> | <i>2.4. Орган управления</i> | <i>2.5. Функции управления</i> | <i>2.6. Методы управления</i> | <i>2.7. Управленческие решения</i> |
| ● Системный подход | ● Безопасность полетов | ● СиПЭ АТ | ● Регулирование | ● Анализ | ● Экономические | ● Корректировка режимов ТОиР |
| ● Целенаправленность | ● Готовность к применению | ● Процессы ТЭ | ● Госрегистрация | ● Моделирование | ● Административные | ● Продление ресурсов и сроков службы |
| ● Функциональный подход | ● Регулярность полетов | ● Процессы ТОиР | ● Сертификация | ● Планирование | ● Социальные | |
| ● Процессный подход | ● Интенсивность использования | ● Ресурсы и сроки службы АТ | ● Допуск к эксплуатации | ● ИЛП ЖЦ АТ | ● Программные | ● Доработка АТ по бюллетеням |
| ● Комплексность | ● Снижение затрат | ● Доработки АТ | ● Надзор | ● Оперативное управление | ● Адаптивные | ● Директивы летной годности |
| ● Многовариантность | ● Обеспечение надежности АТ | ● Сертификация СиПЭ АТ | ● Контроль | ● Оценка | ● Функциональные | ● Улучшение СиПЭ АТ |
| ● Сбалансированность | ● Эффективность | ● Устранение неисправностей АТ | ● Менеджмент | ● Стимулирование | ● Процессные | ● Снижение времени, труда и средств |
| ● Динамичность | ● Качество | ● Автоматизация | ● Линейное руководство | ● Учет и отчетность | ● Системный анализ | ● Механизация и автоматизация |

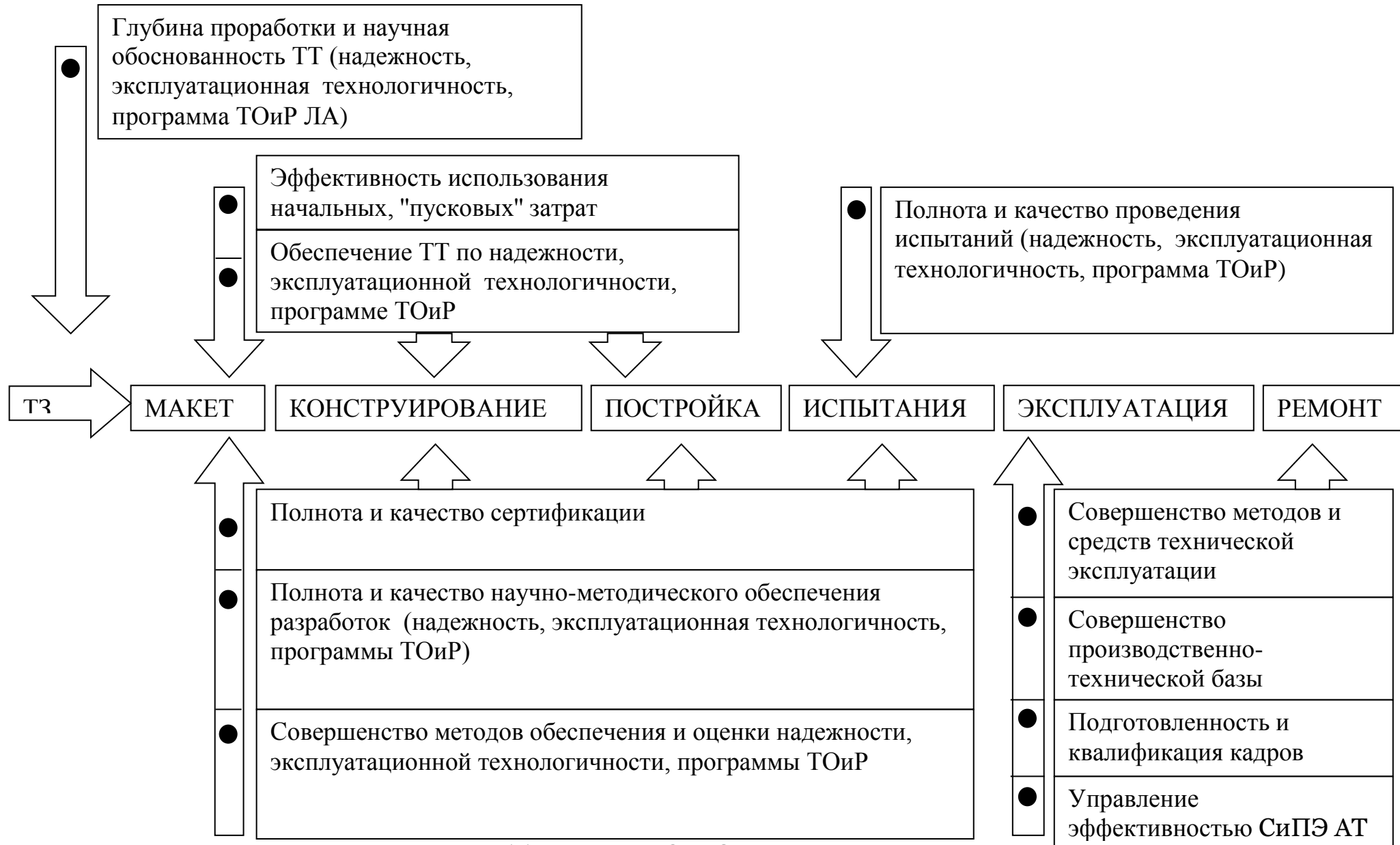


Рис. 2.1. Факторы, определяющие эффективность СиПЭ АТ: ТТ - технические требования



Рис. 2.2. Системный подход к управлению СиПЭ АТ

Процессный подход представляет собой применение в авиапредприятиях системы процессов ПЛГ АТ ГА совместно с идентификацией этих процессов, их взаимодействием и управление этими процессами (ГОСТ Р ИСО 9001-2001).

Для повышения *целенаправленности* управления СиПЭ АТ и ориентации его на конечные результаты производственно-хозяйственной деятельности предприятий ГА используется целевой подход к управлению, в соответствии с которым определяется главная цель управления и ее последующая дифференциация в виде иерархической системы целей (в том числе по производственным единицам и подразделениям), обеспечение условий, необходимых для достижения целей, и организация деятельности трудового коллектива в интересах достижения поставленных целей.

Для обеспечения рационального разделения и кооперирования труда в сфере управления и повышения на этой основе его эффективности реализуется *функциональный подход* к управлению СиПЭ АТ, сущность которого состоит в выделении совокупности конкретных автономных функций управления и формировании для их осуществления специализированных функциональных подсистем управления.

Для обеспечения единства руководства предприятиями и подразделениями по технической эксплуатации АТ, согласованности действий исполнителей и ответственности руководителей за результаты деятельности вверенных им подразделений реализуется *линейный подход* к управлению, сущность которого состоит в построении рациональной структуры предприятия и назначении для каждого подразделения руководителя, подчиненного вышестоящему руководителю, обладающего полнотой власти во вверенном ему подразделении и осуществляющего непосредственное

руководство СиПЭ АТ через подчиненных ему линейных руководителей.

Для обеспечения *комплексности управления* предприятием (подразделением) по технической эксплуатации АТ осуществляется рациональное сочетание целевого, функционального управления и линейного руководства. Комплексный подход заключается в создании целостной, гибкой системы управления СиПЭ АТ, охватывающей все стадии жизненного цикла ЛА, все этапы планирования и все уровни производственной структуры инженерно-авиационной службы (ИАС) ГА. Руководители подразделений ИАС отрасли, регионов и предприятий осуществляют систематическое совершенствование управления на основе передового опыта и применения современных информационных технологий.

2.2. Цели управления и показатели эффективности систем и процессов эксплуатации авиационной техники

В теории эффективности систем формализация цели осуществляется путем введения множества параметров целеполагания Y_{mp} , задающих желаемый (требуемый) результат. Перечень и значения (количественные и качественные) этих параметров определяются по результатам анализа проблемной ситуации. Требуемый (желаемый) результат может быть получен путем выполнения определенных действий по преобразованию некоторых ресурсов в требуемый результат. Такую совокупность действий принято называть *операцией*. Реальный результат Y операции (фактический и ожидаемый) есть тот результат, который получен или может быть получен при проведении операции. В силу действия различного рода факторов реальный результат Y операции может отличаться от требуемого Y_{mp} .

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

Показатель эффективности – мера интенсивности проявления эффективности (мера степени соответствия реального результата операции требуемому и мера степени достижения цели операции) [12]. Для оценки эффективности операции последовательно определяются следующие величины:

показатель качества реального результата операции m – мерный вектор $Y^{(m)}$, состоящий из целевого эффекта $g^{(m_1)}$, затрат ресурсов $C^{(m_2)}$, затрат времени $T^{(m_3)}$

$$Y^{(m)} = g^{(m_1)}, C^{(m_2)}, T^{(m_3)} ;$$

вектор параметров целеполагания, задающий область допустимых значений показателей качества

$$Y_{mp}^{(m)} = g_{mp}^{(m_1)}, C_{mp}^{(m_2)}, T_{mp}^{(m_3)} ;$$

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

$$\rho = Y^{(m)}, Y_{mp}^{(m)} ;$$

показатель эффективности операции W , являющийся матожиданием общей функции соответствия

$$W = M \left[\rho Y^{(m)}, Y_{mp}^{(m)} \right].$$

Целевой подход к исследованию эффективности СиПЭ АТ позволяет расчленить генеральную цель АТС на ряд подцелей путем построения многоуровневой структуры целей.

При управлении эффективностью на каждом уровне используется 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.

С учетом иерархической структуры АТС, рассмотренной ранее, эффективность СиПЭ АТ определяется на основе ее влияния на эффективность процесса эксплуатации АТ. Эффективность процессов ТОиР оценивается по их влиянию на эффективность СиПЭ АТ.

Главной целью системы технической эксплуатации АТ является полное и своевременное удовлетворение потребностей АТС в исправных АТ, обеспечение безопасности и регулярности полетов, интенсивности использования их по назначению при минимальных затратах времени, труда и средств на ТОиР.

Для достижения главной цели системы технической эксплуатации необходимо обеспечить осуществление совокупности взаимосвязанных основных целей, определяющих целевую направленность деятельности эксплуатационных авиапредприятий и их подразделений по управлению СиПЭ АТ (табл. 2.2).

Степень достижения главной и основных целей деятельности ИАС характеризуется показателями эффективности СиПЭ АТ, классификация которых приведена в табл. 2.3.

Система показателей эффективности СиПЭ АТ включает различные виды показателей: обобщенные, частные, относительные и комплексные показатели (табл. 2.4) [6, 7, 16].

Обобщенные показатели характеризуют уровень эффективности СиПЭ АТ и тенденции его изменения, не различая конкретных причин и факторов,

Таблица 2.2

Основные области и цели деятельности
по управлению СиПЭ АТ

| №п/п | Область деятельности | Основные цели деятельности |
|------|---|--|
| 1. | Планирование использования ЛА по назначению | Обеспечение требуемого уровня готовности, исправности и интенсивности использования и регулярности полетов ЛА, снижение затрат времени на ТОиР |
| 2. | Повышение качества ТОиР АТ | Обеспечение соответствия качества |

| | | |
|----|---|--|
| | | ТОиР, безотказности, долговечности и сохраняемости АТ заданным требованиям |
| 3. | Улучшение использования ресурсов при ТОиР | Повышение эффективности использования трудовых, материальных и финансовых ресурсов на ТОиР АТ |
| 4. | Научно-техническое развитие производства | Совершенствование производственно-технической базы, стратегий, методов и режимов ТОиР в соответствии с новыми достижениями науки, техники, технологии и организации производства, обеспечивающее повышение эффективности СиПЭ АТ |
| 5. | Социальное развитие трудового коллектива | Удовлетворение материальных и духовных потребностей инженерно-технического персонала, улучшение условий труда, быта и отдыха работников |
| 6. | Охрана окружающей среды | Выполнение норм и требований к воздействию СиПЭ АТ на окружающую среду, рациональное использование природных ресурсов |
| 7. | Совершенствование организации производства и управления | Повышение уровня организации производства и управления СиПЭ АТ |

вызвавших их изменение. Частные показатели дифференцированно оценивают степень влияния отдельных (частных) причин на уровень эффективности СиПЭ АТ. В состав обобщенных показателей входят: показатели безотказности АТ и безопасности полетов; показатели регулярности отправок ЛА в рейсы; показатели использования парка ЛА, показатели экономической эффективности.

Для оценки безотказности АТ и безопасности полетов предлагается использовать показатели $K_{1000\ n}$ - количество отказов АТ в полете на 1000 ч налета, $K_{1000\ \partial i}$ - количество неисправностей, приведших к инцидентам.

Регулярность отправок ЛА в рейс оценивается показателями:

P_{100} - коэффициент нарушения регулярности отправок по техническим причинам (на 100 отправок) и $t_{\text{сд}}$ - средняя продолжительность задержки отправок в рейсы.

Классификация показателей эффективности СИПЭ АТ

| №п/п | Признаки классификации | Вид показателей |
|------|---|---|
| 1. | Степень обобщения характеризуемых свойств | Единичные: безотказности АТ и безопасности полетов, регулярности отправок в рейс, использования ЛА, экономичности СИПЭ АТ. Комплексные: интегральные, средневзвешенные |
| 2. | Отражение причин изменения показателей | Обобщенные: характеризуют эффективность СИПЭ АТ в целом Частные: оценивают дифференцированно влияние отдельных (частных) причин на эффективность СИПЭ АТ |
| 3. | Вид оцениваемой величины | Абсолютные Относительные |
| 4. | Вид оцениваемого показателя | Процесса эксплуатации Процесса технической эксплуатации приписного (действующего, оперативного) парка Процессов ТОиР |
| 5. | Уровень организационной структуры | Отраслевые Региональные Предприятия Подразделения (цеха, смены, бригады) |
| 6. | Вид объекта эксплуатации | Парка ЛА Летательного аппарата Функциональной системы Изделия |

Таблица 2.4

Показатели эффективности процессов СиПЭ АТ

| Наименование показателей | Обозначения показателей | | |
|--|-------------------------|--------------------|---------------------|
| | Обобщенные | Частные | Относительные |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. Безотказность АТ и безопасность полетов | | | |
| 1.1 Количество отказов, выявленных в полете на 1000 ч налета | $K_{1000П}$ | $K_{1000П\ ijk}$ | $\bar{K}_{1000П}$ |
| 1.2. Количество отказов, приведших к инцидентам на 1000 ч налета | $K_{1000инц}$ | $K_{1000инц\ ijk}$ | $\bar{K}_{1000инц}$ |
| 2. Регулярность отправления ЛА в рейсы | | | |
| 2.1. Коэффициент регулярности отправок ЛА в рейсы по техническим причинам | P_{100} | | \bar{P}_{100} |
| 2.2.Средняя продолжительность задержки вылета по техническим причинам | $t_{3\ ср}$ | $t_{3\ ik\ ср}$ | $\bar{t}_{3\ ср}$ |
| 3. Использование ЛА по времени | | | |
| 3.1 Коэффициент использования ЛА на j -м уровне управления | $K_{И\ j}$ | | $\bar{K}_{И\ j}$ |
| 3.2. Коэффициент исправности на j -м уровне управления | $K_{испр\ j}$ | | $\bar{K}_{испр\ j}$ |
| 3.3. Среднее время восстановления | $t_{В\ ср}$ | | $\bar{t}_{В\ ср}$ |
| 3.4. Вероятность восстановления в заданное время | $P_B(t)$ | | $\bar{P}_B(t)$ |
| 3.5. Удельные простои ЛА по техническим причинам на j -м уровне управления | $K_{П}$ | $K_{П\ ijk}$ | $\bar{K}_{П}$ |
| 4. Экономичность ПТЭ | | | |
| 4.1. Удельные трудовые затраты на ТОиР ЛА на j -м уровне управления | $\tau_{уд}$ | $\tau_{уд\ ijk}$ | $\bar{\tau}_{уд}$ |
| 4.2. Удельные материальные затраты на ТОиР ЛА на j -м уровне управления | $c_{удМ}$ | $c_{удМ\ kij}$ | $\bar{c}_{удМ}$ |
| 4.3. Удельная себестоимость работ по ТОиР ЛА на j -м уровне управления | $c_{уд}$ | $c_{уд\ ijk}$ | $\bar{c}_{уд}$ |
| 5. Комплексные показатели эффективности | | | |
| 5.1. Коэффициент готовности | K_G | | \bar{K}_G |
| 5.2. Коэффициент оперативной готовности на j -м уровне управления | $K_{ОГ\ j}$ | | $\bar{K}_{ОГ}$ |
| 5.3. Коэффициент оперативного использования на j -м уровне управления | $K_{ОИ\ j}$ | | $\bar{K}_{ОИ\ j}$ |
| 3.3. Коэффициент эффективности использования на j -м уровне управления | $K_{ЭИ\ j}$ | | $\bar{K}_{ЭИ\ j}$ |

Интенсивность использования парка ЛА во времени оценивается

показателями:

$\hat{E}_{\hat{E}}$ - коэффициент использования парка ЛА, $\hat{E}_{\hat{A}\hat{E}}$ - коэффициент возможного использования парка ЛА, $\hat{E}_{\hat{e}\hat{m}\hat{\delta}.\hat{\delta}.\hat{\delta}}$ - коэффициент требуемой исправности парка ЛА, $\hat{E}_{\hat{t}}$ - удельные простои ЛА по техническим причинам на 1 ч налета.

Для оценки экономической эффективности СиПЭ АТ предусмотрены показатели, характеризующие уровень затрат труда и средств на ТОиР на 1 ч налета; $\tau_{\hat{\alpha}\hat{i}}$ - удельные трудовые затраты, чел.ч/ ч налета; $\tilde{N}_{\hat{i} \hat{\alpha}\hat{i}}$ - удельные материальные затраты, руб./ч налета; $\tilde{N}_{\hat{\alpha}\hat{i}}$ - удельная себестоимость ТОиР, руб./ч налета.

Частные показатели используются для решения задач анализа эффективности ПТЭ ЛА. Эти показатели рассчитываются для i -го состояния ПТЭ или группы состояний, j -й функциональной системы и k -й причины. Относительные показатели эффективности используются для оценки уровня эффективности СиПЭ АТ дифференциальным методом:

$$q_l = \frac{p_l}{p_{l\hat{\alpha}}}, \quad q_l = \overline{p}_l = \frac{p_{l\hat{\alpha}}}{p_l}, \quad l=1,2,\dots,n,$$

где $p_l, p_{l\hat{\alpha}}$ - значения l -го оцениваемого и базового показателей соответственно.

При наличии предельных значений показателей эффективности относительные показатели вычисляются следующим образом:

$$q_l = \frac{p_l - p_{l\hat{r}\hat{\delta}}}{p_{l\hat{\alpha}} - p_{l\hat{\alpha}\hat{r}\hat{\delta}}}, \quad q_l = \frac{p_{l\hat{\alpha}} - p_{l\hat{r}\hat{\delta}}}{p_l - p_{l\hat{r}\hat{\delta}}}.$$

Оценка уровня эффективности комплексным методом выполняется с использованием интегральных показателей:

$$I_1 = \frac{C_{\hat{\zeta}} + C_{\hat{e}}\hat{A}_{\hat{t}}}{\hat{I}},$$

$$I_2 = \frac{C_{\hat{\zeta}} + C_{\hat{e}}\hat{A}_{\hat{t}} + \hat{O}}{\hat{I}}.$$

где $C_{\hat{\zeta}}, C_{\hat{e}}$ - суммарные эксплуатационные (текущие) затраты на ТОиР, руб.; $\hat{A}_{\hat{t}}$ - нормативный коэффициент эффективности; \hat{U} - убытки (потери) от отказов АТ, задержек отпавлений, простоев на ТОиР самолетов.

Средние взвешенные арифметический Q и геометрический V показатели эффективности СиПЭ АТ

$$Q = \sum_{i=1}^n m_{l(Q)} p_l, \quad Q = \sum_{i=1}^n m_{l(Q)} q_l,$$

$$V = \prod_{i=1}^n (p_i)^{m_{l(V)}}, \quad V = \prod_{i=1}^n (q_i)^{m_{l(V)}},$$

где $m_{l(q)}$ $m_{l(V)}$ - параметры весомости 1-го показателя, входящие в Q и V соответственно.

2.3. Системы и процессы эксплуатации авиационной техники как объект управления

Классификация процессов ПЛГ АТ ГА выполнена по следующим признакам: нормативно-правовые, этапы жизненного цикла ВС, ресурсное обеспечение, контроль и мониторинг, режимы эксплуатации АТ ГА, режимы ПЛГ АТ ГА, сертификация и менеджмент качества в организациях по ТООР АТ (табл. 2.5, рис. 2.3).

Таблица 2.5

Классификация процессов СиПЭ АТ

| Признаки | Виды СиПЭ АТ |
|------------------------------|--|
| 1 | 2 |
| 1. Нормативно-правовые | <ul style="list-style-type: none"> нормирование летной годности -разработка авиационных правил (технических регламентов) -сертификация -государственный надзор -разработка директив летной годности |
| 2. Этапы жизненного цикла ЛА | <ul style="list-style-type: none"> - создание конструкции типа ЛА - обеспечение летной годности при проектировании - сертификация типа ЛА |
| 2.1. Проектирование | <ul style="list-style-type: none"> - сертификационные испытания - формирование базовой программы ТООР - обеспечение летной годности при производстве - сохранение стабильности технологических процессов - разработка и корректировка ЭИРД |
| 2.2. Изготовление | <ul style="list-style-type: none"> - государственная регистрация ЛА - допуск к эксплуатации ЛА - выполнение работ по ТООР |
| 2.3. Эксплуатация | <ul style="list-style-type: none"> - установление ресурсов и сроков службы ЛА - формирование (корректировка) программы (регламента) ТООР - доработки ЛА - выполнение директив летной годности - обобщение опыта эксплуатации - разработка (корректировка) программы сохранения целостности конструкции |

| 1 | 2 |
|--------------------------|--|
| 3. Ресурсное обеспечение | <ul style="list-style-type: none"> - материально-техническое обеспечение - кадровое обеспечение - обеспечение средствами ТОиР - технологическое обеспечение - финансовое обеспечение - метрологическое обеспечение - информационное обеспечение |
| 4. Контроль и мониторинг | <ul style="list-style-type: none"> - инспекция и надзор - мониторинг летной годности - контроль целостности конструкции - контроль параметров - контроль надежности - документирование технического состояния - диагностирование и неразрушающий контроль |
| 5. Режимы эксплуатации | <ul style="list-style-type: none"> - режимы летной эксплуатации - режимы технической эксплуатации - режимы коммерческой эксплуатации - режимы аэродромной эксплуатации - режимы управления воздушным движением |
| 6. Режимы ТЭ | <ul style="list-style-type: none"> - режимы ТОиР - режимы диагностирования - режимы контроля параметров - режимы контроля надежности - режимы замены изделий - режимы поиска и устранения неисправностей |
| 7. Сертификация | <ul style="list-style-type: none"> - выдача дополнений к сертификату типа ВС - сертификация экземпляра ЛА - сертификация эксплуатанта - сертификация организации по ТОиР - сертификация авиационного персонала |
| 8. Менеджмент качества | <ul style="list-style-type: none"> - планирование качества - обеспечение качества - управление качеством - улучшение качества |



Рис. 2.3. Основные СИПЭ АТ

При этом под *управляемым процессом ПЛГ ВС* понимается любая

деятельность по ПЛГ, использующая ресурсы и управляемая для обеспечения способности превращать входящие элементы в выходящие (рис. 2.4).

Часто выходящие элементы одного процесса напрямую образуют входящие элементы следующего процесса, а деятельность по ПЛГ охватывает выполнение всех мероприятий, которые гарантируют, что в любой момент срока эксплуатации все ВС соответствуют требованиям к летной годности и находятся в состоянии, обеспечивающем их безопасную эксплуатацию (Doc 9760, том 2, ICAO 2001) [89].

Совокупность взаимосвязанных управляемых процессов ПЛГ ВС образует последовательную во времени смену состояний ПЛГ в соответствии с принятой стратегией.

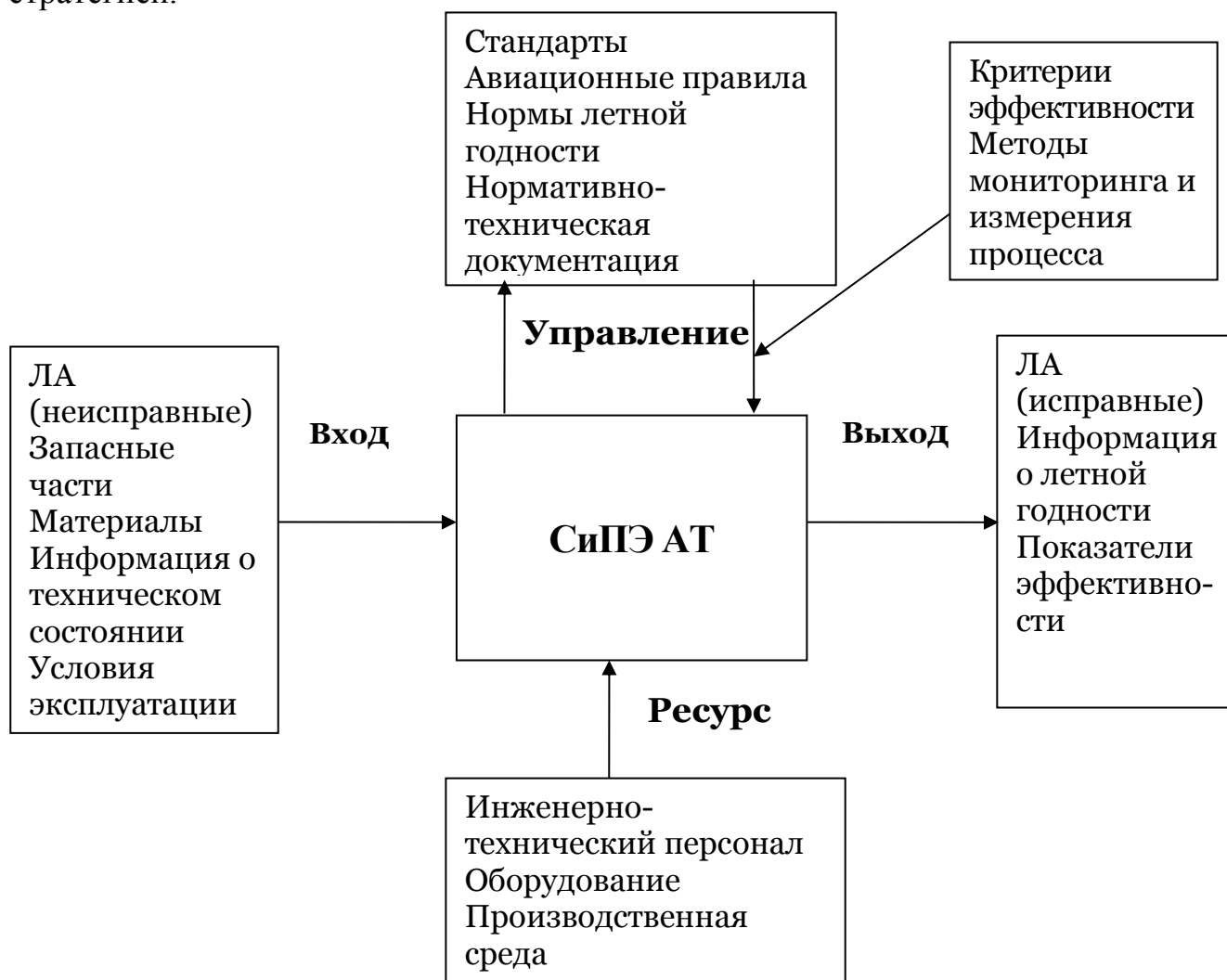


Рис. 2.4. Понятие управляемых СМПЭ АТ

2.4. Функции и методы управления процессом технической эксплуатации летательных аппаратов

При формировании системы управления ПТЭ ЛА в перечень конкретных функций управления включаются следующие типовые элементы управленческого цикла: анализ, прогнозирование, планирование, контроль, регулирование, учет,

оценка, стимулирование, организация работ.

При управлении ПТЭ ЛА используются следующие методы управления: экономические, административные, социально-психологические.

В группу экономических методов управления ПТЭ ЛА включаются: технико-экономическое планирование; образование и использование фондов экономического стимулирования; использование системы распределения прибыли; использование принципов и методов оценки и стимулирование повышения эффективности труда.

В группу административных методов управления ПТЭ ЛА входит: разработка и внедрение стандартов и других руководящих методических и нормативно-технических документов; издание приказов, указаний и распоряжения администрации; контроль исполнения.

В группу социально-психологических методов включаются: повышение творческой активности, инициативы инженерно-технического персонала, использование различных форм морального поощрения за повышение эффективности ПТЭ ЛА.

2.5. Типовой процесс выработки и реализации управленческих решений

1. Анализ потребности в повышении эффективности ПТЭ ЛА или причин ее снижения. В теории эффективности, если фактический результат не соответствует желаемому (требуемому), то имеет место проблема - расхождение между действительным и желаемым. Комплекс условий, в которых существует проблема, обобщенно называется ситуацией. Совокупность проблемы и ситуации образуют проблемную ситуацию. Анализ целенаправленной деятельности ИАС позволяет выявить проблемную ситуацию, т.е. установить наличие проблемы и определить ситуацию, в которой возникла или может возникнуть проблема.

2. Определение доминирующих состояний, видов работ по ТОиР и факторов, оказывающих наибольшее влияние на показатели эффективности ПТЭ ЛА. Описание и последующий анализ проблемной ситуации с широким привлечением формальных и эвристических методов является важнейшим этапом процесса управления. Одна из основных задач этого этапа - получение необходимой информации для формирования цели, достижение которой в данной ситуации может решить проблему, т.е. предельно уменьшить или устранить полностью различие между желаемым и действительным.

3. Подготовка и обоснование управленческого решения, оценка ожидаемой эффективности его реализации. Требуемый результат может быть получен путем преобразования некоторых ресурсов, т.е. за счет совокупности определенных действий. Такую совокупность действий называют операцией. В качестве "модели операции" можно представить некоторую совокупность, состоящую из субъекта (оперирующей стороны), формулирующего цель операции, запаса активных средств (ресурсов) для проведения операции, набора стратегий, т.е. способов использования этих ресурсов, и критерия-способа сравнения различных стратегий, преследующих достижение цели операции. Цель операции может быть достигнута не единственным образом, и критерий служит для отбора наиболее экономичной стратегии из числа допустимых, т.е. удовлетворяющих всем ограничениям и обеспечивающих достижение цели управления. Принятие решений осуществляется путем решения

оптимизационной задачи. Стохастические задачи, т.е. задачи, содержащие случайные величины и функции, могут быть не отнесены к числу задач, содержащих неопределенные факторы, если в качестве целевой функции могут использоваться средние значения некоторых величин. В случае неопределенности целей, т.е. желания достигнуть противоречивых целей возникает проблема многокритериальных оценок. Проблема принятия решений в условиях неопределенности является центральной проблемой исследования операций, рассматривающей различные способы решения многокритериальных задач.

4. Принятие управленческого решения в случае неопределенности требует привлечения дополнительных гипотез, позволяющих однозначно сформулировать цели операции. К наиболее распространенным способам решения многокритериальных задач относятся: линейная свертка, использование контрольных показателей, выделение основного показателя, введение матрицы в пространстве целевых функций, компромиссы Парето, численные методы построения множества Парето [12].

5. Организация работы по реализации управленческого решения.

6. Организация контроля выполнения принятого решения.

7. Оценка фактических результатов реализации принятого решения.

Руководитель (лицо принимающее решение) несет ответственность за обоснованность и результаты реализации принятого решения.

3. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СИСТЕМ И ПРОЦЕССОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

3.1. Построение моделей систем и процессов эксплуатации авиационной техники

СиПЭ АТ могут быть представлены следующей моделью. Имеется некоторый достаточно сложный объект эксплуатации с конечным или счетным множеством технических состояний ω_i , стохастический процесс изменения которых во времени обозначим $\omega(t)$. Состояния являются результатом некоторого разбиения $A \subseteq \Omega$, а множество индексов $I = \langle i \rangle$ считается изоморфным этому разбиению. Предполагается, что объединение соответствующих состояний ω_i образует подмножества исправных, неисправных, работоспособных и неработоспособных состояний.

Объект подвергается эксплуатации, содержащей конечное множество Δ , состояний эксплуатации $\Delta \delta_j$, образованных путем разбиения $D \subseteq \Delta$, где $j \in J$, а элементы из J идентифицированы элементам разбиения D . Считается, что соответствующие δ_j или их возможные объединения образуют подмножества состояний использования объекта по назначению, технического обслуживания, ремонта, ожиданий попадания в эти состояния и т.п.

Предположим, что состояния δ_j назначаются в некотором соответствии с возникающими техническими состояниями ω_i и процесс $\delta(t)$

отражает последовательную смену состояний δ_j . Известно пространство состояний Δ ПТЭ и его разбиение D , определяющее выбор элементов $\omega_j \in A \in \Omega$. Первоначально объект находится в некотором состоянии эксплуатации $\delta_j \in D$ случайное время, распределенное по произвольному закону $F_j(t)$, затем с вероятностью $p_{j\hat{e}}$ объект мгновенно переходит в состояние $\delta_{\hat{e}} \in D$, 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 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 ТООИР позволяет оценить эффективность режимов ТООИР объекта.

Рассматриваемая модель дает возможность использовать для анализа состояний и переходов реального ПТЭ статистические методы. Переходы процесса из состояния в состояние, определяемые стратегией эксплуатации, образуют "моменты переходов", которые в литературе принято называть вложенным процессом или вложенной целью [2, 4]. Статистический анализ ПТЭ выполняется в два этапа: на первом исследуются характеристики состояний процесса, на втором - сам вложенный процесс. Если окажется, что он обладает марковскими свойствами, а в состояниях эксплуатации развиваются процессы, близкие по структуре к процессам восстановления, то это подтвердит факт полумарковости ПТЭ самолетов.

Обозначим моменты времени, соответствующие началу и окончанию некоторого состояния, через t_1 и t_2 . Интервал $\Delta t = t_2 - t_1$ является характеристикой состояния, определяя его продолжительность, представляющую случайную величину X . Составим спецификацию состояний, определив их множество r , где r - порядковые номер (марка) состояния. Статистический анализ реализаций интервалов времени пребывания объектов в различных состояниях ПТЭ позволяет получить вероятностные модели состояний, т.е. определить тип распределений случайных величин $X_r \subset X_r$.

Состояния ПТЭ объекта возникают в рассматриваемом процессе последовательно и непрерывно, т.е. в моменты времени t_1, t_2, \dots, t_r «сшиваются» и образуют процесс. В эти моменты времени объект мгновенно переходит из одного состояния в другие, поэтому в качестве количественной характеристики этих переходов рассматриваются частоты $p_{i\hat{e}}$ переходов из i -го в \hat{e} -е состояние, где $i, \hat{e} \in r$.

На достаточно большом промежутке времени наблюдения T_i определяется число n попаданий объекта в i -е состояние и число непосредственных (прямых) переходов t_1, t_2, \dots, t_r из i -го в \hat{e} -е состояние, тогда

$$p_{i\hat{e}} = \frac{n_{i\hat{e}}}{n_i}. \quad (3.1)$$

Указанным образом можно подсчитать $p_{i\hat{e}}$ для каждого из состояний $i \in r$ и составить матрицу частот переходов $\|p_{i\hat{e}}\| = P$. Такая матрица будет определять структуру локального ПТЭ самолетов. Для того, чтобы эта матрица определяла структуру ПТЭ парка самолетов, необходимо показать эргодичность процесса на участке времени наблюдения T_f .

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 [2, 4, 14]. При этом единственным условием, которому должен удовлетворять стационарный процесс, служит условие независимости корреляционной функции $B(t, t+\tau) = B(\tau)$ 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 $\tau \rightarrow \infty$ нормированная корреляционная функция стремится к нулю.

Для эргодического процесса могут быть определены абсолютные частоты π_i попадания объекта в i -е состояние эксплуатации, $i \in r$ за время T_f

$$\dots\dots\dots \pi_i = \frac{n_i}{\sum_{\hat{e}=1}^N n_{\hat{e}}}, \quad (3.2)$$

где N - общее число состояний, наблюдаемых в интервале T_f .

Совокупность значений π_i

$$\pi = \pi_1, \pi_2, \dots, \pi_N$$

является вектором-строкой статистических вероятностей состояния ПТЭ ЛА.

Совокупность матрицы $P = \|p_{ij}\|$ и вектора $\pi = \pi_1, \pi_2, \dots, \pi_N$, определяет вложенную цепь ПТЭ. Совокупность множеств r и X_r , матрицы P и вектора π определяет весь процесс.

Указанный процесс является полумарковским при выполнении следующих условий [2, 4, 14]:

матрица переходов удовлетворяет условиям стохастической или марковской матрицы (матрица квадратная имеет конечное число состояний, все элементы матрицы неотрицательны $p_{i\hat{e}} \geq 0$ для всех i и \hat{e} , сумма элементов каждой строки равна единице $\sum_{\hat{e}=1}^N p_{i\hat{e}} = 1$, вероятности $p_{i\hat{e}}$ зависят от состояния i и не зависят от более ранних состояний; случайные величины X_r имеют функции распределения; вектор π имеет только стационарные составляющие, если процесс является стационарным и

эргодическим на отрезке T_i).

Для каждого типа ЛА можно построить граф состояний и переходов G , воспользовавшись матрицей $P = \|p_{i\hat{e}}\|$ [2, 4, 14]. Для этого преобразуем матрицу P в матрицу \bar{P} смежности вершин некоторого графа G путем замены ее ненулевых элементов единицами. Определим ребро графа G как элемент декартова произведения $V \times V$ множества его вершин V и будем считать, что это произведение задано матрицей P . Обозначим на некоторой плоскости все элементы множества V вершин G , предполагая это множество конечным, и i -ю вершину из V соединим с \hat{e} -й вершиной того же множества ребром $E = i, \hat{e}$, если элемент i, \hat{e} в \bar{P} равен единице. Разметка ребер и вершин графа G выполняется с помощью матрицы $P = \|p_{i\hat{e}}\|$ и вектор-строки π .

3.2. Основные характеристики полумарковских моделей процесса технической эксплуатации авиационной техники

Выявление марковских свойств цепи, вложенной в более сложный случайный процесс с произвольным распределением времени пребывания в каждом состоянии, позволяет для описания ПТЭ ЛА использовать математический аппарат полумарковских процессов [4, 5-7, 14].

Функция распределения времени пребывания процесса в i -м состоянии $F_i(t)$ может быть выражена через функцию распределения времени перехода из i -го в j -е состояние $F_{ij}(t)$ и вероятность перехода из i -го в j -е состояние D_{ij}

$$F_i(t) = \sum_{j=1}^N P_{ij} F_{ij}(t). \quad (3.3)$$

Если μ_{ij} - среднее время, соответствующее распределению $F_{ij}(t)$, то из (3.1) можно получить среднее время μ_i безусловного пребывания в i -м состоянии.

$$\mu_i = \sum_{j=1}^N P_{ij} \mu_{ij}. \quad (3.4)$$

Для эргодического процесса при абсолютной частоте π_i попадание объекта в i -е состояние среднее время возвращения процесса в i -е состояние l_{ii} определяется следующим образом

$$l_{ii} = \frac{1}{\pi_i} \sum_{K=1}^N \pi_K \mu_K. \quad (3.5)$$

Введем вероятность перехода из i -го в j -е состояние за время, не превышающее t

$$P_{ij}(t) = P_{ij} \cdot F_{ij}(t). \quad (3.6)$$

В соответствии с теоремой Смита [4] для конечных процессов с

сообщающимися состояниями и произвольных функций $F_i(t) = \sum_j P_{ij}(t)$ при $\mu_j < \infty$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} P_{ij}(t) = \frac{\mu_i}{l_{ij}}. \quad (3.7)$$

Выражение (3.7) представляет собой коэффициент использования в i -м состоянии. В частности, если j – целевое состояние ПТЭ, то $\frac{\mu_i}{l_{ij}}$ можно определить ее целевую функцию.

Покажем, что выбранная целевая функция может рассматриваться как коэффициент использования и его максимум может служить критерием оптимальности ПТЭ ЛА. Обозначим коэффициент использования $K_j = \frac{\mu_j}{l_{jj}}$ и, используя выражение (3.5), найдем

$$K_j = \frac{\mu_j}{\mu_j + \frac{1}{\pi_j} \sum_{k \neq j}^N \pi_k \mu_k}. \quad (3.8)$$

Отсюда следует, что $K_j > 0$ для всех состояний ПТЭ S_j и

$K_j = 1$, т. е. K_j есть вероятность. Так как K_j – функция вероятности P_{jK} , $j=1$

то она является функцией ПТЭ и поэтому может служить целевой функцией.

Из (3.8) получим функцию

$$K_j = \frac{1}{1 + \frac{1}{\pi_j \mu_j} \sum_{k \neq j}^N \pi_k \mu_k}. \quad (3.9)$$

Выражение, стоящее в знаменателе (3.9), можно назвать коэффициентом средних удельных потерь

$$\theta_j = \frac{1}{\pi_j \mu_j} \sum_{k \neq j}^N \pi_k \mu_k. \quad (3.10)$$

Для максимизации K_j (3.9) достаточно минимизировать (3.10). Снижение θ_j возможно за счет перераспределения вероятностей π_j и π_k и сокращения μ_k .

В том случае, когда вместо средних времен μ_k введены средние стоимости C_k пребывания в K -м состоянии $K = 1, N$, из выражения (3.8) можно получить экономический критерий оптимальности

$$K_{jc} = \frac{\pi_j C_j}{\pi_j C_j + \frac{1}{\pi_j} \sum_{k \neq j}^N \pi_k C_k} = \frac{1}{1 - \frac{1}{\pi_j C_j} \sum_{k \neq j}^N \pi_k C_k}. \quad (3.11)$$

Если предположить, что каждый час использования объекта по прямому назначению дает удельный доход d_j , то можно считать, что доход определяется произведением $C = d_j \mu_j$.

Тогда из (3.11) получим

$$K_{jc} = \frac{1}{1 + \frac{1}{d_j} \sum_{k \neq j}^N \frac{\pi_k C_k}{\pi_j C_j}}. \quad (3.12)$$

Сомножитель при $1/d_j$ носит название средних удельных затрат C_j на техническую эксплуатацию объекта. Если $d_j = const$, то максимум K_{jc} достигается минимизацией выражения

$$C_j = \frac{1}{\pi_j \mu_j} \sum_{k \neq j}^N \pi_k \mu_k. \quad (3.13)$$

Если принять $\mu_j = const$, так как время пребывания в целевом состоянии определяется назначением и конструкцией ЛА, а также другими факторами, не связанными непосредственно с ПТЭ, то снижение удельных затрат C_j на ТОиР возможно достигнуть перераспределением вероятностей π_j и π_k , а также изменением затрат C_k .

Аналогично выражению (3.12) может быть получена зависимость для удельных трудовых затрат

$$\tau_j = \frac{1}{\pi_j \mu_j} \sum_{k \neq j}^N \pi_k \tau_k, \quad (3.14)$$

где τ_k – трудовые затраты за одно пребывание в k -м состоянии.

Анализируя целевые функции (3.8), (3.10), (3.12), (3.13), получим следующие критерии оптимальности ПТЭ:

$$\max K_j \quad \min \theta_j \quad \text{и (или)} \quad \min C_j \quad \min \tau_j.$$

Структура ПТЭ ЛА может быть представлена совокупностью состояний эксплуатации, различаемых в зависимости от возможности использования ЛА и потребности их в ТОиР и объединяемых в r -е группы ЛА S_r и соответствующие им процессы (циклы технической эксплуатации) Q_r , $r = \overline{1,3}$ (рис. 3.1, 3.2).

1. S_1 включает группу ЛА, находящихся в рейсе (К), ожидании рейса (Г, А, М),

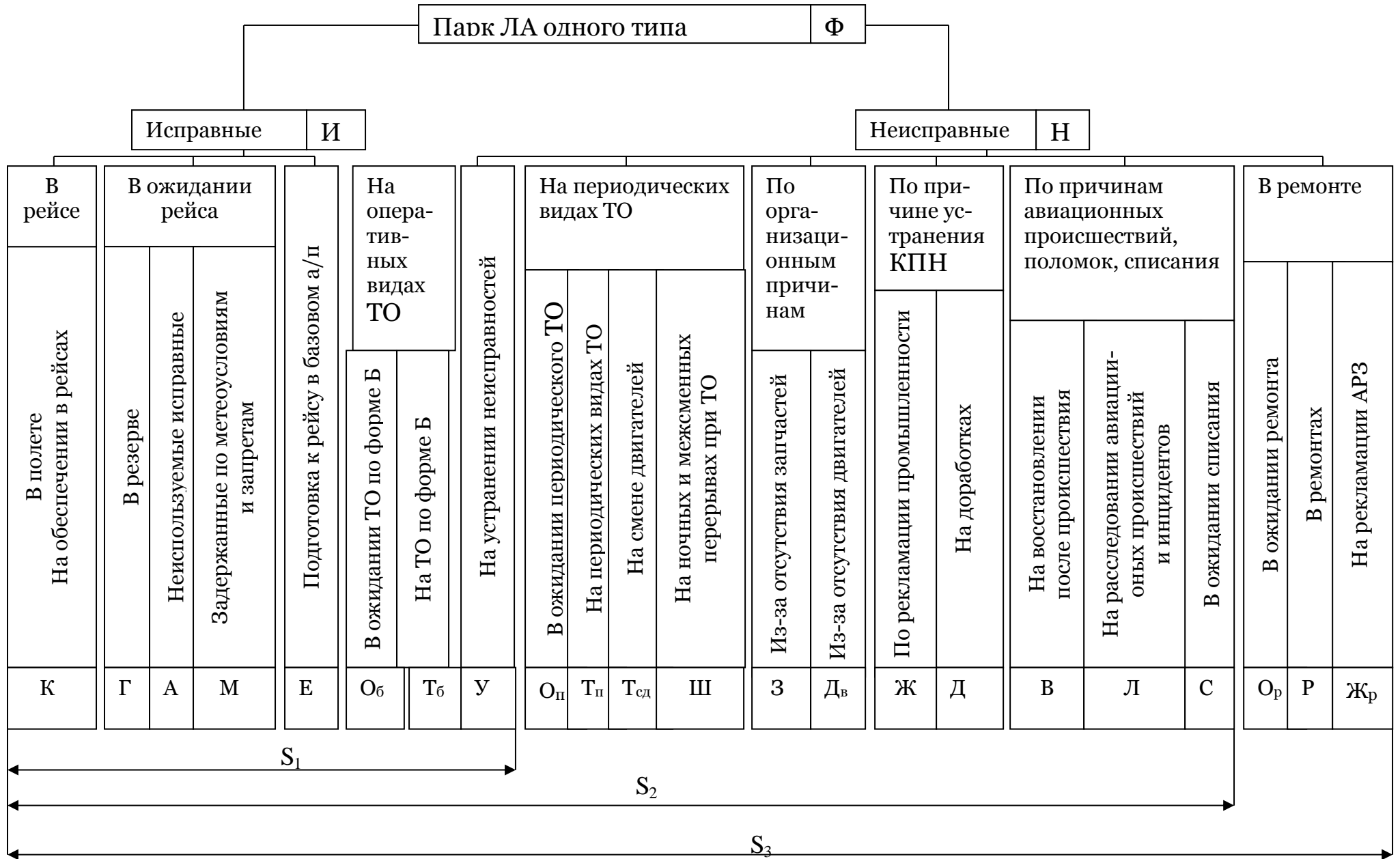


Рис. 3.1. Структура ПТЭ ЛА

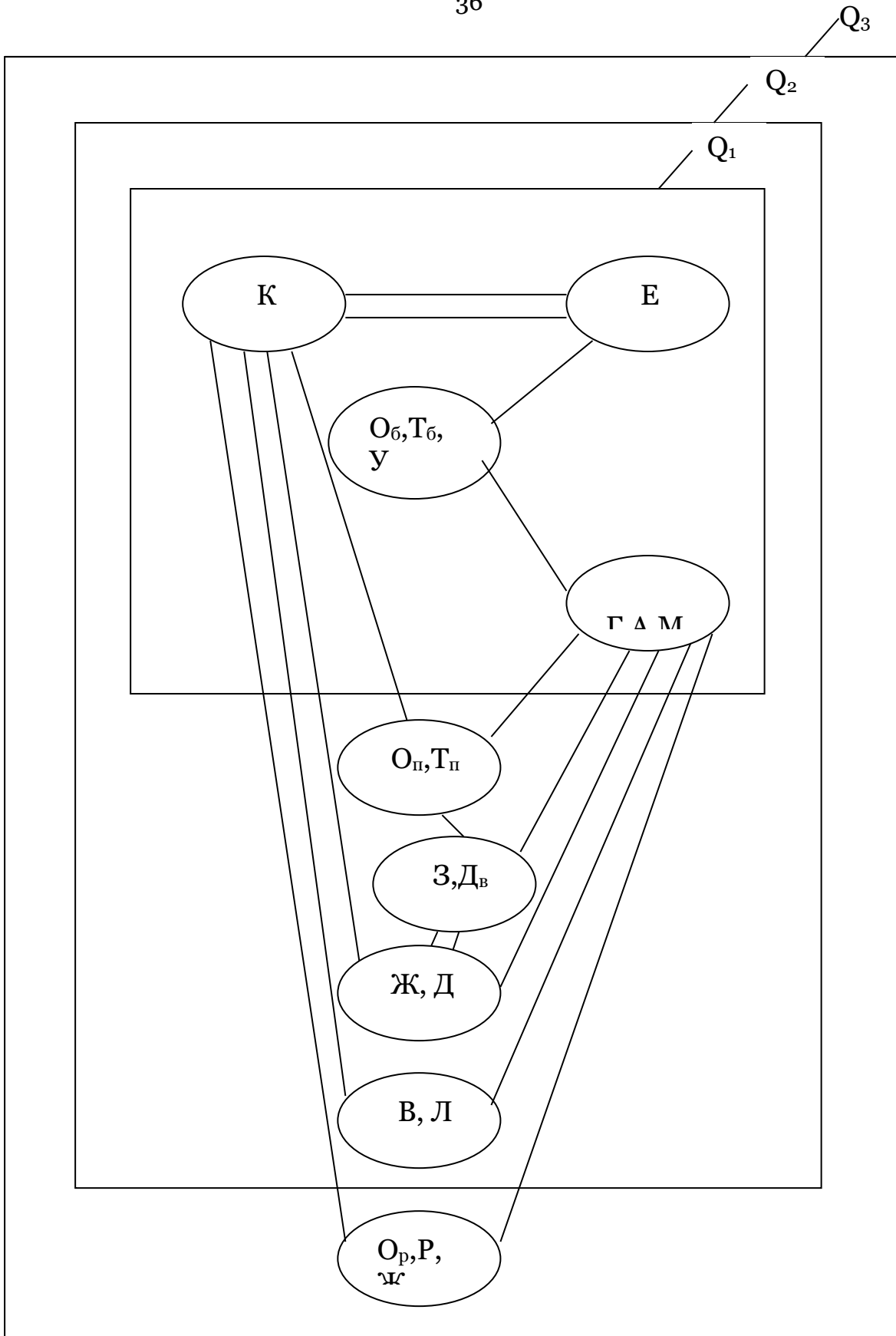


Рис. 3.2. Граф состояний и переходов ПТЭ ЛА $Q_i, i = \overline{1,3}$
 для групп самолетов $S_i, i = \overline{1,3}$
 Обозначения состояний приведены на рис. 2.5.

подготовки к рейсу (Е), а также ЛА, находящихся на оперативном техническом обслуживании (ТО) по форме Б (\hat{I}_A, \hat{O}_A) и на устранении неисправностей (У). Эффективность ПТЭ Q_1 (оперативный цикл) ЛА этой группы характеризует совершенство процесса использования по назначению и производственной деятельности цехов оперативного ТО организации по ТООР.

2. S_2 включает группу ЛА S_1 и ЛА, находящихся на периодическом ТО ($\hat{I}_i, \hat{O}_i, \emptyset$), в состояниях простоев по организационным причинам (З, Дв), устранении конструктивно-производственных недостатков - КРН (Ж, Д), а также ЛА, простаивающих по причинам авиационных происшествий (Л), поломок (П), списания (С).

Эффективность ПТЭ Q_2 (периодический цикл) ЛА данной группы характеризует производственную деятельность организации по ТООР.

3. S_3 включает весь парк ЛА, т.е. наряду с действующим парком S_2 включает ЛА, находящиеся в ремонте (O_p, P). Эффективность ПТЭ Q_3 (ремонтный цикл) группы ЛА S_3 характеризует совершенство ПТЭ всего приписного парка ЛА, т.е. эффективность работы организации по ТООР и авиаремонтного завода (АРЗ).

4. Требования к системе управления системами и процессами эксплуатации авиационной техники

Система управления ПТЭ ЛА представляет собой совокупность управляющих органов и объектов управления, взаимодействующих на основе планомерного выполнения комплекса организационных, научно-технических, экономических и социальных мероприятий, регламентированных директивными документами государственного управления, государственными и отраслевыми стандартами, стандартами предприятий и другими руководящими документами. Система управления ПТЭ ЛА должна обеспечивать разработку и осуществление мероприятий на всех стадиях жизненного цикла ЛА (исследование, проектирование, изготовление, эксплуатация), на всех этапах ПТЭ (использование по назначению, техническое обслуживание, ремонт и др.), по всем периодам планирования (перспективное, текущее, оперативное), на всех уровнях организационной структуры системы технической эксплуатации (отрасль, регион, предприятие).

Структура системы управления должна обеспечивать сочетание линейного, целевого и функционального управления на всех уровнях организационной структуры системы технической эксплуатации ЛА при единой системе обеспечения управления на основе взаимодействия подразделений при выполнении специальных функций (комплексов задач) управления. 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 ПТЭ ЛА взаимодействует с системой управления транспортным процессом и подчинена ей. Одновременно система управления ПТЭ ЛА является составной частью системы управления производством в

эксплуатационном авиапредприятии и рассматривается как ее подсистема, ориентирующая управление, планирование и организацию производства на достижение лучших конечных результатов по повышению эффективности ПТЭ ЛА.

Механизм управления ПТЭ ЛА включает два основных контура (рис. 4.1). Внешний контур (контур программного управления) K_1 "настроен" на выполнение требований транспортного процесса эксплуатации парка ЛА ГА по повышению эффективности ПТЭ, в соответствии с которыми на основе априорной информации о конструктивно-эксплуатационных свойствах ЛА и ожидаемых условиях эксплуатации формируется программа технической эксплуатации парка ЛА ГА. По мере накопления апостериорной информации о техническом состоянии парка ЛА эксплуатационного авиапредприятия в реальных условиях эксплуатации производится корректировка программы ТЭ ЛА. Внутренний контур (контур оперативного управления) K_2 "настроен" на реализацию программы ТЭ с учетом требований транспортного процесса эксплуатации парка ЛА конкретного эксплуатационного авиапредприятия, в соответствии с которыми планируется ПТЭ ЛА. В рамках контура K_2 вводится контур K'_2 (контур оперативного управления, "настроенный" на выполнение плана использования, ТОиР ЛА).

Функционирование системы ТЭ ЛА реализуется на основе взаимодействия совокупности процессов (рис. 4.2): ПТЭ, технического диагностирования (ТД) процесса изменения технического состояния (ПИТС) в процессе осуществления производственно-хозяйственной деятельности (ПХД) в рамках центра ТОиР ЛА. На входе рассматриваемой системы - используемые при ее функционировании ресурсы (трудовые, материальные, финансовые, средства ТОиР). На выходе - конечные результаты, характеризующиеся эффективностью ПТЭ ЛА (безопасность и регулярность полетов, интенсивность использования ЛА, экономичность ПТЭ и качество ТОиР).

ПИТС отражает события переходов объекта из исправного состояния в неисправное (повреждение - П), в неработоспособное (отказ - 0) и в предельное (событие - ПР) состояния. Восстановление исправности и работоспособности объекта выполняется путем выполнения работ по оперативному (ОТО) и периодическому (ПТО) техническому обслуживанию и ремонтно-восстановительных работ (РВР). Переход объекта в предельное состояние из-за нарушения требований безопасности, снижения эффективности эксплуатации, морального старения влечет за собой временное (выполнение РВР) или окончательное (списание - С) прекращение применения объекта по назначению.

Иерархическая структура ПТЭ ЛА содержит три группы состояний, образующих оперативный цикл (ОЦ), периодический цикл (ПЦ) и ремонтный цикл (РЦ) (рис. 4.2).

Связь ПИТС с ПТЭ обеспечивается при решении задач технического диагностирования: проверки правильности функционирования (ПФ), поиска неисправностей (ПН), проверки работоспособности (ПР) и проверки исправности (ПИ).

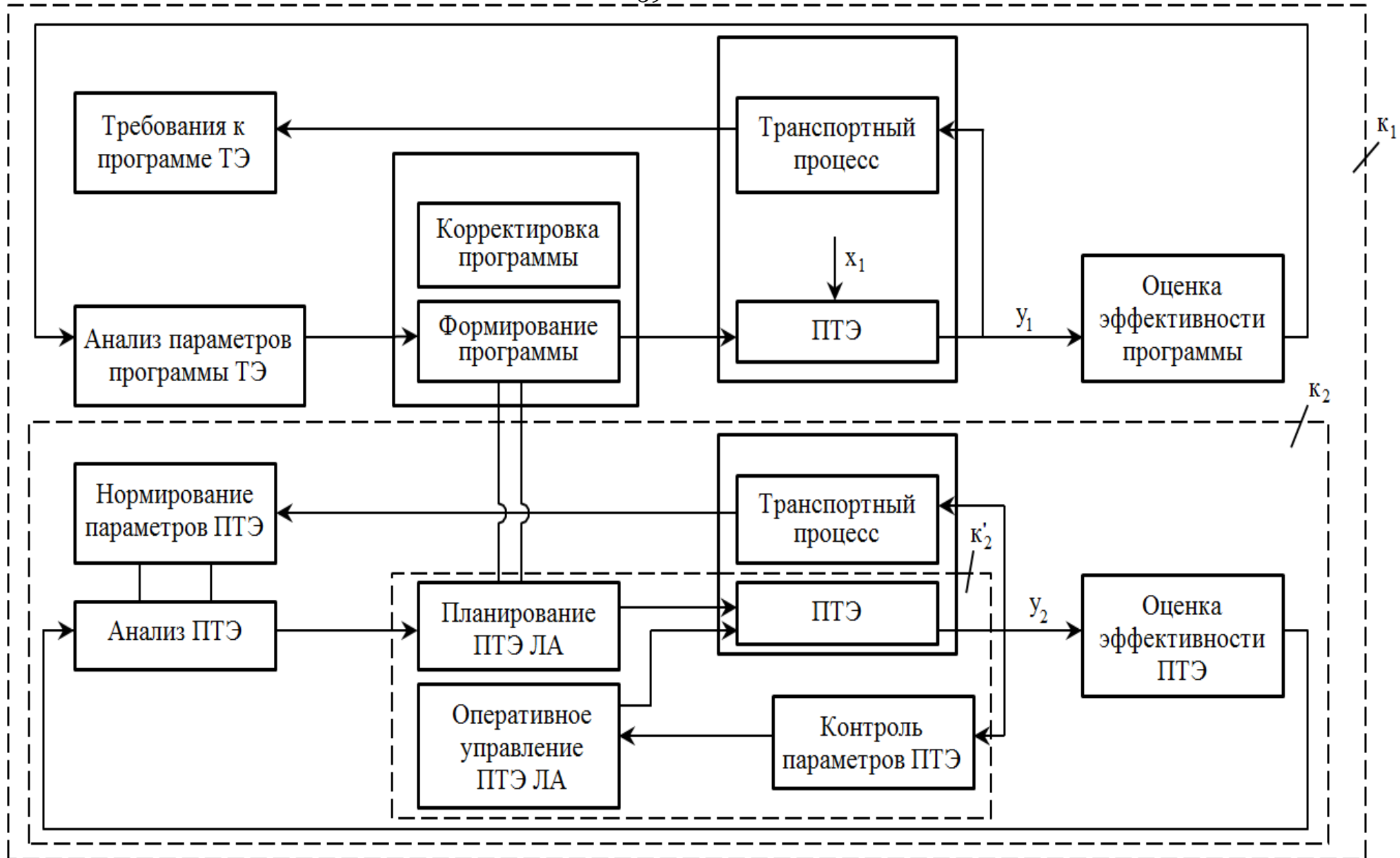


Рис. 4.1. Схема управления СиПЭ АТ: k_1 – программное управление; k_2 – планирование и k'_2 – оперативное управление; x_1, x_2 – ожидаемые и реальные условия эксплуатации; y_1, y_2 – эффективности программы ТЭ и ПТЭ, соответственно

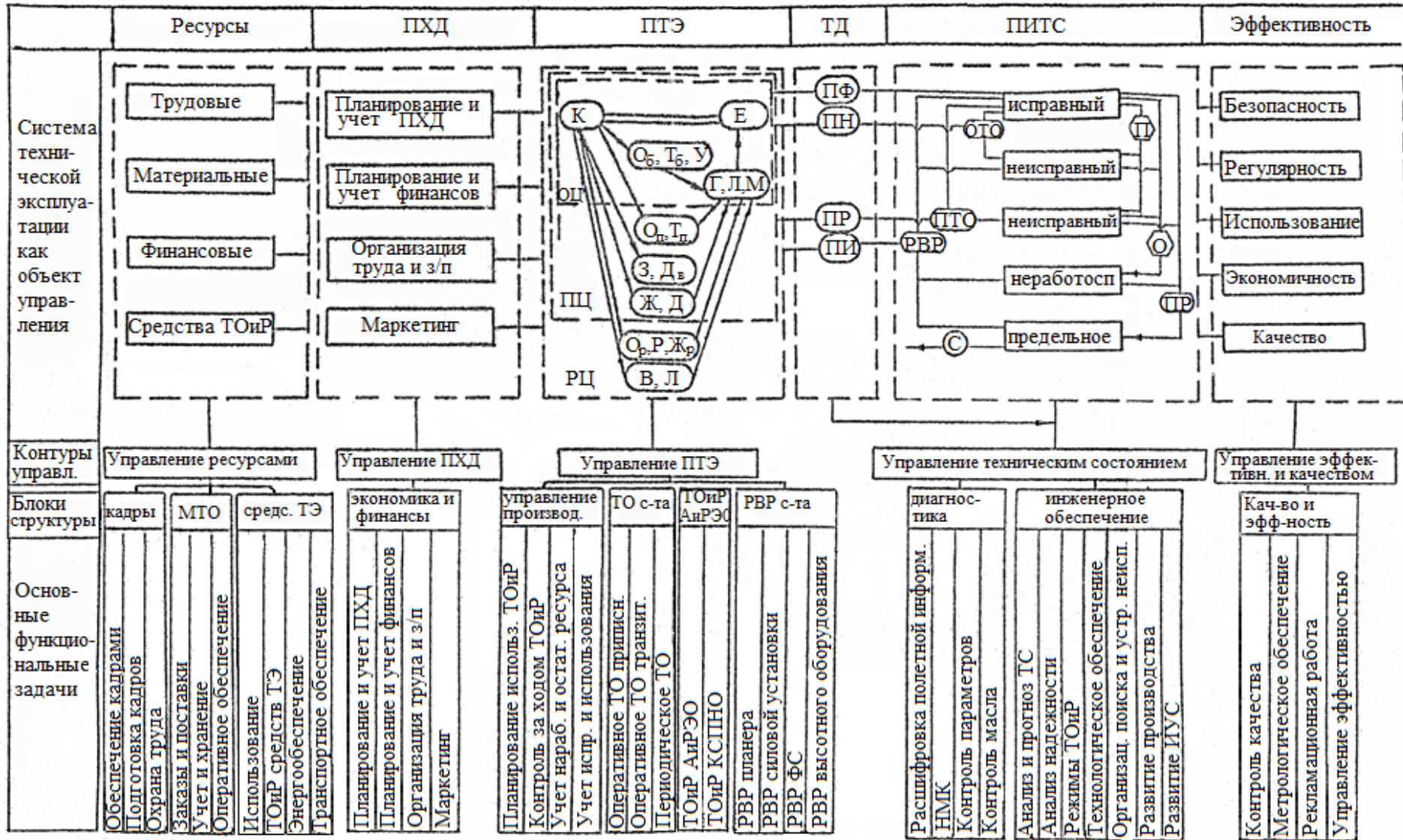


Рис. 4.2. Формирование структуры систем управления ПТЭ ЛА
 Обозначения состояний ПТЭ приведены на рис. 3.1.

В результате проведенного анализа системы ТЭ ЛА определены основные контуры управления ПТЭ ЛА (рис. 4.2): управление ресурсами, управление ПХД, управление ПТЭ, управление техническим состоянием, управление эффективностью ПТЭ и качеством ТОиР ЛА. Формирование блочной структуры системы управления ПТЭ ЛА в рамках указанных выше контуров управления дает возможность выделить следующие блоки: кадры, материально-техническое обеспечение (МТО), средства ТОиР, экономику и финансы, управление производством, техническое обслуживание ЛА, ТОиР авиационного и радиоэлектронного оборудования (АиРЭО), ремонтно-восстановительные работы.

5. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ И ПРОЦЕССОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

5.1. Оценка показателей эффективности систем и процессов эксплуатации авиационной техники по данным эксплуатационных наблюдений

Для оценки показателей эффективности ПТЭ ЛА, приведенных в табл. 2.4, в зависимости от вида исходной информации и порядка использования результатов оценки предусмотрено применение следующих способов (табл. 5.1):

- 1) расчет показателей по укрупненным данным;
- 2) расчет показателей по данным непосредственных эксплуатационных наблюдений.

Первый способ может использоваться для оценки эффективности ПТЭ ЛА как самостоятельной задачи и не обеспечивает возможности анализа эффективности ПТЭ ЛА.

Второй способ, основанный на применении полумарковской модели ПТЭ ЛА, рекомендуется использовать для оценки и анализа эффективности ПТЭ в контуре управления ПТЭ ЛА. Он предусматривает сначала определение параметров состояний ПТЭ, а затем уже расчет обобщенных и частных показателей эффективности ПТЭ ЛА (табл. 5.1).

Информационное обеспечение оценки и анализа эффективности ПТЭ ЛА включает следующие потоки информации: о неисправностях АТ, о задержках отправок в рейсы, о количестве посещений и времени пребывания в состояниях ПТЭ, о трудовых и материальных затратах, о стоимости работ в состояниях ПТЭ ЛА.

Реализация информационного обеспечения оценки и анализа эффективности ПТЭ самолетов предусматривает выделение двух видов баз данных: локальных баз данных (ЛБД) и центральной базы данных (ЦБД), отличающихся степенью общности информации к функциональным подсистемам управления ПТЭ.

Структура информационной базы представлена на рис. 5.1.

Способы расчета показателей эффективности ПТЭ ЛА

| Наименование показателя | Расчет показателей по укрупненным данным | | 2. Расчет показателей по данным непосредственных эксплуатационных наблюдений | | |
|---|--|---|--|--|---|
| | Расчетная формула | Исходные данные | Расчетная формула | Параметры состояний и переходов | Исходные данные |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1. Оценка и анализ безотказности АТ | | | | | |
| 1.1. Количество неисправностей, выявленных в полете на 1000ч налета | $K_{1000п} = \frac{n_{п} 1000}{H}$ | $n_{п}$ – суммарное количество неисправностей, выявленных в полете; H – наработка (налет) парка самолетов. | $K_{1000п} = \frac{n_{иср} 1000}{\mu_{иср}}$ | Среднее количество неисправностей, выявл. в рейсе: $n_{иср} = \left(\sum_{v=1}^{Ni} n_{iv} \right) / N_i$ Средняя наработка (налет) самолета на рейсе: $\mu_{иср} = \left(\sum_{v=1}^{Ni} T_{iv} \right) / N_i$ | n_{iv} – количество неисправностей, выявленных в v – м рейсе, $i \in K$. T_{iv} – наработка (налет) самолета в v – м рейсе. N_i – количество выполненных рейсов. |
| | $K_{1000пj} = \frac{n_{пj} 1000}{H}$ | $n_{пj}$ – количество неисправностей j – й ФС, выявленных в полете. | $K_{1000пj}^* = \frac{n_{ijср} 1000}{\mu_{иср}}$ | Среднее количество неисправностей j – й ФС, выявл. в рейсе: $n_{ijср} = \left(\sum_{v=1}^{Ni} n_{ijv} \right) / N_i$ | n_{ijv} – количество неисправностей j – й ФС, выявленных в v – м рейсе. |
| | $K_{1000пjk} = \frac{n_{пjk} 1000}{H}$ | $n_{пjk}$ – количество неисправностей j – й ФС по k -й причине, выявленных в полете. | $K_{1000пjk}^* = \frac{n_{ijkср} 1000}{\mu_{иср}}$ | Среднее количество неисправностей j – й ФС по k – й причине в рейсе: $n_{ijkср} = \left(\sum_{v=1}^{Ni} n_{ijkv} \right) / N_i$ | n_{ijkv} – количество неисправностей –й ФС по k –й причине, выявленных в v – м рейсе. |

Продолжение табл. 5.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--|---|--|---|--|---|
| 1.2. Количество неисправностей, приведших к инцидентам на 1000ч налета | $K_{1000и} = \frac{n_{п} 1000}{H}$ | $n_{и}$ - суммарное количество неисправностей, приведших к инцидентам. H – наработка (налет) парка самолетов. | $K_{1000пи} = \frac{n_{иср}}{\mu_{иср}} 1000$ | Среднее количество неисправностей, приведших к инцидентам в рейсе: $n_{иср} = \left(\sum_{v=1}^{N_i} n_{ив} \right) / N_i$ | $n_{ив}$ - количество неисправностей, приведших к инцидентам в v – м рейсе. $T_{ив}$ – наработка (налет) самолета в v – м рейсе. |
| | | | | Средняя наработка (налет) самолета в рейсе: $\mu_{иср} = \left(\sum_{v=1}^{N_i} T_{ив} \right) / N_i$ | N_i - количество выполненных рейсов. |
| | $K_{1000пий} = \frac{n_{ий}}{H} 1000$ | $n_{ий}$ - количество неисправностей i - й ФС, приведших к инцидентам. | $K_{1000пий}^* = \frac{n_{ийср}}{\mu_{иср}} 1000$ | Среднее количество неисправностей i -й ФС, приведших к инцидентам: $n_{ийср} = \left(\sum_{v=1}^{N_i} n_{ийv} \right) / N_i$ | $n_{ийv}$ - количество неисправностей i -й ФС, приведших к инцидентам в v -м рейсе. |
| | $K_{1000пийk} = \frac{n_{ийk} 1000}{H}$ | $n_{ийk}$ - количество неисправностей i - й ФС по k - й причине, приведших к инцидентам | $K_{1000пийk}^* = \frac{n_{ийkср} 1000}{\mu_{иср}}$ | Среднее количество неисправностей i -й ФС по k -й причине, приведших к инцидентам: $n_{ийkср} = \left(\sum_{v=1}^{N_i} n_{ийkv} \right) / N_i$ | $n_{ийkv}$ - количество неисправностей i -й ФС по k -й причине, выявленных в v -м рейсе. |

Продолжение табл. 5.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| 2. Оценка и анализ регулярности вылетов в рейсы | | | | | |

| | | | | | |
|--|---------------------------------------|--|---|---|---|
| 2.1. Коэффициент нарушения регулярности отправлений в рейсы (вылетов) по техническим причинам (на 100 вылетов) | $P_{100} = \frac{n_3}{B} 100$ | n_3 - суммарное количество задержек по техническим причинам; B – количество вылетов парка самолетов | $P_{100} = \frac{\pi_l}{\pi_i} 100$ | Частость попадания в состояния задержек вылета по техническим причинам: $\pi_i = \frac{N_l}{\sum_{s=1}^N N_s}, \quad l \in Z_B$ Частость попадания в рейс: $\pi_i = \frac{N_i}{\sum_{s=1}^N N_s}, \quad i \in K$ | N_l - количество попаданий в l – е состояние задержек вылета; N_s - количество выполненных рейсов. |
| | $P_{100j}^* = \frac{n_{3j}}{B} 100$ | n_{3j} - количество задержек вылетов из за l - й ФС. | $P_{100j}^* = \frac{\pi_{lj}}{\pi_i} 100$ | Частость попадания в состояния задержек вылета из-за i -й ФС: $\pi_{lj} = \frac{N_{lj}}{\sum_{3=1}^N N_3}, \quad l \in Z_B$ | N_{lj} - количество попаданий в l - е состояние задержек вылета из-за l -й ФС. |
| | $P_{100jk}^* = \frac{n_{3jk}}{B} 100$ | n_{3jk} - количество задержек вылетов из за l - й ФС по j - й причине | $P_{100j}^* = \frac{\pi_{lj}}{\pi_i} 100$ | Частость попадания в состояния задержек вылета из-за l -й ФС: $\pi_{lj} = \frac{N_{lj}}{\sum_{3=1}^N N_3}, \quad l \in Z_B$ | N_{lj} - количество попаданий в l -е состояние задержек вылета из-за l -й ФС. |

Продолжение табл. 5.1

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|

| | | | | | |
|--|--|--|--------------------------|--|---|
| 2.2. Средняя продолжительность задержек вылета по техническим причинам | $t_{зв} = \frac{T_{зв}}{n_3}$ | T _{зв} - суммарное время задержки по техническим причинам; n ₃ - количество задержек по техническим причинам. | $t_{зв} = \mu_l$ | Среднее время задержки вылета: $\mu_l = \left(\sum_{v=1}^{N_l} t_{lv} \right) / N_l$ | t _{lv} - время задержки вылета l - го рейса по техническим причинам; N _l - количество попаданий в состояние задержки вылета. |
| | $t_{звj}^* = \frac{t_{звj}}{n_{звj}}$ | t _{звj} - суммарное время задержек вылета из-за l - й ФС; n _{звj} - количество задержек вылета из-за l - й ФС | $t_{звj}^* = \mu_{lj}$ | Среднее время задержки вылета из-за l-й ФС: $\mu_{lj} = \left(\sum_{v=1}^{N_{lj}} t_{lv} \right) / N_{lj}$ | t _{lv} - время задержки вылета v - го рейса из-за l - й ФС; N _{lj} - количество попаданий в состояние задержки вылета из-за l - й ФС |
| | $t_{звjk}^* = \frac{t_{звjk}}{n_{звjk}}$ | t _{звjk} - суммарное время задержек вылета из-за l - й ФС по k - й причине. | $t_{звjk}^* = \mu_{ljk}$ | Среднее время задержки вылета из-за l-й ФС по j-й причине: $\mu_{ljk} = \left(\sum_{v=1}^{N_{ljk}} t_{lv} \right) / N_{ljk}$ | t _{lv} - время задержки вылета v - го рейса из-за l-й ФС по k-й причине; N _{ljk} - количество попаданий в состояние задержки вылета из-за l - й ФС по k - й причине. |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|-----------------------------------|---|---|---|---|
| 3. Оценка и анализ исправности и использования самолета | | | | | |
| 3.1. Коэффициент использования | $K_{и} = \frac{H}{\Phi}$ | H – суммарная наработка (налет) парка самолетов в рейсах; Φ – календарный фонд времени парка самолетов | $K_{и} = \frac{\pi_i \mu_{\pi i}}{\sum_{S=1}^N \pi_S \mu_S}$ | Частота попадания в рейс и i-е, s-е состояния соответственно: $\pi_i = \frac{N_i}{\sum_{S=1}^N N_S};$ $\pi_S = \frac{N_S}{\sum_{l=1}^N N_l}$ Средний налет самолета в рейсе: $\mu_{\pi i} = \left(\sum_{v=1}^{N_i} T_{iv} \right) / N_i$ Среднее время пребывания в s-м состоянии: $\mu_S = \left(\sum_{v=1}^{N_S} t_{sv} \right) / N_S$ | N_i, N_S, N_l – количество попаданий в i-е, s-е, l-е состояния соответственно $i \in K, s, l \in Q_T$ T_{iv} – наработка (налет) самолета в v-м рейсе. t_{sv} – время v-го пребывания в -м состоянии |
| 3.2. Коэффициент резерва увеличения налета за счет исправных неиспользуемых самолетов | $K_{рн} = \frac{K_{и} t_A}{\Phi}$ | $K_{и}$ – коэффициент использования t_A – суммарное время пребывания парка самолетов в состоянии А (исправные неиспользуемые самолеты) | $K_{рн}^* = K_{и} \frac{\pi_l \mu_l}{\sum_{S=1}^N \pi_S \mu_S}$ | Частота попадания в l-е и s-е состояния, соответственно $\pi_l = \frac{N_l}{\sum_{S=1}^N N_S};$ $\pi_S = \frac{N_S}{\sum_{l=1}^N N_l}$ | N_l, N_S – количество попаданий в l-е, s-е состояния ПТЭ, соответственно $l \in A, s \in S_r$ t_{lv}, t_{sv} – время пребывания в l-м, s-м состояниях |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---------------------------|--|---|---|---|
| | | Ф- календарный фонд времени парка самолетов | | Среднее время пребывания в l -м, s -м состоянии, соответственно: $\mu_l = \frac{\sum_{v=1}^{N_l} t_{lv}}{N_l};$ $\mu_s = \frac{\sum_{v=1}^{N_s} t_{sv}}{N_s}$ | $l \in A, \quad s \in S_r$ |
| 3.3. Коэффициент возможного использования | $K_{ви} = K_{и} + K_{рн}$ | $K_{и}$ и $K_{рн}$ - см. пп.3.1, 3.2 | $K_{ви} = K_{и} + K_{рн}$ | $K_{и}$ и $K_{рн}$ - см. пп.3.1, 3.2 | |
| 3.4. Коэффициент пребывания самолетов в рейсе | $K_K = \frac{t_K}{\Phi}$ | t_K – суммарное время пребывания самолетов в рейсах Ф- фонд календарного времени парка самолетов | $K_K = \frac{\sum_{l=1}^N \pi_l \mu_l}{\sum_{s=1}^N \pi_s \mu_s}$ | Частотность попадания в l -е и s -е состояния, соответственно $\pi_l = \frac{N_l}{\sum_{s=1}^N N_s};$ $\pi_s = \frac{N_s}{\sum_{l=1}^N N_l}$ Среднее время пребывания в l -м и s -м состоянии, соответственно, $\mu_l = \frac{\sum_{v=1}^{N_l} t_{lv}}{N_l};$ $\mu_s = \frac{\sum_{v=1}^{N_s} t_{sv}}{N_s}$ | N_i, N_s, N_l – кол-во попаданий в i -е, s -е, l -е состояния t_{iv}, t_{lv} -время пребывания в l -м, s -м состояниях $i \in K, \quad s \in Q_T$ |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|------------------------------------|---|---|--|---|
| 3.5. Коэффициент простоев самолетов на обеспечении рейсов | $K_E = \frac{t_E}{\Phi}$ | t_E – суммарное время пребывания самолетов в состоянии подготовки к рейсу (E) Φ – фонд календарного времени парка самолетов | $K_E = \frac{\pi_l \mu_l}{\sum_{s=1}^N \pi_s \mu_s}$ | Частотность попадания в l -е и s -е состояния соответственно $\pi_l = \frac{N_l}{\sum_{s=1}^N N_s};$ $\pi_s = \frac{N_s}{\sum_{f=1}^N N_f}$ Среднее время пребывания в l -м и s -м состояниях соответственно, $\mu_l = \frac{\sum_{v=1}^{N_l} t_{lv}}{N_l};$ $\mu_s = \frac{\sum_{v=1}^{N_s} t_{sv}}{N_s}$ | N_l, N_s, N_f – кол-во попаданий в l -е, s -е, f -е состояния t_l, t_s – время v -го пребывания в l -м, s -м состояниях $l \in E, s, f \in Q_T$ |
| 3.6. Коэффициент простоев самолетов в резерве | $K_\Gamma = \frac{t_\Gamma}{\Phi}$ | t_Γ – суммарное время пребывания самолетов в состоянии резерва (Г) Φ – фонд календарного времени парка самолетов | $K_\Gamma = \frac{\pi_l \mu_l}{\sum_{s=1}^N \pi_s \mu_s}$ | Частотность попадания в l -е и s -е состояния соответственно $\pi_l = \frac{N_l}{\sum_{s=1}^N N_s};$ $\pi_s = \frac{N_s}{\sum_{f=1}^N N_f}$ Среднее время пребывания в l -м и s -м состояниях соответственно $\mu_l = \frac{\sum_{v=1}^{N_l} t_{lv}}{N_l};$ $\mu_s = \frac{\sum_{v=1}^{N_s} t_{sv}}{N_s}$ | N_l, N_s, N_f – кол-во попаданий в l -е, s -е, f -е состояния t_l, t_s – время v -го пребывания в l -м, s -м состояниях $l \in E, s, f \in Q_T$ |

Продолжение табл. 5.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|--|--|--|---|---|
| 3.7. Коэффициент простоев самолетов по метеоусловиям | $K_M = \frac{t_M}{\Phi}$ | t_M – суммарное время пребывания самолетов в состоянии простоев по метеоусл. (М) Φ – фонд календарного времени парка самолетов | $K_M = \frac{\pi_l \mu_l}{\sum_{s=1}^N \pi_s \mu_s}$ | Частотность попадания в l -е и s -е состояния соответственно $\pi_l = \frac{N_l}{\sum_{s=1}^N N_s}$; $\pi_s = \frac{N_s}{\sum_{f=1}^N N_f}$ Среднее время пребывания в l -м и s -м состояниях $\mu_l = \frac{\sum_{v=1}^{N_l} t_{lv}}{N_l}$; $\mu_s = \frac{\sum_{v=1}^{N_s} t_{sv}}{N_s}$ | N_l, N_s, N_f – кол-во попаданий в l -е, s -е, f -е состояния t_l, t_s – время v -го пребывания в l -м, s -м состояниях $l \in E, s, f \in Q_T$ |
| 3.8. Коэффициент требуемой исправности | $K_{\text{испр.тр.}} = K_K + K_E + K_\Gamma + K_M$ | K_K, K_E, K_Γ, K_M – см. пп. 3.4 – 3.7 | $K_{\text{испр.тр.}} = K_K + K_E + K_\Gamma + K_M$ | K_K, K_E, K_Γ, K_M – см. пп. 3.4 – 3.7 | |
| 3.9. Коэффициент летного использования самолетов в рейсах | $K_{\text{ли}} = \frac{H}{t_K}$ | H – наработка (налет) парка самолетов t_K – суммарное время пребывания самолетов в рейсах | $K_{\text{ли}} = \frac{\mu_{pi}}{\mu_i}$ | Средний налет самолетов в рейсе $\mu_{pi} = \frac{\sum_{v=1}^{N_i} T_{piv}}{N_i}$ Среднее время пребывания в рейсах $\mu_i = \frac{\sum_{v=1}^{N_i} t_{iv}}{N_i}$ | T_{piv} – налет самолета в v -м рейсе $i \in K$ t_{iv} – время пребывания самолета в v -м рейсе N_i – количество выполненных рейсов |

Продолжение табл. 5.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
|---|---|---|---|---|---|

| | | | | | |
|---|---|---|--|---|--|
| <p>3.10. Удельные простои самолетов по техническим причинам</p> | $K_{\Pi} = \frac{\sum_l t_{\Pi l}}{H}$ $K_{\Pi l}^* = \frac{t_{\Pi l}}{H}$ $K_{\Pi l k}^* = \frac{t_{\Pi l k}}{H}$ | <p>$\sum_l t_{\Pi l}$ – суммарная продолжительность простоев по всем техническим причинам</p> <p>H – суммарный налет парка самолетов</p> <p>$t_{\Pi l}$ – суммарная продолжительность простоев в l-м состоянии</p> <p>$t_{\Pi l k}$ – суммарная продолжительность простоев в l-м состоянии по k-й причине</p> | $K_{\Pi} = \frac{\sum_{l=1}^{N_K} t}{\sum_i \mu_{\Pi i}}$ $K_{\Pi l}^* = \frac{\pi_l \mu_l}{\sum_i \mu_{\Pi i}}$ $K_{\Pi l k}^* = \frac{\pi_l \mu_{l k}}{\sum_i \mu_{\Pi i}}$ | <p>Частотность попадания в l-еи i-е состояния, соответственно</p> $\pi_l = \frac{N_l}{\sum_{s=1}^N N_s};$ $\pi_s = \frac{N_s}{\sum_{f=1}^N N_f}$ <p>Среднее время пребывания в l-м состоянии N</p> $\mu_l = \frac{\sum_{v=1}^{N_l} t_{lv}}{N_l};$ <p>Средний налет самолетов в рейсе</p> $\mu_{\Pi l} = \frac{\sum_{v=1}^{N_l} T_{\Pi i v}}{N_l};$ $\mu_{iR} = \frac{\sum_{v=1}^{N_{ik}} t_{iRv}}{N_{lk}};$ | <p>N_l, N_i – количество попаданий в l-е, i-е состояния, $i \in K$</p> <p>$l \in O_6, T_6, Y, O_{\Pi}, T_{\Pi}, T_{CD}, Ш, З, Д_В, Ж, Д, В, Л, С, O_P, P, Ж_P$</p> <p>$t_{lv}$ – время v-го пребывания в l-м состоянии.</p> <p>$T_{\Pi i v}$ – налет самолета в v-м рейсе</p> <p>t_{lk} – время v-го пребывания в l-м состоянии по k-й причине</p> <p>N_{lR} – число попаданий в l-е состояние по k-й причине</p> |
|---|---|---|--|---|--|

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|--|--|
| <p>4.1. Удельные трудовые затраты, чел.-ч/ч. налета</p> | $\tau_{уд} = \frac{\sum_l T_l}{H}$ $\tau_{уд i} = \frac{T_i}{H}$ $\tau_{уд l j} = \frac{T_{lj}}{H}$ $\tau_{уд l j k} = \frac{T_{ljk}}{H}$ | <p>$\sum_l T_l$ – суммарные трудовые затраты по всем i-м состояниям ПТЭ. H – налет парка самолетов T_i – суммарные трудовые затраты в l-м состоянии ПТЭ T_{lj} – суммарные трудовые затраты в l-м состоянии по j-й ФС T_{ljk} – суммарные трудовые затраты в l-м состоянии по j-й ФС по k-й причине</p> | $\tau_{уд} = \frac{\sum_{l=1}^{N_l} \pi_l \tau_l}{\pi_i \mu_{\pi i}}$ $\tau_{уд l} = \frac{\pi_l \tau_l}{\pi_i \mu_{\pi i}}$ $\tau_{уд l j} = \frac{\pi_l \tau_{lj}}{\pi_j \mu_{\pi j}}$ $\tau_{уд l j k} = \frac{\pi_l \tau_{ljk}}{\pi_i \mu_{\pi i}}$ | <p>Частота попадания в i-е, l-е состояния</p> $\pi_l = \frac{N_l}{\sum_{s=1}^N N_s};$ $\pi_i = \frac{N_i}{\sum_{s=1}^N N_s}$ <p>Средние трудовые затраты в l-м состоянии</p> $\tau_l = \frac{\sum_{v=1}^{N_l} \tau_{lv}}{N_l}$ <p>Средний налет самолета в рейсе</p> $\mu_{\pi l} = \frac{\sum_{v=1}^{N_l} T_{\pi lv}}{N_l}$ <p>Средние трудовые затраты в l-м состоянии j-й ФС</p> $\tau_{lj} = \frac{\sum_{v=1}^{N_l} \tau_{lvj}}{N_l}$ <p>Средние трудовые затраты в l-м состоянии по j-й ФС по k-й причине</p> $\tau_{ljk} = \frac{\sum_{v=1}^{N_l} \tau_{lvjk}}{N_l}$ | <p>N_l, N_i, N_s – кол-во попаданий в l-е, i-е, s-е состояния $l \in K, s \in Q_{\Gamma}$ $l \in E, T_{\delta}, Y, O_{\Pi}, T_{\Pi}, T_{CD}, Ж, Д, В, Л, Р, Ж_{P}$. τ_{lv} – трудовые затраты при v-м пребывании в l-м состоянии. $T_{\pi lv}$ – налет самолета в v-м рейсе</p> <p>τ_{ijv} – трудовые затраты при v-м посещении l-го состояния по i-й ФС</p> <p>τ_{ljkv} – трудовые затраты при v-м посещении l-го состояния по i-й ФС по k-й причине</p> |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--|---|--|--|---|--|
| <p>4.2. Удельные материальные затраты, руб/ч. налета</p> | $C_{муд} = \frac{l S_{Ml}}{H}$ $C_{мудl} = \frac{S_{Ml}}{H}$ $C_{мудlj} = \frac{S_{Mlj}}{H}$ $C_{мудljk} = \frac{S_{Mljk}}{H}$ | <p>$l S_{Ml}$ – суммарные затраты на запасные части и расходные материалы во всех l-х состояниях</p> <p>H – налет парка самолетов</p> <p>S_{Ml} – суммарные материальные затраты в l-м состоянии ПТЭ</p> <p>S_{Mlj} – суммарные материальные затраты в l-м состоянии по j-й ФС</p> <p>S_{Mljk} – суммарные материальные затраты в l-м состоянии по j-й ФС по k-й причине</p> | $C_{муд} = \frac{\sum_{l=1}^{N_l} \pi_l C_{Ml}}{\pi_i \mu_{\pi i}}$ $C_{мудl} = \frac{\pi_l C_{Ml}}{\pi_i \mu_{\pi i}}$ $C_{мудlj} = \frac{\pi_l C_{Mlj}}{\pi_j \mu_{\pi j}}$ $C_{мудljk} = \frac{\pi_l C_{Mljk}}{\pi_i \mu_{\pi i}}$ | <p>Частотности попадания в l-е, i-е состояния, $i \in K$, $l \in E, T_6, Y, T_{\pi}, T_{сд}, Ж, Д, В, Л, Р$.</p> $\pi_l = \frac{N_l}{\sum_{s=1}^N N_s};$ $\pi_i = \frac{N_i}{\sum_{s=1}^N N_s}$ <p>Средние материальные затраты в l-м состоянии</p> $C_{Ml} = \frac{\sum_{v=1}^{N_l} C_{Mlv}}{N_l}$ <p>Средний налет в рейсе</p> $\mu_{\pi i} = \frac{\sum_{v=1}^{N_i} T_{\pi iv}}{N_i}$ <p>Средние материальные затраты в l-м состоянии j-й ФС:</p> $C_{Mlj} = \frac{\sum_{v=1}^{N_l} C_{Mlvj}}{N_l}$ <p>Средние материальные затраты в l-м состоянии по j-й ФС по k-й причине</p> $C_{Mljk} = \frac{\sum_{v=1}^{N_l} C_{Mlvjk}}{N_l}$ | <p>N_l, N_i, N_s – кол-во попаданий в l-е, i-е, s-е состояния.</p> <p>C_{Mlv} – материальные затраты при v-м попадании в l-е состояние.</p> <p>$T_{\pi iv}$ – налет в v-м рейсе.</p> <p>C_{Mlvj} – материальные затраты при v-м попадании в l-е состояние по j-й ФС</p> <p>C_{Mlvjk} – материальные затраты при v-м попадании в l-е состояние по j-й ФС по k-й причине C_{Ml}</p> |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---------------------------------------|--|--|---|--|---|
| 4.3. Себестоимость ТОиР руб/ч. налета | $C = \frac{C_{Ml} + C_{pl}}{H} + \frac{C_{Hl} + C_{APl}}{H}$ | $C_{Ml}, C_{pl}, C_{Hl} + C_{APl}$ – суммарные затраты материальные, на заработную плату исполнителей, накладные и аэропортовые расходы в состояниях ПТЭ соответственно H – налет парка самолетов | $C = \frac{\sum_{l=1}^{N_l} \pi_l (C_{Ml} + C_{pl} + C_{Hl} + C_{APl})}{\sum_{i=1}^{N_i} \mu_{Pi}}$ | <p>Средние материальные затраты, на заработную плату накладные и аэропортовые расходы</p> $C_{Ml} = \frac{\sum_{v=1}^{N_l} C_{Mlv}}{N_l};$ $C_{pl} = \frac{\sum_{v=1}^{N_l} C_{plv}}{N_l};$ $C_{Hl} = \frac{\sum_{v=1}^{N_l} C_{Hlv}}{N_l};$ $C_{APl} = \frac{\sum_{v=1}^{N_l} C_{APlv}}{N_l}$ <p>Частоты попадания в l-е, i-е состояния</p> $\pi_l = \frac{N_l}{\sum_{s=1}^N N_s};$ $\pi_i = \frac{N_i}{\sum_{s=1}^N N_s}$ <p>Средний налет в рейсе</p> $\mu_{Pi} = \sum_{v=T_{ki}} \pi_{li} N_i$ | $C_{Mlv}, C_{plv}, C_{Hlv}, C_{APlv}$ – затраты материальные, на заработную плату, накладные и аэропортовые расходы. N_l, N_i – частоты попадания в l -е, i -е состояния. T_{Piv} – налет в v -м рейсе. |



Рис. 5.1. Информационная база системы управления ПТЭ ЛА

5.2. Дифференциальный анализ и прогнозирование показателей эффективности систем и процессов эксплуатации авиационной техники

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 Y_1, \dots, Y_T образован в результате месячных оценок эффективности ПЭ в течение рассматриваемого периода времени $t = 1, \dots, T$. Целью дифференциального анализа является построение модели, описывающей динамику показателя эффективности

$$Y_t, t = \overline{1, T}. \quad (5.1)$$

Временной ряд $Y_t, t = \overline{1, T}$ может быть представлен в виде сочетания следующих компонент: регулярной составляющей $H(t)$, описываемой гладкой зависимостью и отражающей устойчивую тенденцию развития процесса (тренд); гармонической составляющей $f(t)$, характеризующей циклический процесс с периодом колебания более 12 месяцев: сезонной составляющей $s(t)$, учитывающей сезонные колебания с периодом в 12 месяцев и случайной составляющей $u(t)$, учитывающей подверженность ПЭ воздействию случайных факторов.

Методы дифференциального анализа обеспечивают решение следующих задач: определение компонентного состава временного ряда $Y_t, t = \overline{1, T}$; определение вида модели; сглаживание значений исходного ряда; выравнивание сглаженных значений теоретической зависимостью, описание и выделение регулярной, гармонической и сезонной составляющих; исследование случайной составляющей (рис. 2.7). Компонентный состав ряда $Y_t, t = \overline{1, T}$ можно определить по характеру изменения интенсивности спектра исходного ряда. Для этого по сформированным значениям $Y_t, t = \overline{1, T}$ выявляются величины:

$$a_0 = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T Y_t = \bar{Y}, \quad (5.2)$$

$$a(k_j) = \frac{2}{T} \sum_{t=1}^T Y_t \cos\left(\frac{2\pi k_j}{T} t\right), k_j = \overline{1, \frac{T}{2} - 1}, \quad (5.3)$$

$$b(k_j) = \frac{2}{T} \sum_{t=1}^T Y_t \sin\left(\frac{2\pi k_j}{T} t\right), k_j = \overline{1, \frac{T}{2} - 1} \quad (5.4)$$

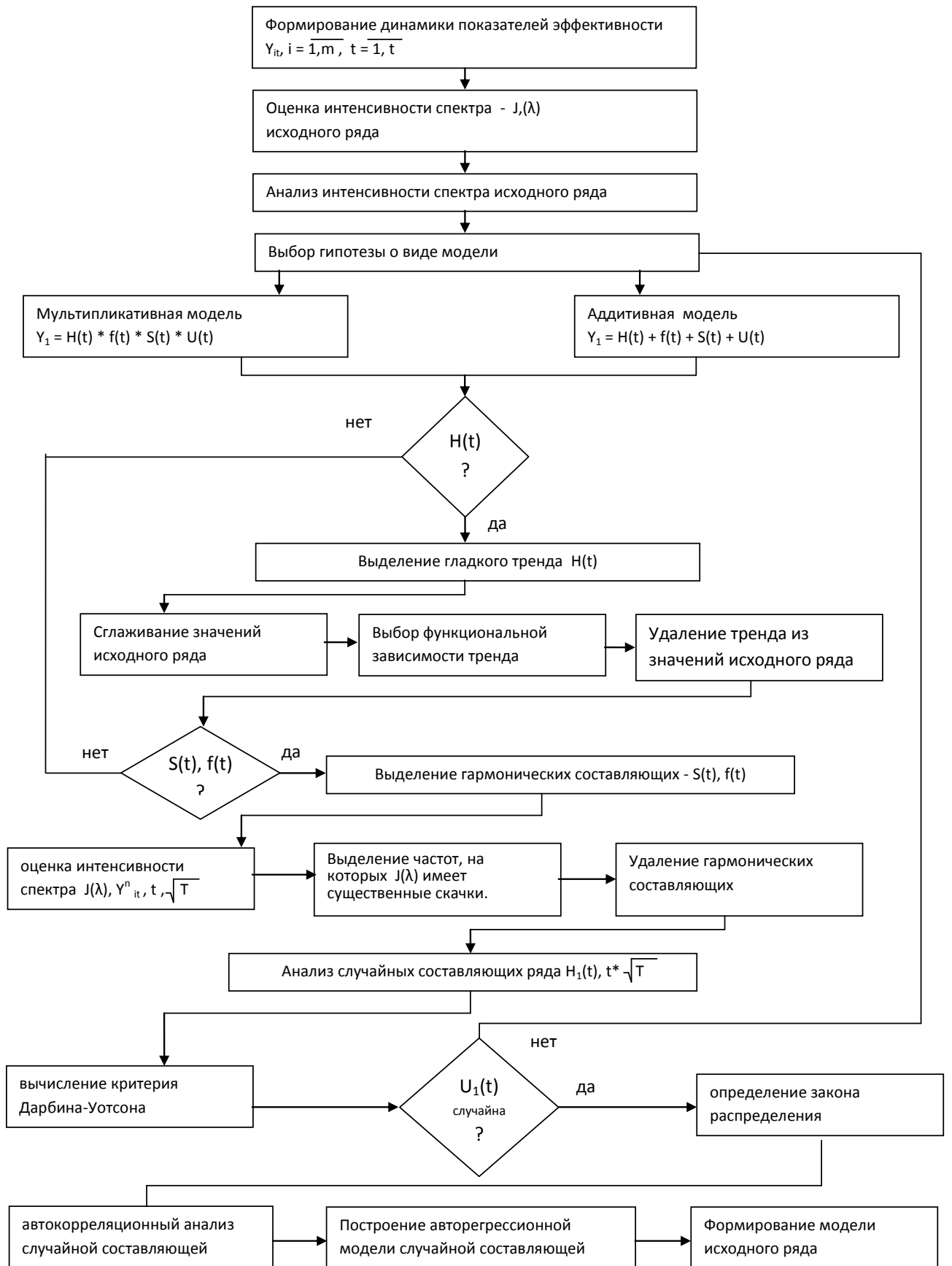


Рис. 5.2. Алгоритм дифференциальной оценки эффективности ПЭ ЛА

$$a_{T/2} = \frac{1}{T\pi} \sum_{t=1}^T Y_t (-1)^t \quad (5.6)$$

$$I\left(\frac{k_j}{T}\right) = \frac{1}{T\pi} \left\{ \left[\sum_{t=1}^T Y_t \cos\left(\frac{2\pi k_j}{T} t\right) \right]^2 + \left[\sum_{t=1}^T Y_t \sin\left(\frac{2\pi k_j}{T} t\right) \right]^2 \right\} \quad (5.7)$$

где $k_j/T = \lambda$ - циклическая частота (число циклов в единицу времени), T/k_j - период колебания.

Если величина T нечетная, то k_j изменяется в пределах $k_j = \overline{1, T-1} / 2$. Результаты вычислений могут быть представлены в виде графика зависимости интенсивности спектра от циклической частоты $I(\lambda_j)$ (рис. 5.3). Анализ зависимостей $I(\lambda_j)$ 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. 5.3).

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. 5.4).

Анализ интенсивности спектра исходного ряда позволяет выявить наличие следующих компонентов: тренда $H(t)$, гармонической составляющей $f(t)$ с периодом колебаний более 12 месяцев, сезонной составляющей $s(t)$, с периодом колебаний в 12 месяцев (рис. 5.5) и случайной составляющей $u(t)$ (рис. 5.6).

Для проверки гипотезы о наличии тренда наиболее часто применяются критерии, основанные на ранговой корреляции, на знаках разностей, на длине фазы и на поворотных точках [1].

$I(\lambda_i)$

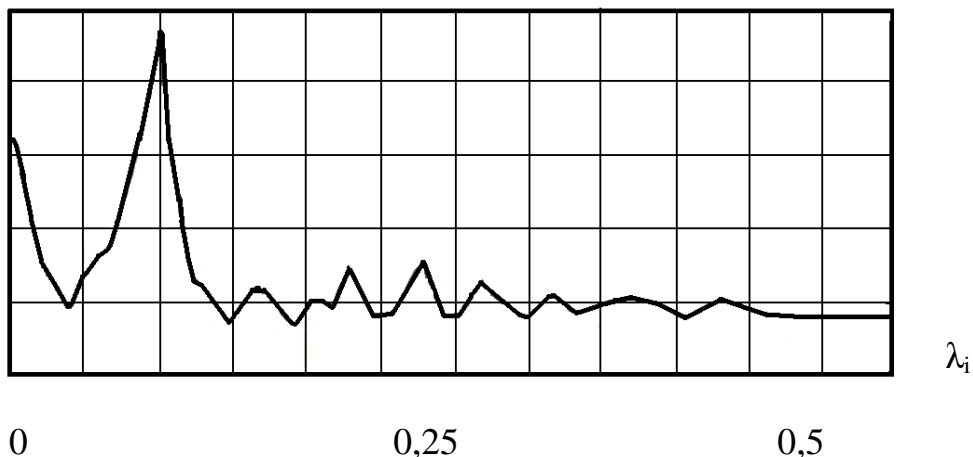
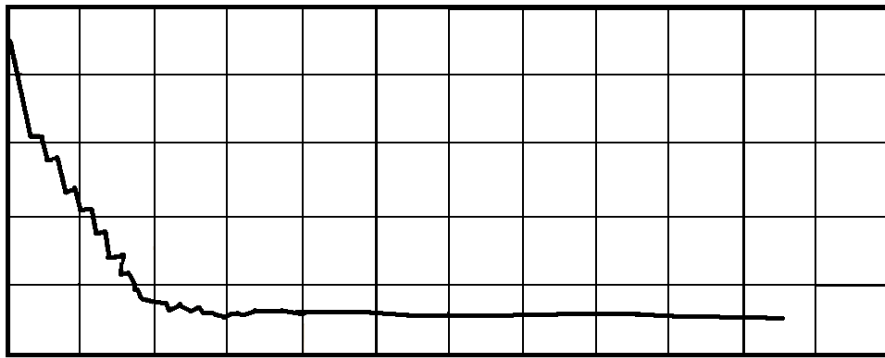
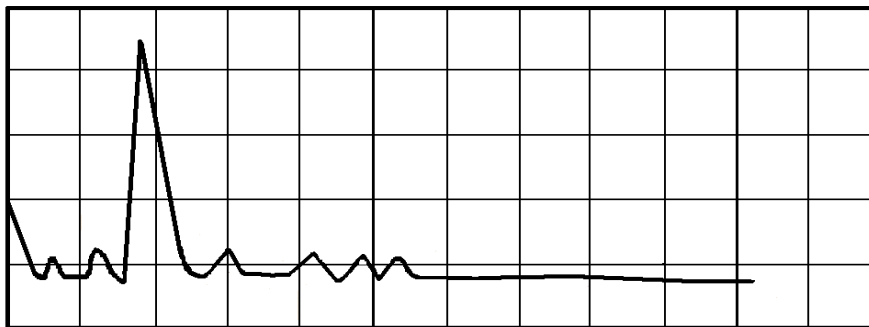


Рис. 5.3. Зависимость интенсивности спектра от циклической частоты

$I(\lambda_i)$ 

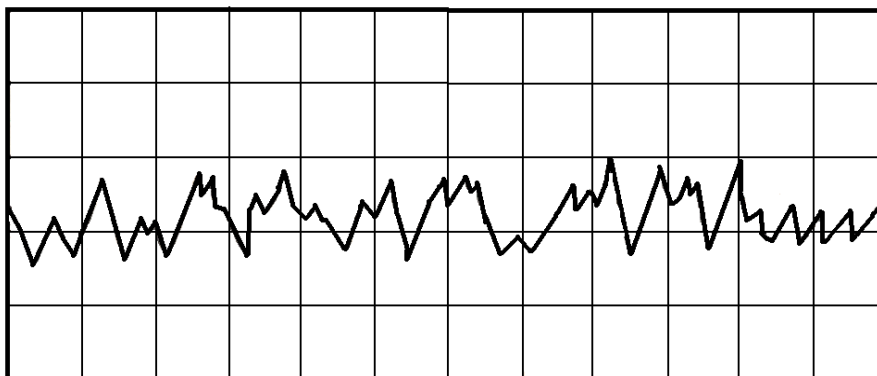
$I(\lambda_i)$ 0 0,25 0,5 λ_i

Рис. 5.4. Вид интенсивности спектра гладкого тренда



0 0,25 0,5 λ_i

Рис. 5.5. Вид интенсивности спектра с гармонической составляющей в 12 месяцев

 $I(\lambda_i)$ 

0 0,25 0,5 λ_i

Рис. 5.6. Вид интенсивности спектра случайного ряда

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

$$Y(t) = H(t) + f(t) + s(t) + u(t),$$

мультипликативной

$$Y(t) = H(t) \cdot f(t) \cdot s(t) \cdot u(t),$$

смешанной

$$Y(t) = H(t) \cdot f(t) \cdot s(t) + u(t)$$

I (λ_i)

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 получаются в результате вычислений Y_t^*

$$Y_t^* = \sum_{s=-m}^m C_s Y_{t+s}, \quad t = m+1, \dots, T-m,$$

$$\sum_{s=-m}^m C_s = 1.$$

Полученная последовательность $Y_{m+1}^*, \dots, Y_{T-m}^*$ называется скользящей средней исходной последовательности Y_t . Если исходный ряд имеет случайную составляющую, то

$$Y_t^* = \sum_{s=-m}^m C_s H(t+s) + \sum_{s=-m}^m C_s u_{t+s}.$$

Предполагается, что $M[u_t] = 0$, $M[u_t^2] = \sigma^2$, $M[u_t, u_s] = 0$, $t \neq s$.

В силу этого величина $u_t^* = \sum_{s=-m}^m C_s u_t$ имеет дисперсию $\sigma^2 = \sum_{s=-m}^m C_s^2$. Веса

выбираются малыми, чтобы дисперсия u_t^* была значительно меньше, чем дисперсия u_t . В [13] приведены таблицы C_s для различных m и r (степень аппроксимирующего полинома). В результате сглаживания исходного ряда скользящей средней возникают ошибки:

систематическая ошибка, выраженная соотношением

$$M[Y_t - Y^*] = H(t) - \sum_{s=-m}^m C_s H(t+s);$$

случайная ошибка, оцениваемая дисперсией величины

$$u_t = \sum_{s=-m}^m C_s u_{t+s}.$$

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

Если известны дисперсия величины u_t и средние квадраты систематической ошибки для каждой комбинации r и m , то можно выбрать комбинацию r и m , 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 r , при котором средний квадрат смещения близок или равен нулю, когда m фиксировано или является заданной функцией r , например $m = r + 1$, для этого применяется метод последовательных разностей с вычислением величины

$$V_r = \frac{\text{var}(\Delta^r Y_t)}{\binom{2r}{r}}, \quad (5.7)$$

где $\Delta^r Y_t$ - разности порядка r , определяемые как

$$\Delta^r Y_t = \sum_{j=1}^r (-1)^{r-j} j^r Y_{t+j}, \quad t=1, \dots, T-r.$$

Если исходный ряд содержит полином порядка P (или локально представляется рядом полиномов) с наложенным на него случайным элементом, то переход к разности порядка $P+1$ исключает его из значений исходного ряда и оставляет элементы, связанные со случайной компонентой.

Из формулы (2.21) следует, что математическое ожидание величины V_r зависит

от суммы $\sum_{j=1}^r [\Delta^r H t]^r$. Эта сумма равна нулю, если полином $H t$ имеет

степень, меньшую r , и приближается к нулю, если функция $H(t)$ близка к полиному степени r . Использование величины V_r для определения степени аппроксимирующего полинома скользящей средней заключается в проверке гипотезы $\Delta^r H(t) = 0$, а затем гипотезы $\Delta^{q-1} H(t) = 0$ в предположении, что $\Delta^q H(t) = 0$, ($q > r$). Эта гипотеза отвергается, если V_r будет намного больше V_q . Для этой процедуры используется статистика

$$\sqrt{T-q} \frac{V_r - V_q}{V_q} \quad (5.8)$$

Если указанная гипотеза верна, то математическое ожидание числителя $\sqrt{T-q} \frac{V_r - V_q}{V_q}$ 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 $\Delta^q H(t) = 0$, а затем гипотезы $\Delta^{q-1} H(t) = 0$ описываются двумерным нормальным распределением. Предельная вероятность для r решений требует привлечения r -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 $Y_t, t = \overline{1, T}$, получаем последовательность ΔY_t и вычисляем V_1 ; затем, применяя разностный оператор к ΔY_t , получаем последовательности $\Delta^2 Y_t$, вычисляем V_2 и т.д., получая последовательности V_1, V_2, \dots, V_r ; поскольку величины определяются одна из другой, то каждая из них сравнивается с предыдущей до обнаружения момента, когда эта величина становится постоянной. Значение величины r , после которого V_r становится постоянной, принимается за степень полинома скользящей средней.

Перед выравниванием сглаженных значений теоретической кривой необходимо дополнить на обоих концах значения сглаженного ряда $Y_t, t = m+1, m+2, \dots, T-m$ значениями, которые теряются при сглаживании исходного ряда $Y_t, t = \overline{1, T}$ скользящей средней. С учетом этого сглаженные значения ряда могут быть получены в результате следующих вычислений

$$Y_t^* = \sum_{s=-m}^m C_s(r, m) Y_{t+s}, \quad Y_t, t = m+1, m+2, \dots, T-m, \quad (5.9)$$

$$Y_t^* = \sum_{s=-m}^m \mu_i(r, m, t) Y_i, \quad Y_t, t = \overline{1, T}, \quad (5.10)$$

$$Y_t^* = \sum_{s=-m+1}^m \mu_i(r, m, t) Y_i, \quad t = T - m + 1, \dots, T. \quad (5.11)$$

Анализ показал, что на практике величину m можно принять равной трем r и определить следующим образом: вычислить разности r -го порядка

$$\Delta^r Y_t = \sum_{j=1}^r (-1)^{r-j} r_j V_{t+j}, \quad t = \overline{1, T-r}, \quad r = \overline{1, 10}, \quad (5.12)$$

вычислить показатель V_r по формуле (5.12).

Принимается то численное значение r , после которого величина V_r становится постоянной. Значения коэффициентов $C_s(r, m)$, $\mu_i(r, m, t)$ с учетом r и m могут быть взяты из таблиц, приведенных в [13].

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], который позволяет определить степень выравнивающего полинома.

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

1) стандартная ошибка

$$2) S_{H(t)} = \left[\frac{\sum_{t=1}^T Y_t - H(t)^2}{T - P} \right]^{1/2},$$

где P - число определяемых коэффициентов кривой;

2) средняя относительная ошибка

$$m_\alpha = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \frac{Y_t - H(t)}{Y_t} 100\% ;$$

3) среднее линейное отклонение

$$B = \frac{1}{T(T-1)^{1/2}} \sum_{t=1}^T Y_t - H(t) .$$

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

$$\eta = 1 - \left[\frac{T-1 \sum_{t=1}^T Y_t - H(t)^2}{T-P \sum_{t=1}^T [Y_t - \bar{Y}_t]^2} \right]^{1/2} ,$$

которое можно использовать при решении задач.

Поскольку область изменения величины η (0, 1), то близость корреляционного отношения к единице позволяет судить о надежности выбора вида зависимости.

Для оценки достоверности выбранного вида зависимости используем Z-критерий Фишера

$$Z = \frac{1}{2} \ln \frac{\eta^2}{1-\eta^2} \frac{T-P}{P-1} \geq Z_P ,$$

где Z_P - табличное значение при заданной доверительной вероятности P .

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

$$m=3, U_t = \frac{1}{2} -Y_{t-1}^* + Y_{t+1}^* ,$$

$$m=5, U_t = \frac{1}{10} -2Y_{t-2}^* - Y_{t-1}^* + Y_{t+1}^* + 2Y_{t+2}^* ,$$

$$m=7, U_t = \frac{1}{28} -3Y_{t-3}^* - 2Y_{t-2}^* - Y_{t+1}^* + 2Y_{t+2}^* + 3Y_{t+3}^*$$

и по характеру изменения показателей (табл. 5.1) можно судить о форме кривой [19].

Используя линеаризацию, можно подобрать тип кривой среди гладких функций, которые путем несложных преобразований сводятся к прямой (табл. 5.1).

Процедура выбора кривой заключается в следующем:

а) сглаживание значений исходного ряда $Y_t, t = \overline{1, T}$ путем преобразования приводим к линейной зависимости вида

$$\hat{Y}_t = a' + b'T, T = \overline{1, n};$$

б) вычислим значения коэффициентов

$$b' = \frac{n \sum_{t=1}^n T Y_t - \sum_{t=1}^n T \sum_{t=1}^n Y_t}{n \sum_{t=1}^n T^2 - \left(\sum_{t=1}^n T \right)^2}, \quad (5.13)$$

$$a' = \frac{1}{n} \left(\sum_{t=1}^n Y_t + b' \sum_{t=1}^n T \right); \quad (5.14)$$

в) вычислим коэффициент детерминации

$$r^2 = \frac{b'^2 \left[\sum_{T=1}^n T^2 - \sum_{T=1}^n T n^{-1} \right]}{\sum_{T=1}^n Y_T^2 - \left(\sum_{T=1}^n Y_T \right)^2 n^{-1}}; \quad (5.15)$$

г) вид кривой, описывающей гладкую компоненту исходного ряда - $H(t)$, выбираем из табл. 5.1 по наибольшему коэффициенту детерминации.

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

для аддитивной модели

$$Y'_t = Y_t - H(t), t = \overline{1, T},$$

для мультипликативной модели

$$Y'_t = Y_t H(t)^{-1}, t = \overline{1, T}.$$

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

а) для очищенных от тренда значений исходного ряда Y'_t вычисляем по зависимостям (5.16, 5.17) величины $a(k_j)$, $b(k_j)$, $I(k_j)$;

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

Таблица 5.1

Характер изменения показателей для различных видов кривых

| №п/п | Показатель | Характер изменения | Вид кривой |
|------|------------|--------------------|------------|
|------|------------|--------------------|------------|

| | | показателей во времени | |
|---|--------------------------------------|--|--|
| 1 | \bar{u}_t | <i>Const</i> | $H(t) = a_0 + a_1 t$ |
| 2 | \bar{u}_t | $\bar{u}_t = a_0 + a_1 t$ | $H(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2$ |
| 3 | $\bar{u}_t^{(2)}$ | $\bar{u}_t = a_0 + a_1(t)$ | $H(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3$ |
| 4 | $\frac{\bar{u}_t}{\bar{Y}_t}$ | <i>Const</i> | $H(t) = ab^t$ |
| 5 | $\frac{\bar{u}_t}{\bar{Y}_t}$ | $\frac{\bar{u}_t}{\bar{Y}_t} = a_0 + a_1 t$ | $H(t) = ab^t c t^2$ |
| 6 | $\log \bar{u}_t$ | $\log \bar{u}_t = a_0 + a_1 t$ | $H(t) = k + ab^t$ |
| 7 | $\log \frac{\bar{u}_t}{\bar{Y}_t}$ | $\log \frac{\bar{u}_t}{\bar{Y}_t} = a_0 + a_1 t$ | $H(t) = ka^{b^t}$ |
| 8 | $\log \frac{\bar{u}_t}{\bar{Y}_t^2}$ | $\log \frac{\bar{u}_t}{\bar{Y}_t^2} = a_0 + a_1 t$ | $H(t) = k(1 + be^{-at})^{-1}$ |

$$f(t) = a_0 + \sum_j \left[a(\lambda_j) \cos(2\pi\lambda_j t) + b(\lambda_j) \sum_{t=1}^T Y_t \sin(2\pi\lambda_j t) \right], t = \overline{1, T} \quad (5.16)$$

где $a_0 = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T Y_t'$,

$$a(\lambda_j) = \frac{2}{T} \sum_{t=1}^T Y_t' \cos(2\pi\lambda_j t), \lambda_j \in r,$$

$$b(\lambda_j) = \frac{2}{T} \sum_{t=1}^T Y_t' \sin(2\pi\lambda_j t), \lambda_j \in r,$$

где r - множество выделенных частот ($0 < \lambda_j < 0,083$), на которых интенсивность спектра имеет существенные скачки;

в) сезонная составляющая записывается в следующем виде:

$$s(t) = \sum_j \left[a(\lambda_j) \cos(2\pi\lambda_j t) + b(\lambda_j) \sum_{t=1}^T Y_t \sin(2\pi\lambda_j t) \right], t = \overline{1, T} \quad (5.17)$$

где

$$a(\lambda_j) = \frac{2}{T} \sum_{t=1}^T Y_t' \cos(2\pi r t), \lambda_j = \frac{1}{12}, \frac{1}{6}, \frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{5}{12}, \frac{1}{2},$$

$$b(\lambda_j) = \frac{2}{T} \sum_{t=1}^T Y_t' \sin(2\pi\lambda_j t), \lambda_j = \frac{1}{12}, \frac{1}{6}, \frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{5}{12}, \frac{1}{2}.$$

После того, как описаны гармонические составляющие $f(t)$ и $s(t)$, выделяем их из ряда и для оставшихся членов ряда $u(t)$, $t = \overline{1, T}$ вычисляем характеристики:

$$\bar{u}(t) = T^{-1} \sum_{t=1}^T u(t),$$

$$\delta^2 = T^{-1} \sum_{t=1}^T (u(t) - \bar{u}(t))^2.$$

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

Для обнаружения автокорреляции в остаточных членах рядов используется статистика [19]

$$d \cong 2(1 - r_1),$$

где

$$r_1 = \frac{\sum_{t=1}^n (u(t) - \bar{u}(t))(u(t-1) - \bar{u}(t))}{\sum_{t=1}^T (u(t) - \bar{u}(t))^2} - \text{коэффициент автокорреляции первого}$$

порядка.

При отсутствии автокорреляции статистика d принимает значение, равное двум. В случае полной автокорреляции статистика принимает значение ноль и четыре. В [19] приведена таблица для проверки гипотезы о значимости критерия d .

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

$$u(t) = \sum_{i=1}^m \mathcal{G}_i u(t-i) + \varepsilon_t,$$

где \mathcal{G}_i - коэффициенты уравнения авторегрессии;

ε_t - случайные величины, удовлетворяющие условиям

$$E[\varepsilon_t] = 0,$$

$$E[\varepsilon_t \varepsilon_{t'}] = \begin{cases} \delta^2, & \text{при } t=t' \\ 0, & \text{при } t \neq t' \end{cases}.$$

Если значения $u(t)$, $t = \overline{1, T}$ распределены по нормальному закону $N(0, \delta^2)$, оценку параметров уравнения авторегрессии получаем следующим образом:

$$\mu_{\alpha\beta} = \sum_{t=1}^T u(t-\alpha)u(t-\beta),$$

$$z_{\alpha} = \sum_{t=1}^T u(t)u(t-\alpha), \quad \alpha, \beta = 1, 2, \dots, m,$$

$$\hat{\theta} = M^{-1}z,$$

где $\hat{\theta}$ - вектор оцениваемых параметров уравнения регрессии; M - матрица, компоненты которой являются значениями

$$\mu_{\alpha\beta}, \quad \alpha, \beta = 1, 2, \dots, m,$$

$$z - \text{вектор значений } z_{\alpha}, \quad \alpha = 1, 2, \dots, m$$

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

$$Y_{T+L} = F H(T+L), f(T+L), s(T+L), u(T+L). \quad (5.18)$$

Доверительный интервал прогноза имеет следующий вид:

$$Y_{T+L} - S_p t_{\alpha} \leq Y_{T+L} \leq Y_{T+L} + S_p t_{\alpha}, \quad (5.19)$$

где S_p^2 - дисперсия суммарного прогноза;

t_{α} - статистика Стьюдента, таблица которой приведена в [33].

Для аддитивной модели суммарная дисперсия имеет зависимость

$$S_p^2 = \sum_{j=1}^N S_{pj}^2, \quad (5.20)$$

где S_{pj}^2 - дисперсия прогноза j -й компоненты.

Для мультипликативной модели

$$S_p^2 \cong \sum_{j=1}^N \frac{S_{pj}^2}{Y_{T+L,j}^2} Y_{T+L}^2.$$

Дисперсия прогноза компоненты $H(t)$, выраженной линейной зависимостью, имеет следующий вид:

$$S_p^2 = \delta^2 \left[\frac{1}{T} + \frac{T+L-t}{\sum_{t=1}^T (t-t)^2} \right].$$

Для нелинейных зависимостей, приведенных в табл. 5.1, дисперсия прогноза находится через линеаризирующие преобразования, которые приведены в этой же табл. 5.1

Для гармонических составляющих ряда $f(t)$ и $s(t)$ в качестве оценки дисперсии прогноза используется выражение [1]:

$$S_p^2 = 2n \frac{\delta^2}{T}, \quad (5.21)$$

где n - число частот, которые включены в функциональные зависимости $f(t)$ и $s(t)$; δ^2 - дисперсия исходного ряда.

5.3. Комплексный анализ и прогнозирование показателей эффективности систем и процессов эксплуатации авиационной техники

При управлении эффективностью ПТЭ самолетов решаются задачи анализа и прогнозирования показателей эффективности. Динамика изменения этих показателей достаточно полно отражает развитие ПТЭ во времени, в частности, эффективность управления. Анализ и прогнозирование показателей эффективности ПТЭ позволяют предвидеть уровень его развития и своевременно принимать необходимые меры. Однако на этом пути имеется целый ряд трудностей. Одной из них является то, что показатели эффективности отражают не только меры, направленные на управление эффективностью ПТЭ, но и множество случайных причин, действию которых подвержен ПТЭ. Кроме того, относительно большое количество показателей и наличие между ними определенных связей создаст трудности в правильной оценке динамики развития ПТЭ и эффективности управления процессом.

Для преодоления этих трудностей можно применить к исходным показателям эффективности ПТЭ процедуру выделения общих факторов - один из основных методов факторного анализа. Использование этой процедуры позволит решить следующие задачи:

- 1) выделение некоррелированных факторов, описывающих ПТЭ, не хуже, чем исходные показатели;
- 2) построение моделей динамики развития ПТЭ как набора квадратичных моделей динамики выделенных факторов;
- 3) прогнозирование показателей эффективности ПТЭ с учетом случайных величин, влияющих на процесс;
- 4) исследование на некоррелированность отклонений показателей эффективности ПТЭ от предлагаемой модели.

Рассмотрим основные положения многофакторного анализа. Пусть X_1, \dots, X_n - система случайных величин. Задача многофакторного анализа состоит в нахождении системы некоррелированных случайных величин (общих факторов) Y_1, \dots, Y_m ($m < n$) и их нагрузок - коэффициентов C_{ij} , $1 \leq i \leq n$, $1 \leq j \leq m$, таких, чтобы с большой вероятностью выполнялась система равенств

$$X_i = \sum_j C_{ij} Y_j, \quad i = 1, \dots, n.$$

Преимуществом системы случайных величин Y_1, \dots, Y_m является их некоррелированность и меньшее число $m < n$, недостатком - трудности в их

содержательной интерпретации.

Предположим для удобства, что случайные величины X_i , $i = 1, \dots, n$ нормированы, т.е. математическое ожидание $MX_i = 0$, а дисперсия $DX_i = 1$. В этом случае дисперсия разлагается в сумму

$$1 = DX_i = h_i^2 + S_i^2 + b_i^2,$$

где h_i^2 - общность, т.е. часть дисперсии, обусловленная факторами, общими для всех X_i ; S_i^2 - специфическая дисперсия; b_i^2 - часть дисперсии, обусловленная ошибкой.

Характеристикой взаимной зависимости факторов X_i , $1 \leq i \leq n$ является матрица корреляционных коэффициентов $R = \|\eta_j\|$. Весьма важно, что влияние специфических факторов и ошибок отражено в R , так как на главной диагонали в R стоят дисперсии $DX_i = 1 = h_i^2 + S_i^2 + b_i^2$.

Наоборот, если мы введем редуцированную корреляционную матрицу

$$R' = \begin{vmatrix} h_1^2 & & \eta_j \\ & \ddots & \\ \eta_j & & h_n^2 \end{vmatrix}$$

на главной диагонали которой стоят общности, то будет учитываться лишь влияние общих факторов и отброшены специфичность и дисперсия ошибок.

Пусть $C = \|C_{ij}\|_{\substack{1 \leq i \leq n \\ 1 \leq j \leq m}}$, матрица факторных нагрузок. Из равенства

$$X_i = \sum_j C_{ij} Y_{ij} \text{ вытекает } {}^+ C \cdot C = R',$$

откуда следует, что ранг равен числу общих факторов. Для определения неизвестных общностей существует ряд методов, основой которых является требование минимальности ранга матрицы R' .

Рассматриваемая методика иллюстрируется на примере обработки данных о ПТЭ однотипных самолетов эксплуатационного предприятия за период 11 лет.

При определении нагрузок и величин общих факторов в качестве исходных данных используются средние значения показателей эффективности ПТЭ самолетов: удельные трудовые затраты на техническое обслуживание $\tau_{\alpha i}$ чел. ч/ч налета; удельные материальные затраты на техническое обслуживание $\tilde{N}_{\alpha i}$ руб. /ч налёта; коэффициент использования самолетного парка $\hat{E}_{\hat{E}}$; коэффициент возможного использования самолетного парка $\hat{E}_{\hat{A}\hat{E}}$ (табл. 5.2 – 5.5).

Пусть X_i , $1 \leq i \leq K$ – K показателей эффективности ПТЭ, а X_j – их

значения, наблюдаемые в течение некоторого промежутка времени длины $T_0 N$ с интервалом T_0 , $0 \leq j \leq N-1$. Основой для применения процедуры выделения общих факторов является представление временных рядов как выборки значений некоторой случайной величины, которую мы тоже обозначили X_i .

Приведем решение задачи для двух случаев.

Первый случай. Введем случайные величины X_1, \dots, X_8 , где X_1, X_3, X_5, X_7 - средние значения $\tau_{\hat{\alpha}\hat{\alpha}}, \tilde{N}_{\hat{\alpha}\hat{\alpha}}, \hat{E}_{\hat{E}}, \hat{E}_{\hat{A}\hat{E}}$ за первое полугодие, а X_2, X_4, X_6, X_8 - значения этих же величин за второе полугодие. Значения X_i j вычисляются непосредственно по данным табл. 5.2 – 5.2 – 5.5, причем $j=0$ отвечает 1-му году, $j=10$ -11-му году. Таким образом, каждая из этих случайных величин принимает 11 значений.

Второй случай. Здесь X_1, \dots, X_6 - случайные величины, являющиеся значениями $\tau_{\hat{\alpha}\hat{\alpha}}$ (табл. 2.10) соответственно, за январь, февраль, ..., июнь; как и в первом случае j , $0 \leq j \leq 10$ означает порядковый номер года.

При формировании корреляционной матрицы определяются: математическое ожидание случайной величины

$$M_i = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} X_i(j), \quad 1 \leq i \leq K, \quad 0 \leq j \leq N-1;$$

дисперсия

$$D_i = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} (X_i(j) - M_i)^2;$$

значения нормированных случайных величин

$$\dot{X}_i(j) = \frac{1}{\sqrt{D_i}} (X_i(j) - M_i);$$

матрица корреляционных коэффициентов

$$R = \left\| R_{i_1 i_2} \right\|;$$

$$R_{i_1 i_2} = \sum_{j=0}^{N-1} \dot{X}_{i_1}(j) \dot{X}_{i_2}(j), \quad 1 < i_1, i_2 \leq K.$$

Матрицы R приведены для первого случая в табл. 5.6, для второго случая в табл. 5.7.

Таблица 5.2.

Удельные трудовые затраты на техническое обслуживание самолетов $\tau_{\text{от}}$, чел. ч/ч налета

| Порядковый номер года | Январь | Февраль | Март | Апрель | Май | Июнь | Июль | Август | Сентябрь | Октябрь | Ноябрь | Декабрь | Год |
|-----------------------|--------|---------|-------|--------|-------|-------|------|--------|----------|---------|--------|---------|--------|
| 11 | 9,37 | 11,65 | 12,00 | 10,40 | 8,81 | 8,29 | 7,79 | 6,73 | 7,46 | 8,83 | 8,88 | 10,60 | 9,234 |
| 10 | 11,66 | 11,20 | 13,08 | 12,61 | 10,17 | 8,29 | 8,69 | 7,25 | 7,72 | 9,20 | 8,88 | 10,63 | 9,948 |
| 9 | 12,46 | 12,36 | 13,89 | 12,02 | 9,74 | 7,49 | 7,70 | 6,74 | 8,23 | 10,40 | 9,50 | 10,60 | 10,094 |
| 8 | 11,57 | 12,21 | 14,17 | 12,45 | 9,34 | 8,25 | 7,56 | 7,11 | 7,32 | 8,75 | 9,93 | 11,15 | 9,984 |
| 7 | 12,85 | 10,43 | 14,43 | 10,69 | 8,05 | 9,82 | 8,36 | 7,51 | 7,63 | 8,97 | 9,21 | 12,74 | 10,057 |
| 6 | 12,10 | 13,47 | 15,07 | 13,18 | 11,07 | 10,19 | 9,87 | 9,81 | 7,98 | 9,92 | 10,00 | 12,69 | 11,279 |
| 5 | 12,68 | 12,57 | 13,98 | 12,73 | 10,11 | 9,23 | 8,74 | 7,56 | 8,11 | 9,23 | 9,75 | 12,15 | 10,570 |
| 4 | 12,81 | 13,11 | 14,17 | 12,81 | 10,69 | 9,18 | 8,51 | 7,63 | 8,50 | 9,63 | 10,40 | 11,72 | 10,763 |
| 3 | 12,93 | 13,43 | 14,05 | 13,26 | 11,41 | 9,84 | 8,91 | 7,75 | 8,21 | 9,87 | 10,93 | 12,84 | 11,119 |
| 2 | 12,76 | 13,41 | 14,18 | 13,61 | 11,54 | 10,24 | 9,73 | 8,45 | 8,67 | 9,94 | 10,48 | 12,21 | 11,268 |
| 1 | 12,88 | 13,12 | 14,26 | 13,73 | 11,82 | 10,11 | 9,56 | 8,21 | 8,88 | 9,75 | 10,57 | 12,61 | 11,292 |

Таблица 5.3.

Удельные материальные затраты на техническое обслуживание $\tilde{N}_{\alpha i}$, руб./ч. налета*

| Порядковый номер года | Январь | Февраль | Март | Апрель | Май | Июнь | Июль | Август | Сентябрь | Октябрь | Ноябрь | Декабрь | Год |
|-----------------------|--------|---------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|----------|---------|--------|---------|--------|
| 11 | 51,02 | 53,00 | 55,29 | 37,50 | 31,03 | 24,49 | 22,50 | 21,36 | 23,83 | 29,48 | 38,01 | 59,74 | 37,271 |
| 10 | 53,12 | 54,25 | 45,85 | 46,76 | 32,21 | 23,90 | 21,45 | 19,40 | 27,91 | 33,87 | 39,99 | 35,99 | 36,225 |
| 9 | 42,30 | 53,74 | 45,85 | 39,20 | 27,90 | 20,17 | 20,21 | 19,89 | 23,61 | 34,10 | 37,94 | 43,18 | 34,007 |
| 8 | 48,41 | 49,33 | 46,76 | 38,21 | 29,61 | 24,87 | 21,68 | 19,65 | 24,13 | 32,16 | 37,18 | 37,64 | 34,136 |
| 7 | 48,90 | 48,26 | 52,72 | 45,21 | 29,59 | 36,11 | 32,12 | 30,61 | 31,74 | 29,68 | 37,61 | 42,16 | 38,751 |
| 6 | 47,31 | 51,11 | 52,09 | 48,88 | 23,38 | 36,91 | 32,11 | 30,26 | 32,66 | 36,28 | 33,18 | 4663 | 40,900 |
| 5 | 48,30 | 49,26 | 50,38 | 48,91 | 43,71 | 37,21 | 32,89 | 31,74 | 33,16 | 35,94 | 37,64 | 45,63 | 40,900 |
| 4 | 48,56 | 49,12 | 51,71 | 49,12 | 42,65 | 37,68 | 33,26 | 30,10 | 31,98 | 34,18 | 36,97 | 44,72 | 40,837 |
| 3 | 47,26 | 49,88 | 51,74 | 49,68 | 43,21 | 38,16 | 33,44 | 31,17 | 32,94 | 33,67 | 36,58 | 44,29 | 41,002 |
| 2 | 48,39 | 50,26 | 52,11 | 50,35 | 44,28 | 38,51 | 32,85 | 31,72 | 33,19 | 34,66 | 37,94 | 46,13 | 41,616 |
| 1 | 48,65 | 49,24 | 51,91 | 50,11 | 45,16 | 39,27 | 33,68 | 32,96 | 33,20 | 33,97 | 36,16 | 44,66 | 41,664 |

*- в ценах 1990 г.

Коэффициент использования самолетов \hat{E}_E

| Порядковый номер года | Январь | Февраль | Март | Апрель | Май | Июнь | Июль | Август | Сентябрь | Октябрь | Ноябрь | Декабрь | Год |
|-----------------------|--------|---------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|----------|---------|--------|---------|-------|
| 11 | 0,142 | 0,145 | 0,134 | 0,173 | 0,204 | 0,305 | 0,317 | 0,346 | 0,316 | 0,218 | 0,195 | 0,141 | 0,220 |
| 10 | 0,126 | 0,132 | 0,129 | 0,159 | 0,184 | 0,267 | 0,286 | 0,272 | 0,257 | 0,193 | 0,179 | 0,151 | 0,195 |
| 9 | 0,120 | 0,118 | 0,121 | 0,145 | 0,183 | 0,257 | 0,278 | 0,304 | 0,265 | 0,193 | 0,174 | 0,139 | 0,191 |
| 8 | 0,130 | 0,150 | 0,130 | 0,150 | 0,190 | 0,250 | 0,300 | 0,350 | 0,290 | 0,200 | 0,200 | 0,140 | 0,207 |
| 7 | 0,140 | 0,150 | 0,190 | 0,220 | 0,250 | 0,280 | 0,320 | 0,360 | 0,340 | 0,310 | 0,250 | 0,170 | 0,248 |
| 6 | 0,130 | 0,140 | 0,160 | 0,170 | 0,200 | 0,270 | 0,300 | 0,350 | 0,320 | 0,300 | 0,260 | 0,200 | 0,233 |
| 5 | 0,130 | 0,140 | 0,150 | 0,160 | 0,180 | 0,250 | 0,270 | 0,290 | 0,260 | 0,170 | 0,140 | 0,140 | 0,195 |
| 4 | 0,120 | 0,130 | 0,130 | 0,150 | 0,190 | 0,260 | 0,280 | 0,300 | 0,270 | 0,220 | 0,180 | 0,150 | 0,198 |
| 3 | 0,130 | 0,140 | 0,130 | 0,160 | 0,200 | 0,240 | 0,290 | 0,320 | 0,300 | 0,230 | 0,170 | 0,140 | 0,204 |
| 2 | 0,120 | 0,120 | 0,140 | 0,170 | 0,190 | 0,270 | 0,300 | 0,330 | 0,280 | 0,210 | 0,180 | 0,130 | 0,203 |
| 1 | 0,140 | 0,130 | 0,130 | 0,150 | 0,180 | 0,250 | 0,280 | 0,310 | 0,300 | 0,220 | 0,190 | 0,150 | 0,202 |

Таблица 5.5

Коэффициент возможного использования самолетов \hat{E}_{AE}

| Порядковый номер года | Январь | Февраль | Март | Апрель | Май | Июнь | Июль | Август | Сентябрь | Октябрь | Ноябрь | Декабрь | Год |
|-----------------------|--------|---------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|----------|---------|--------|---------|-------|
| 11 | 0,640 | 0,666 | 0,600 | 0,552 | 0,640 | 0,577 | 0,714 | 0,718 | 0,709 | 0,621 | 0,553 | 0,477 | 0,622 |
| 10 | 0,658 | 0,666 | 0,678 | 0,666 | 0,709 | 0,708 | 0,731 | 0,756 | 0,703 | 0,705 | 0,682 | 0,664 | 0,694 |
| 9 | 0,661 | 0,621 | 0,642 | 0,613 | 0,646 | 0,695 | 0,760 | 0,797 | 0,741 | 0,705 | 0,709 | 0,696 | 0,691 |
| 8 | 0,470 | 0,520 | 0,540 | 0,590 | 0,560 | 0,490 | 0,580 | 0,510 | 0,520 | 0,540 | 0,660 | 0,500 | 0,540 |
| 7 | 0,540 | 0,490 | 0,520 | 0,490 | 0,510 | 0,600 | 0,590 | 0,570 | 0,560 | 0,560 | 0,520 | 0,500 | 0,541 |
| 6 | 0,550 | 0,570 | 0,610 | 0,590 | 0,630 | 0,710 | 0,560 | 0,550 | 0,670 | 0,590 | 0,600 | 0,580 | 0,601 |
| 5 | 0,610 | 0,640 | 0,630 | 0,610 | 0,650 | 0,700 | 0,710 | 0,740 | 0,700 | 0,690 | 0,670 | 0,620 | 0,664 |
| 4 | 0,630 | 0,650 | 0,620 | 0,600 | 0,640 | 0,690 | 0,720 | 0,750 | 0,690 | 0,680 | 0,660 | 0,650 | 0,665 |
| 3 | 0,640 | 0,620 | 0,670 | 0,650 | 0,660 | 0,700 | 0,730 | 0,750 | 0,700 | 0,690 | 0,670 | 0,660 | 0,679 |
| 2 | 0,650 | 0,660 | 0,670 | 0,650 | 0,680 | 0,710 | 0,720 | 0,740 | 0,700 | 0,670 | 0,630 | 0,620 | 0,675 |
| 1 | 0,620 | 0,640 | 0,650 | 0,670 | 0,700 | 0,720 | 0,750 | 0,760 | 0,690 | 0,680 | 0,620 | 0,610 | 0,676 |

Таблица 5.7.

Матрица корреляционных коэффициентов $R =$ для второго случая

| \dot{X}_l | \dot{X}_1 | \dot{X}_2 | \dot{X}_3 | \dot{X}_4 | \dot{X}_5 | \dot{X}_6 |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| \dot{X}_1 | 1 | 0,359 | 0,620 | 0,597 | 0,466 | 0,514 |
| \dot{X}_2 | | 1 | 0,430 | 0,800 | 0,868 | 0,438 |
| \dot{X}_3 | | | 1 | 0,543 | 0,374 | 0,585 |
| \dot{X}_4 | | | | 1 | 0,934 | 0,479 |
| \dot{X}_5 | | | | | 1 | 0,579 |
| \dot{X}_6 | | | | | | 1 |

Таблица 5.8.

Весовые коэффициенты $C_{i\ell}$ $1 \leq i \leq 8$, $1 \leq \ell \leq 4$ для первого случая

| Y_i | \dot{X}_1 | \dot{X}_2 | \dot{X}_3 | \dot{X}_4 | \dot{X}_5 | \dot{X}_6 | \dot{X}_7 | \dot{X}_8 |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Y_1 | 0,818 | 0,545 | 0,706 | 0,611 | -0,641 | -0,490 | 0,838 | 0,719 |
| Y_2 | 0,427 | 0,680 | 0,606 | 0,652 | 0,597 | 0,795 | -0,376 | -0,596 |
| Y_3 | -0,362 | -0,203 | 0,246 | 0,318 | 0,459 | 0,004 | 0,240 | 0,223 |
| Y_4 | -0,001 | -0,319 | 0,171 | 0,141 | -0,038 | -0,272 | -0,200 | -0,111 |

Таблица 5.9.

Весовые коэффициенты $C_{i\ell}$, $1 \leq i \leq 6$, $1 \leq \ell \leq 3$ для второго случая

| Y_i | \dot{X}_1 | \dot{X}_2 | \dot{X}_3 | \dot{X}_4 | \dot{X}_5 | \dot{X}_6 |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Y_1 | 0,683 | 0,788 | 0,692 | 0,933 | 0,894 | 0,675 |
| Y_2 | 0,341 | -0,366 | 0,447 | -0,280 | -0,447 | 0,296 |
| Y_3 | 0,220 | -0,087 | 0,069 | 0,315 | -0,163 | -0,242 |

Последовательность вычислений может быть осуществлена следующими этапами:

а) получение $S \times S$ -матрицы

$$C_{\circ} = \left\| d_{\ell_1 \ell_2} \right\|, \quad 1 \leq \ell_1, \ell_2 \leq S,$$

где $d_{\ell_1 \ell_2} = \sum_{i=1}^K C_{i\ell_1} C_{i\ell_2}$ (очевидно, $C_{\circ} = C^+ C$);

б) нахождение обратной матрицы

$$C_{\circ}^{-1} = \|\gamma_{\ell_1 \ell_2}\|, \quad 1 \leq \ell_1, \ell_2 \leq S;$$

в) нахождение временных рядов $Y_{\ell}(j)$

$$Y_{\ell}(j) = \sum_{i=1}^K \sum_{\ell_1=1}^S \dot{X}_i \quad j \cdot C_{i\ell_1} \gamma_{\ell_1 \ell_2}.$$

Значение $Y_{\ell}(j)$ для первого случая приведено в табл. 2.17.

Теперь можно перейти к определению квадратичной модели выделенных факторов и прогнозированию показателей. Пусть $Y_{\ell}(j)$, $j=0, \dots, N-1$ временной ряд значений случайной величины Y_{ℓ} . Определим с помощью метода наименьших квадратов квадратичную функцию $Y_{\ell}(t) = A_{0\ell} + A_{1\ell}t + A_{\ell\ell}t^{\ell}$ и получим прогноз $\hat{Y}_{\ell}(N) = A_{0\ell} + A_{1\ell}N + A_{\ell\ell}N^{\ell}$ величины $Y_{\ell}(N)$.

Последовательность вычислений:

а) формирование матрицы:

$$\left\| \begin{array}{ccc} 1 & \frac{N-1}{\ell} & \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} j^2 \\ \frac{N-1}{\ell} & \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} j^2 & \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} j^3 \\ \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} j^2 & \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} j^3 & \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} j^4 \end{array} \right\| = B_1;$$

б) нахождение обратной матрицы

$$B_0 = B^{-1} = \|b_{i_1 i_2}\|; \quad 0 \leq i_1, i_2 \leq 2;$$

в) определение коэффициентов $A_{\circ\ell}$, $A_{1\ell}$, $A_{\ell\ell}$:

$$A_{m\ell} = \frac{1}{N} (b_{m0} \sum_{j=0}^{N-1} Y_{\ell}(j) + b_{m1} \sum_{j=0}^{N-1} j Y_{\ell}(j) + b_{m2} \sum_{j=0}^{N-1} j^2 Y_{\ell}(j));$$

г) вычисление прогнозируемого значения $\hat{Y}_{\ell}(N)$ по формуле

$$\hat{Y}_{\ell}(N) = A_{0\ell} + A_{1\ell}N + A_{\ell\ell}N^2, \quad 1 \leq \ell \leq S;$$

д) определение прогнозируемых значений исходных параметров по формулам

$$\hat{X}_i(N) = \sum_{\ell=1}^S C_{1\ell} \hat{Y}_{\ell}(N),$$

$$\hat{X}_i(N) = M_i + \sqrt{D_i} \hat{X}_i(N), \quad 1 \leq i \leq K.$$

Заметим, что изложенная последовательность вычислений может быть применена непосредственно к исходным случайным величинам X_i , в

результате которых может быть получен прогноз их значений (так называемое однофакторное прогнозирование).

Результаты однофакторного и многофакторного прогнозирования показателей эффективности для первого случая приведены в табл. 5.11. Для второго выполнено только многофакторное прогнозирование показателей эффективности (табл. 5.12).

Выполним исследование отклонений от квадратичной модели. Если допустить, что в квадратичных моделях довольно точно отражается тенденция развития ПТЭ, то по отклонениям показателей эффективности ПТЭ от квадратичной модели мы можем делать выводы о качестве управления процессом. Возможность следить за динамикой некоррелированных показателей Y_ℓ позволяет делать выводы о взаимной связи имеющихся отклонений от квадратичной модели.

Таблица 5.10
Временные ряды $Y_\ell(j)$ для первого случая

| Y_ℓ | Номер года | | | | | | | | | | |
|----------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| Y_1 | -1,22 | 0,002 | -0,151 | -0,505 | -1,768 | 0,169 | 0,680 | 0,730 | 0,907 | 1,051 | 1,107 |
| Y_2 | -0,474 | -1,452 | -1,780 | -0,308 | 1,432 | 1,802 | -0,101 | -0,042 | 0,198 | 0,378 | 0,347 |
| Y_3 | 1,748 | 0,518 | -0,646 | -2,399 | 1,022 | -0,912 | 0,615 | 0,006 | 0,124 | 0,115 | -0,189 |
| Y_4 | -0,157 | -0,857 | -1,553 | 1,424 | 0,198 | -2,159 | 1,699 | 1,092 | -0,017 | 0,210 | 0,126 |

Таблица 5.11
Прогнозирование показателей эффективности для первого случая

| Вид прогноза | $X_1 =$ $= \tau_{\acute{o}\ddot{a}1}$ | $X_2 =$ $= \tau_{\acute{o}\ddot{a}2}$ | $X_3 =$ $= \tau_{\acute{o}\ddot{a}3}$ | $X_4 =$ $= \tau_{\acute{o}\ddot{a}4}$ | $X_5 =$ $= K_{\acute{E}I}$ | $X_6 =$ $= K_{\acute{E}II}$ | $X_7 =$ $= K_{\acute{A}\acute{E}I}$ | $X_8 =$ $= K_{\acute{A}\acute{E}II}$ |
|----------------------------------|--|--|--|--|-------------------------------|--------------------------------|--|---|
| Однофактор-ный прогноз | 9,91 | 7,83 | 39,22 | 28,74 | 0,170 | 0,227 | 0,658 | 0,683 |
| Многофакторны й прогноз | 10,12 | 8,02 | 39,05 | 29,38 | 0,173 | 0,228 | 0,650 | 0,711 |
| Наблюдаемые значения в 12-м году | 9,71 | 7,98 | 37,9 | 30,16 | 0,180 | 0,227 | 0,633 | 0,747 |

Составим таблицу (табл. 5.13) теоретических значений $\hat{Y}_\ell(j)$, $j = 1, 2, 3, 4$ (полученных из квадратичной модели) и их отклонений от реальных значений $\hat{Y}_\ell(j)$, приведенных в табл. 5.2.

Отклонения, отмеченные звездочкой * табл. 2.13, довольно сильно

отличаются от теоретических значений. Если их считать «неслучайными выбросами» и не принимать во внимание при расчете среднеквадратических отклонений, то оценки могут принимать вид табл. 5.14. Столь резкие "выбросы" можно объяснить наличием случайных причин, резко влияющих на развитие ПТЭ. Используя некоррелированность факторов Y_1, \dots, Y_4 , можно делать выводы о взаимной связи этих возмущений.

Таблица 5.12.

Прогнозирование удельных трудовых затрат $\tau_{y\partial}$ для второго случая.

| Вид прогноза | $X_1 =$ $= \tau_{\acute{o}\ddot{a}1}$ | $X_2 =$ $= \tau_{\acute{o}\ddot{a}2}$ | $X_3 =$ $= \tau_{\acute{o}\ddot{a}3}$ | $X_4 =$ $= \tau_{\acute{o}\ddot{a}4}$ | $X_5 =$ $= \tau_{\acute{o}\ddot{a}5}$ | $X_6 =$ $= \tau_{\acute{o}\ddot{a}6}$ |
|----------------------------------|--|--|--|--|--|--|
| Многофакторный прогноз | 9,87 | 11,51 | 11,54 | 10,72 | 9,30 | 7,38 |
| Наблюдаемые значения в 12-м году | 10,23 | 10,48 | 11,82 | 10,80 | 8,99 | 7,14 |

Таблица 5.13.

Теоретические значения $Y_\ell(j)$, $j = 1, 2, 3, 4$ и их отклонения δ_j от реальных значений

| j | Y_1 | | Y_2 | | Y_3 | | Y_4 | |
|-----|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|
| | $\hat{Y}_1(j)$ | δ_1 | $\hat{Y}_2(j)$ | δ_2 | $\hat{Y}_3(j)$ | δ_3 | $\hat{Y}_4(j)$ | δ_4 |
| 10 | -0,895 | -0,325 | -1,353 | 0,879 | 0,85 | 0,903 | -0,744 | 0,587 |
| 9 | -0,824 | 0,826 | -0,836 | -0,616 | 0,421 | 0,097 | -0,499 | 0,358 |
| 8 | -0,705 | 0,551 | -0,395 | -1,385* | 0,081 | -0,727 | -0,282 | -1,271 |
| 7 | -0,538 | -0,367* | -0,030 | 0,278 | -0,175 | -2,224* | -0,053 | 1,517* |
| 6 | -0,323 | -1,445* | 0,259 | 1,173* | 0,347 | 1,369 | 0,068 | 0,130 |
| 5 | -0,060 | 0,229 | 0,472 | 1,330* | -0,435 | -0,477 | 0,201 | -2,360* |
| 4 | 0,251 | 0,429 | 0,609 | -0,710 | -0,439 | 1,054 | 0,306 | 1,393* |
| 3 | 0,610 | 0,120 | 0,670 | -0,712 | -0,359 | 0,365 | 0,383 | 0,709 |
| 2 | 1,017 | -0,110 | 0,655 | -0,457 | -0,195 | 0,319 | 0,432 | 0,449* |
| 1 | 1,472 | -0,421 | 0,594 | -0,186 | 0,053 | 0,062 | 0,453 | -0,243 |
| 0 | 1,975 | -0,868 | 0,397 | -0,050 | 0,395 | 0,584 | 0,446 | -0,320 |

Например, отрицательные воздействия на показатели ПТЭ в 4-м году в основном касались фактора Y_4 (наименее значимого из Y_1, \dots, Y_4). Можно предположить, что были приняты меры по улучшению общей ситуации. В результате положение с фактором Y_4 резко улучшилось, но сильно ухудшилось положение с фактором Y_2 , более важным, чем Y_4 . Принятые, видимо, в 5-м году меры дали не тот эффект: резко ухудшились значения факторов (которые ранее были в норме), а Y_2 остался по-прежнему плохим.

Оценка среднеквадратических отклонений $\sigma(C_i)$

| C_i | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|
| $\sigma(C_i)$ | 0,503 | 0,475 | 0,603 | 0,609 |

В результате последующих управляющих воздействий положение с показателями Y_1 , Y_3 постепенно пришло в норму. Можно сделать еще один вывод: нарушение гладкого развития ПТЭ в 4-м и 8-м годах было вызвано независимыми причинами.

Лучшее приближение к фактическим (наблюденным) значениям показателей достигнуто при многофакторном прогнозе, при котором отклонение не превысило 5%.

В целом следует сделать вывод о возможности использования многофакторного анализа и квадратичной модели для прогнозирования показателей эффективности ПТЭ ВС.

5.4. Анализ влияния организационных и технических факторов на эффективность процессов эксплуатации авиационной техники

Уровень эффективности ПТЭ ЛА за отчетный период оценивается по относительным показателям $q_i^{(r)}$, представляющим собой отношение показателя за отчетный период $q_{iom}^{(r)}$ к соответствующему базовому показателю $q_{i\bar{o}}^{(r)}$ на r -м уровне ПТЭ:

$$q_i^{(r)} = \frac{q_{iom}^{(r)}}{q_{i\bar{o}}^{(r)}}.$$

Например, для показателя K_u имеем:

$$\bar{K}_u = \frac{K_{uom}^{(r)}}{K_{u\bar{o}}^{(r)}}.$$

Если значения относительных показателей $\bar{T}, \bar{P}, \bar{K}_u, \bar{K}_{\text{вн}}$ в отчетном периоде меньше 1, то это означает снижение уровня эффективности по любому из них по сравнению с базовыми показателями. Значения относительных показателей $\bar{K}_{\text{п}}, \bar{\tau}_{\text{уд}}, C_{\text{уд}}$ меньше единицы означают повышение уровня эффективности по любому из этих показателей по сравнению с базовыми значениями.

При анализе изменения уровня эффективности ПТЭ прежде всего обращается внимание на значения показателей безопасности полетов \bar{T} и регулярности полетов \bar{P} . Если имеет место снижение уровня по этим

показателям, то должны быть прежде всего разработаны мероприятия по повышению безопасности и регулярности полетов.

Анализ изменения уровня эффективности ПТЭ по показателям использования и экономической эффективности позволяет установить степень влияния отдельных состояний ПТЭ на значения этих показателей:

по затратам времени – величиной $\pi^{(r)}_i \mu_i$;

по трудоемкости – величиной $\pi^{(r)}_i \tau_i$;

по стоимости – величиной $\pi^{(r)}_i C_i$.

Состояния, для которых эти величины являются наибольшими, оказывают наиболее существенное влияние на значения соответствующих показателей эффективности ПТЭ. По указанному признаку все состояния ПТЭ могут быть выстроены в ранжированный ряд по убыванию влияния состояний на соответствующий показатель эффективности ПТЭ. Такой подход позволяет из множества состояний ПТЭ выделить для анализа только те, которые оказывают наиболее существенное (доминирующее) воздействие на показатели эффективности ПТЭ. Количество доминирующих состояний выбирается с учетом требуемой глубины анализа.

Для анализа влияния организационных и технических факторов, воздействующих на характеристики доминирующих состояний, определяются относительные величины среднего времени $\bar{\mu}_{ig}$, средней трудоемкости $\bar{\tau}_{ig}$, средней стоимости \bar{C}_{ig} и удельных простоев \bar{K}_{nig} в доминирующих состояниях, например,

$$\mu_{ig} = \frac{\mu_{igom}}{\mu_{ig\bar{o}}}$$

Зависимость относительных показателей эффективности от относительных значений времени, труда и средств в i -м доминирующем состоянии $\bar{K}_{E}^r \bar{\mu}_{i\bar{a}}$, $\bar{K}_{A\bar{E}}^r \bar{\mu}_{i\bar{a}}$, $\bar{K}_{I}^r \bar{\mu}_{i\bar{a}}$, $\bar{\tau}_{\bar{o}\bar{i}}^r \bar{\tau}_{i\bar{a}}$, $\bar{N}_{\bar{o}\bar{i}}^r \bar{N}_{i\bar{a}}$ приведены в табл. 5.15.

Для удобства анализа целесообразно использовать графики вида (рис. 2.14).

Определение рациональной последовательности внедрения мероприятий рекомендуется проводить в следующем порядке:

а) определение доминирующих состояний ПТЭ по каждому из видов затрат;

б) анализ изменения относительных показателей эффективности ПТЭ от затрат в доминирующих состояниях и построение графиков зависимостей относительных показателей эффективности ПТЭ от относительных затрат времени, трудоемкости и стоимости в доминирующих состояниях (рис. 2.15);

Расчетные формулы для определения относительных показателей эффективности ПТЭ ЛА

| №№ п/п | Наименование показателей | Расчетные формулы |
|--------|--|---|
| 1 | Относительный коэффициент использования | $\bar{K}_{\dot{E}} = 1 + K_{\dot{I} \dot{a}} K_{\dot{I} \dot{i} \dot{a}} (1 - \mu_{i\dot{a}})$ |
| 2 | Относительный коэффициент возможного использования | $\bar{K}_{\dot{A}\dot{E}} = 1 + \frac{K_{\dot{I} \dot{i} \dot{a}} (K_{\dot{E} \dot{a}} + K_{\dot{I}}^{(\dot{A})} + K_{\dot{I}}^{(\dot{A})} + K_{\dot{I}}^{(\dot{I})}) (1 - \mu_{i\dot{a}})}{1 + K_{\dot{I}}^{(\dot{A})} + K_{\dot{I}}^{(\dot{A})} + K_{\dot{I}}^{(\dot{I})}}$ |
| 3 | Относительный коэффициент удельных простоев | $\bar{K}_{\dot{I}} = 1 - \frac{K_{\dot{I} \dot{i} \dot{a}} (1 - \bar{\mu}_{i\dot{a}})}{K_{\dot{I} \dot{a}}}$ |
| 4 | Относительный коэффициент удельной трудоемкости | $\bar{\tau}_{\dot{\alpha}\dot{i}} = 1 - \frac{\tau_{i\dot{a}} (1 - \bar{\tau}_{i\dot{a}})}{\tau_{i\dot{a}\dot{a}}}$ |
| 5 | Относительный коэффициент удельной стоимости | $\bar{C}_{\dot{\alpha}\dot{i}} = 1 - \frac{C_{i\dot{a}} (1 - \bar{N}_{i\dot{a}})}{C_{i\dot{a}\dot{a}}}$ |

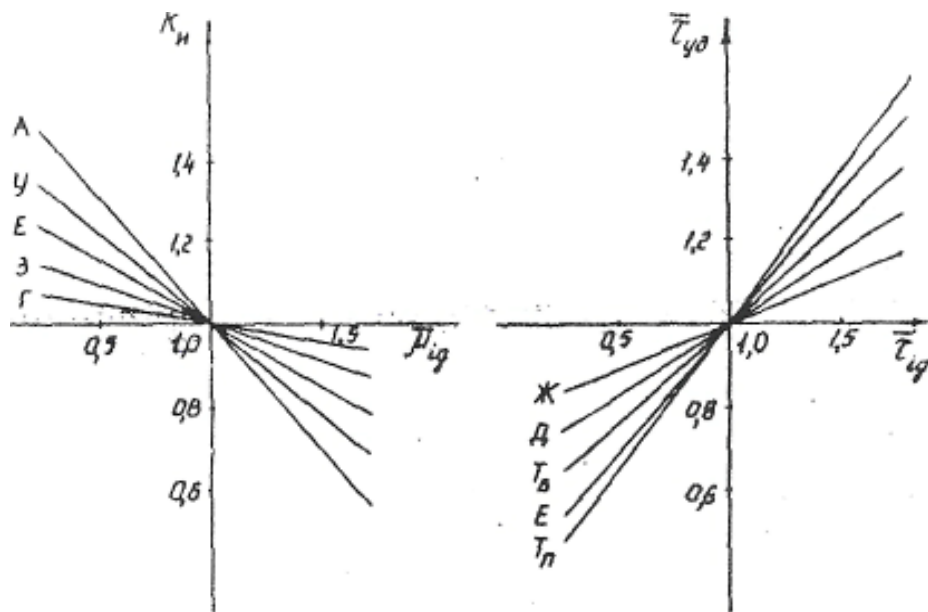


Рис. 5.7. Номограмма влияния изменения простоев $\bar{\mu}_{i\dot{a}}$ и затрат труда

в) начиная с доминирующего состояния, имеющего наибольшее влияние на показатели эффективности ПТЭ, определяются возможные организационные и технические мероприятия и путем инженерных расчетов - ожидаемые относительные сокращения затрат времени $\bar{\mu}_{i\dot{a}}$, трудоемкости $\bar{\tau}_{i\dot{a}}$ и стоимости $\bar{N}_{i\dot{a}}$ от внедрения мероприятий в доминирующих состояниях ПТЭ.

Графики зависимостей относительных показателей эффективности ПТЭ, ЛА изменения затрат $\bar{\mu}_{i\dot{a}}$, $\bar{\tau}_{i\dot{a}}$, $\bar{N}_{i\dot{a}}$ в доминирующих состояниях определяются ожидаемые изменения показателей эффективности $\bar{\tau}_{i\dot{a}}$ в доминирующих

состояниях на относительные показатели использования \bar{K}_E и трудоемкости $\bar{\tau}_{\acute{o}\grave{a}}$:

$$\text{а) } \bar{K}_E \bar{\mu}_{i\grave{a}} ; \text{ б) } \bar{\tau}_{\acute{o}\grave{a}} \bar{\tau}_{i\grave{a}}$$

ПТЭ \bar{K}_E^r , $\bar{K}_{\hat{A}E}^r$, \bar{K}_I^r , $\bar{\tau}_{\acute{o}\grave{a}}^r$, $\bar{N}_{\acute{o}\grave{a}}^r$ от внедрения конкретных мероприятий на r -м уровне ПТЭ ЛА, с учетом их влияния на показатели эффективности.

После внедрения мероприятий оцениваются фактические результаты по повышению эффективности ПТЭ путем расчета достигнутых значений показателей эффективности и определяются направления дальнейшего совершенствования производства.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Охарактеризовать технико-экономическое и социальное значение проблемы повышения эффективности СиПЭ АТ.
2. Дать характеристику задач управления СиПЭ АТ.
3. Показать связь управления СиПЭ АТ с другими учебными дисциплинами.
4. Охарактеризовать содержание и научные методы управления СиПЭ АТ.
5. Охарактеризовать понятия: технический процесс, производственный процесс, процесс эксплуатации, ПТЭ ЛА.
6. Дать классификацию технических процессов.
7. Охарактеризовать технический процесс как элемент системы преобразований.
8. Дать характеристику свойств и моделей технических процессов.
9. Показать связь процессов технической эксплуатации с процессами изменения технического состояния.
10. Какие задачи выполняет инженерно-авиационная служба на отраслевом и региональном уровнях?
11. Какую структуру имеет инженерно-авиационная служба на отраслевом и региональном уровнях?
12. Назовите основные задачи инженерно-авиационного обеспечения полетов.
13. Какую организационную структуру имеют организации по ТОиР АТ?
14. Назовите основные признаки и функциональные задачи Центров ТОиР АТ.
15. Охарактеризовать иерархическую структуру СиПЭ АТ.
16. Рассмотреть условия управления СиПЭ АТ.
17. Определить цели управления СиПЭ АТ.
18. Обосновать выбор показателей эффективности СиПЭ АТ.
19. Раскрыть основные принципы управления СиПЭ АТ.
20. Охарактеризовать методы и функции управления СиПЭ АТ.

21. Дать характеристику типовому алгоритму принятия решений.
22. Охарактеризуйте понятие системы управления СиПЭ АТ.
23. Какую область применения охватывает система управления

СиПЭ АТ?

24. Опишите схему управления процессами технической эксплуатации.
25. Какую структуру имеет система управления СиПЭ АТ?
26. Какие специальные функции управления выполняет система?
27. Охарактеризовать условия автоматизации управления СиПЭ АТ.
28. Какими свойствами обладают СиПЭ АТ?
29. Раскрыть содержание статистических свойств ПТЭ АТ.
30. Представить СиПЭ АТ в виде графа состояний и переходов.
31. Сформулировать условия применения полумарковской модели

СиПЭАТ.

32. Записать формулы для определения основных характеристик полумарковского ПТЭ АТ.

33. Охарактеризовать способы составления и расчета параметров сетевых моделей ПТЭ АТ.

34. Как построить имитационную модель ПТЭ АТ?

35. Как выбрать метод оценки переходных вероятностей полумарковского ПТЭ АТ в зависимости от вида исходной информации?

36. Оценка переходных вероятностей по данным эксплуатационных наблюдений методом наибольшего правдоподобия.

37. В чем сущность дифференциального метода анализа характеристик процесса технической эксплуатации АТ?

38. Как определить компонентный состав временного ряда значений единичных показателей процесса технической эксплуатации АТ?

39. Какие модели описывают динамику показателей процесса технической эксплуатации АТ?

40. В чем сущность метода комплексного анализа характеристик процесса технической эксплуатации АТ?

41. Какие виды прогнозов характеристик процесса используются?

42. Как выполнить точечную и интервальную оценки показателей ПТЭ АТ?

43. В чем сущность прогнозной экстраполяции характеристик ПТЭ АТ?

ЛИТЕРАТУРА

1. Андерсен Т. Статистический анализ временных рядов. - М.: Мир, 1976.
2. Барлоу Р., Прошан Ф. Математическая теория надежности. - М.: Сов. Радио, 1969.
3. 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.
4. Ицкович А.А. Управление эффективностью процесса технической эксплуатации машин. – М.: Знание, 1986. С.56-106.
5. Ицкович А.А., Смирнов Н.Н. Управление эффективностью процесса технической эксплуатации самолетов гражданской авиации: учеб. пособие. – М.: МИИГА, 1993.
6. Ицкович А.А., Файнбург И.А. Эффективность процессов эксплуатации летательных аппаратов: учеб. пособие. – М.: МГТУ ГА, 2011.
7. Ицкович А.А., Файнбург И.А. Управление процессами технической эксплуатации летательных аппаратов. - Ч. 1. Системный анализ процессов технической эксплуатации летательных аппаратов: учебное пособие. – М.: МГТУ ГА, 2013.
8. Ицкович А.А., Файнбург И.А. Эффективность процессов эксплуатации летательных аппаратов. – М.: МГТУ ГА, 2010.
9. Ицкович А.А., Файнбург И.А. Управление процессами технической эксплуатации ЛА. – М.: МГТУ ГА, 2005.
10. Ицкович А.А., Файнбург И.А. Управление процессами технической эксплуатации летательных аппаратов. - М.: МГТУ ГА, 2011.
11. Ицкович А.А., Файнбург И.А. Управление процессами технической эксплуатации летательных аппаратов. - М.: МГТУ ГА, 2013.
12. Надежность и эффективность в технике: Справочник 10 т. / Ред. Совет В.С. Авдеевский (предс.) и др. – Т. 3. Эффективность технических систем. - М.: Машиностроение, 1986.
13. Окунь Д. Факторный анализ. - М.: Статистика. 1974.
14. Смирнов Н.Н., Ицкович А.А. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию. - М.: Транспорт, 1987.
15. Файнбург И.А. Построение полумарковской модели управления процессом поддержания летной годности воздушных судов. // Научный Вестник МГТУГА. – 2007. - № 123 (13), серия «Эксплуатация воздушного транспорта и ремонт авиационной техники». – С. 147-152.
16. Файнбург И.А. Метод оценки эффективности процесса поддержания летной годности воздушных судов // Научный Вестник МГТУГА. – 2007. - № 123 (13), серия «Эксплуатация воздушного транспорта и ремонт авиационной техники». - С. 153-157.
17. Файнбург И.А. Управление процессами поддержания летной годности воздушных судов в центрах технического обслуживания и ремонта

авиационной техники// Научный вестник МГТУГА. – 2006. - № 100. - С. 29-36.

18. Хубка В. Теория технических систем. - М.: Мир, 1987.

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

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| Введение..... | 3 |
| 1. Предмет и задачи управления системами и процессами эксплуатации авиационной техники, основные термины и определения..... | 4 |
| 1.1. Содержание и значение проблемы управления системами и процессами эксплуатации авиационной техники | 4 |
| 1.1.1. Актуальность проблемы управления системами и процессами эксплуатации авиационной техники..... | 4 |
| 1.1.2. Цели освоения учебной дисциплины..... | 4 |
| 1.1.3. Место дисциплины в структуре общей образовательной программы (ОПП) магистратуры..... | 5 |
| 1.1.4. Требования к результатам освоения дисциплины | 5 |
| 1.2. Основные, понятия, термины и определения | 6 |
| 2. Управляемые системы и процессы эксплуатации авиационной техники..... | 12 |
| 2.1. Принципы управления системами и процессами эксплуатации авиационной техники..... | 12 |
| 2. 2. Цели управления и показатели эффективности систем и процессов эксплуатации авиационной техники..... | 18 |
| 2.3. Системы и процессы эксплуатации авиационной техники как объект управления..... | 24 |
| 2.4. Функции и методы управления процессом технической эксплуатации летательных аппаратов..... | 27 |
| 2.5. Типовой процесс выработки и реализации управленческих решений | 28 |
| 3 Математические модели систем и процессов эксплуатации авиационной техники..... | 29 |
| 3.1 Построение модели систем и процессов эксплуатации авиационной техники..... | 29 |
| 3.2 Основные характеристики полумарковских моделей систем и процессов эксплуатации авиационной техники..... | 29 |
| 4 Требования к системе управления системами и процессами эксплуатации авиационной техники..... | 37 |
| 5 Анализ эффективности систем и процессов эксплуатации авиационной техники..... | 42 |

| | | |
|-----|---|----|
| 5.1 | Оценка показателей эффективности систем и процессов эксплуатации авиационной техники по данным эксплуатационных наблюдений..... | 42 |
| 5.2 | Дифференциальный анализ и прогнозирование показателей эффективности систем и процессов эксплуатации авиационной техники..... | 55 |
| 5.3 | Комплексный анализ и прогнозирование показателей эффективности систем и процессов эксплуатации авиационной техники..... | 68 |
| 5.4 | Анализ влияния организационных и технических факторов на эффективность процесса технической эксплуатации авиационной техники..... | 80 |
| 6 | Вопросы для самопроверки | 83 |
| | Литература..... | 85 |