

С. В. Далецкий, О. Я. Деркач, А. Н. Петров

# Эффективность технической эксплуатации самолетов гражданской авиации



С. В. ДАЛЕЦКИЙ, О. Я. ДЕРКАЧ, А. Н. ПЕТРОВ

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОЙ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ САМОЛЕТОВ  
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ



МОСКВА «ВОЗДУШНЫЙ ТРАНСПОРТ» 2002

УДК 629.735.017.083.7

ББК 39.5

Дал 15

Дер 36

Пет 29

**Эффективность технической эксплуатации самолетов гражданской авиации/Далецкий С. В., Деркач О. Я., Петров А. Н. — М.: Воздушный транспорт, 2002. — 216 с.**

В книге рассмотрены основные параметры применения и характеристики систем технического обслуживания и ремонта (ТОиР) самолетов гражданской авиации отечественного и зарубежного производства, эксплуатируемых в России и в зарубежных авиакомпаниях. Выбранные показатели самолетов ГА отражают эффективность их систем ТОиР в части обеспечения надежной и безопасной эксплуатации авиатехники при минимальных затратах труда, времени и материальных средств.

Книга основана на научных работах авторов и обобщении опыта эксплуатации отечественных и зарубежных самолетов ГА за 1986—1993 гг., в период интенсивного развития отечественной гражданской авиации. Привлечение большого фактического материала по технической эксплуатации самолетов ГА отечественного и зарубежного производства с приведением основных эксплуатационно-технических характеристик самолетов в период стабильного развития отечественной гражданской авиации позволяет прогнозировать и разрабатывать эффективные системы ТОиР как перспективных типов самолетов ГА, так и самолетов, находящихся длительное время в эксплуатации, применительно к изменившимся условиям экономической деятельности российских авиаперевозчиков.

Книга предназначена для широкого круга специалистов предприятий и организаций ГА и авиационной промышленности. Она будет полезна также преподавателям и студентам авиационных ВУЗов.

ISBN 5-88821-045-5

© Издательство «Воздушный транспорт», 2002

## ВВЕДЕНИЕ

Безопасность полетов в гражданской авиации всегда была в центре внимания. Однако развитие авиации за последние годы **по**-казало растущий интерес к системному рассмотрению всей **сово**-купности **эксплуатационно-технических** характеристик самолетов (включая безопасность полетов, надежность, контролепригодность и эксплуатационную технологичность) наравне с их **летно**-техническими характеристиками для достижения высокой безо-пасности, готовности и экономичности эксплуатации парка авиа-техники. Это можно проиллюстрировать классической оптимизационной цепочкой взаимосвязей. Действительно, любые новые функциональные или экономические требования усложня-ют конструкцию самолета и его систем. Они влияют также на частоту и последствия (степень опасности), а также стоимость устранения отказов.

Для поддержания должного уровня надежности и безопасности эксплуатации самолетов необходимо улучшать надежность их конструкции, систем и оборудования, вводить резервирование и специальные системы безопасности, что непосредственно влияет на стоимость эксплуатации (через стоимость компонентов, массу и т.д.) и обуславливает новые требования к системе технического обслуживания и ремонта самолетов гражданской авиации.

Новые требования усложняют конструкцию самолетов в **части** мер обеспечения эксплуатационной технологичности, вызывают необходимость внедрения нового или усовершенствованного **бор**-тового и наземного оборудования и наличия эффективной **про**-граммы эксплуатационного контроля для выявления скрытых отказов резервированных элементов систем и оборудования и пре-дупреждения **функциональных** отказов систем в целом. Все это существенно влияет на регулярность полетов и эксплуатационные затраты. Растут трудозатраты на **поиск** неисправностей в сложных резервированных системах, появляются ошибки авиационного персонала и **неподтвержденные** отказы. Наконец, это приводит к

росту стоимости жизненного цикла и к новым, более жестким требованиям к эксплуатационно-техническим характеристикам самолетов.

Таким образом, понятна важность комплексного подхода к оценке эффективности системы технического обслуживания и ремонта самолета. В отечественной авиапромышленности и гражданской авиации в период 60—80-х годов были отработаны математический аппарат и система организационного обеспечения работ по анализу эффективности систем ТОиР как вновь создаваемых так и эксплуатируемых самолетов и вертолетов. Основу этой системы составляют государственные (ГОСТ: В 28056, В 23743, В 20570, В 20436) и отраслевые (ОСТ; 54 30044, 54 30048, 54 30049, 54 30054) стандарты, а также межведомственные общие требования и методики обеспечения и оценки ЭТХ авиатехники, включая методы нормирования и оценки показателей систем ТОиР. Практические методы оценки эффективности систем ТОиР при испытаниях и сертификации, дополненные методиками оценки ЭТХ самолетов в эксплуатации, которые были разработаны под руководством и, при активном участии авторов данной книги, позволили к концу 80-х — началу 90-х годов получить достаточно полную картину эффективности «метем ТОиР самолетов» отечественной разработки.

Эти данные, основная часть которых приведена в книге, важны тем, что они отражают реальную эффективность систем ТОиР отечественных самолетов применительно к условиям их эксплуатации в отечественной гражданской авиации как единой отрасли. Сейчас показатели ЭТХ ряда самолетов могут отличаться в изменившихся условиях организации ТОиР и обеспечения эксплуатации самолетов независимыми авиакомпаниями. Однако приведенная реальная оценка систем ТОиР рассмотренных самолетов по-прежнему представляет интерес, поскольку сравнение отечественных самолетов Ту-134, Ту-154, Ил-62, Ил-86, Як-40, Як-42 и других с зарубежными аналогами требует приведения показателей систем ТОиР к единой «мерной базе» и сопоставимым условиям регулярной эксплуатации. Такие условия имели место для наших самолетов только в период стабильной эксплуатации до конца 80-х годов.

Особое значение имеет анализ стоимостных показателей ТОиР. Сейчас, в условиях инфляции и нестабильных уровней оплаты труда, крайне сложно оценить затраты на ТОиР самолетов и долю затрат на ТОиР в общей стоимости летного часа эксплуатации. Приведенные в книге данные интересны тем, что они отражают

оценки для того периода времени, когда имели место не только стабильные часовые ставки оплаты труда и расценки на материалы, но и определенные, мало изменяющиеся во времени курсы рубля СССР по отношению к иностранным валютам, например, к доллару США. Это позволяет с известной долей уверенности принять в приведенных стоимостных оценках **примерное** равенство рубля и доллара США. Такой упрощенный **прием** дает возможность получить сопоставимые с зарубежными **оценки** стоимостных показателей эффективности систем **ТОиР** отечественных самолетов сопоставимого с зарубежными аналогами класса.

Для новых типов отечественных самолетов такой упрощенный подход вряд ли применим, и еще предстоит найти и внедрить корректные методы оценки эффективности систем **ТОиР** и других показателей конкурентоспособности этих самолетов в сравнении с их зарубежными аналогами. Данная задача затрудняется не только условиями экономической нестабильности современной российской авиапромышленности, но и новыми лизинговыми схемами поставок авиатехники, **разными финансово-экономическими условиями** поставок зарубежных и отечественных воздушных судов российским **эксплуатантам** гражданской авиации.

Вместе с тем, в **предлагаемой** книге впервые обобщены и комплексно рассмотрены достаточно подробные оценки показателей эффективности систем **ТОиР** всех основных типов **отечественных** самолетов. Материалы, полученные авторами за годы их совместной деятельности в ЛИИ им. **М.М. Громова** и **ГосНИИ ГА**, могут послужить хорошей основой для дальнейшего развития современных **техничко-экономических** методов анализа и регулирования развития российской гражданской авиации в части эксплуатационно-технических характеристик самолетов.

# 1. ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ТОиР САМОЛЕТОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

В процессе жизненного цикла самолета от момента начала его **эксплуатации** и до списания не менее важное значение, чем летная эксплуатация, содержанием которой является собственно применение самолета по назначению, имеет его техническая эксплуатация, реализуемая в системе технического обслуживания и ремонта, которая определена как «совокупность взаимосвязанных средств, документации ТОиР и исполнителей, необходимых для поддержания качеств самолетов, входящих в эту систему» - ГОСТ 18322.

Техническое обслуживание и ремонт представляют собой комплексы работ, выполняемых на самолете и имеющих своей целью: непосредственную подготовку самолета к полетам и обеспечение его сохранности между полетами;

поддержание и восстановление в течение жизненного цикла надежности самолета и его систем в обеспечение безопасности полета и успешного выполнения задания;

обеспечение и поддержание заданного **уровня** долговечности **конструкции** самолета (т.е. ресурса до списания самолета в целом и его составных частей, а также бортовых систем).

Одним из важных факторов, определяющих уровень эксплуатационно-технических характеристик самолета, является надежность конструкции самолета и его функциональных систем, задача поддержания и восстановления которой в эксплуатации решается путем выполнения на самолете комплекса работ по ТОиР, включающего работы по контролю технического состояния, профилактические работы, направленные на поддержание работоспособного состояния конструкции и агрегатов самолета, и восстановительные работы, имеющие своей целью **восстановление** исправного или работоспособного состояния самолета и его **составных** частей, в том числе путем замены агрегатов и блоков Оборудования, вырабатывших свой ресурс.

Комплекс работ по ТОиР включает также значительный объем **зарядно-заправочных** работ, с помощью которых обеспечивается функционирование систем и составных частей путем возобновления на борту самолета запасов горючего, рабочих жидкостей и газов.

Применение самолета по назначению предполагает выполнение различного рода работ, связанных с посадкой и высадкой пассажиров, погрузкой и выгрузкой грузов и багажа, что требует значительных затрат времени и средств при подготовках самолета к полетам.

**Наконец**, основные работы по ТОиР сопровождаются работами по **обеспечению** сохранности самолета на стоянке в перерывах между полетами, а также зачастую значительным объемом дополнительных или вспомогательных работ, обеспечивающих саму **возможность** выполнения основных работ. Большую их часть **составляют** работы по обеспечению доступа к обслуживаемым элементам конструкции и блокам оборудования.

Работы по ТОиР выполняются авиационным техническим **персоналом**, использующим необходимые средства ТОиР. При этом персонал взаимодействует с конструкцией самолета и **его** составных частей в соответствии с указаниями эксплуатационной и ремонтной документации. Эти работы выполняются **в** различных сочетаниях, организационных формах или видах в зависимости от целевого назначения и периодичности выполнения работ.

Названные элементы: самолет, технический персонал, средства ТОиР, эксплуатационная и ремонтная **документация**, — взаимосвязаны и взаимодействуют в рамках образуемой ими системы ТОиР таким образом, чтобы обеспечить выполнение работ по ТОиР с высоким качеством при минимальных затратах труда, времени и средств. Необходимая эффективность системы ТОиР обеспечивается рациональным ее формированием, предполагающим анализ и взаимную увязку характеристик всех элементов, составляющих систему ТОиР.

Конструкция самолета и его составных частей как объектов ТОиР должна быть приспособлена к выполнению работ по **ТОиР**, т.е. иметь необходимый уровень эксплуатационной и **ремонтной технологичности**, достаточный для **обеспечения** доступности объектов ТОиР, удобства и **безошибочного выполнения** всех работ.

Инженерно-технический персонал, выполняющий работы по ТОиР самолета, должен иметь квалификацию и численность, обеспечивающие выполнение работ в заданное время, без **ошибок**, в полном объеме и с высоким качеством.

Средства, применяемые при выполнении работ ТОиР, по своим характеристикам и параметрам должны соответствовать характеристикам и параметрам не только самолета в целом, но и его составных частей (систем, агрегатов, **блоков** оборудования), стыкуемых со средствами ТОиР. Основными задачами средств ТОиР являются:

обеспечение работоспособности систем и агрегатов самолета **путем** заправки и зарядки их рабочими жидкостями и газами **согласно установленным** номенклатуре и техническим параметрам;

энергетическое обеспечение систем, самолета в процессе ТОиР и поддержание необходимых условий на борту при ТОиР и перед полетом;

обеспечение технологической возможности **выполнения** работ по ТОиР, включая **доступность** обслуживаемых **объектов** и удобство выполнения работ, механизацию и автоматизацию процессов обслуживания и восстановления в целях повышения производительности труда и качества выполнения работ;

обеспечение выполнения **монтажно-демонтажных** работ и транспортировки самолета в целом и его отдельных составных частей (агрегатов);

обеспечение сохранности самолета при перерывах в полетах и др.

Исходя из вышеизложенного, можно утверждать, что состав и характеристики средств ТОиР заметно влияют на эксплуатационное совершенство системы ТОиР самолета.

Наконец, уровень эксплуатационного совершенства системы ТОиР самолета в значительной мере зависит от качества эксплуатационной и ремонтной документации, которой руководствуется инженерно-технический персонал в процессе ТОиР самолета. Эта зависимость имеет разносторонний **характер**.

С одной стороны, **это** влияние чисто внешних факторов (формат и качество **издания**, **качество** написания, подробность и доступность изложения, достаточность и качество иллюстраций и прочее).

С другой стороны, это технологический уровень указаний и рекомендаций, содержащихся в ЭТД, соответствие рекомендуемых технологий конструктивным особенностям обслуживаемого объекта и современным требованиям в области обслуживания и восстановления авиационной техники.

Кроме **того** следует указать еще на одно важное **обстоятельство**, имеющее принципиальный характер. Речь идет о **методах** экс-

**платации**, закладываемых в основу построения системы **ТОиР** самолета. Методы **эксплуатации**, определяющие **состав**, объем, периодичность работ по **ТОиР** и, что еще важнее, - способ **установления** предельного состояния изделия и момент его замены (восстановления), в конце концов определяют экономическую **эффективность** **ТОиР** и, в значительной мере, всего процесса **эксплуатации** самолета.

Эти методы **эксплуатации** по общности принципов принято **разделять** на две группы:

, методы **эксплуатации** по **ресурсу**, когда пределы использования изделия и **правила** поддержания его надежности в **эксплуатации** ограничиваются и определяются наработкой (сроком службы);

**методы** **эксплуатации** по состоянию, когда пределы **использования** изделия и правила поддержания его **надежности** в **эксплуатации** определяются фактическим **состоянием** изделия и **ограничение** по наработке не **устанавливается**.

Сущность этих **методов**, недостатки ресурсной **эксплуатации** и преимущества **эксплуатации** по состоянию достаточно подробно изложены в научной литературе, нормативной и методической **документации** и не нуждаются в **дополнительных пояснениях**.

Важно **учитывать**, что в **рассматриваемый** в данной книге период времени (конец **80-х** годов) основным и практически единственным методом технической **эксплуатации** отечественных **самолетов** и их составных частей являлся метод технической **эксплуатации по ресурсу**, при котором на **самолет** в целом и на **все** его комплектующие изделия **устанавливались ресурсы** - назначенный (до списания), **до** первого ремонта и **межремонтный**, а также соответствующие им сроки **службы**.

Несмотря на, очевидные **недостатки** безопасного, но дорогого ресурсного метода **эксплуатации**, а **также** на то, что техническая **эксплуатация по состоянию** зарубежных **самолетов**, начиная с **60-70-х** годов **минувшего столетия** практически полностью вытеснила **эксплуатацию по ресурсу**, в силу объективных и **субъективных** причин в отечественной, ГА до сих пор ресурсная **эксплуатация** остается преобладающим методом **эксплуатации**. При этом не без участия авторов данной книги методология внедрения **эксплуатации до технического состоянию** практически полностью **была** разработана уже к середине 80-х годов, а конструктивные особенности **большинства** типов отечественных самолетов и особенности их ЭТХ не препятствуют **возможности применения методов экс-**

платации по состоянию. Проблемы широкомасштабного внедрения эксплуатации по состоянию в значительной мере связаны не столько с особенностями конструкции самолетов, сколько с кризисом авиационной отрасли России, когда условия продления ресурсов и сроков службы эксплуатирующихся типов самолетов зачастую используются как источник финансирования предприятий авиапромышленности и других заинтересованных организаций.

Для обеспечения высокой эффективности системы ТОиР и в целом высокого уровня ЭТХ создаваемого самолета соответствующие работы должны выполняться с ранних этапов проектирования, что, к сожалению, в отечественной практике далеко не всегда имело место. Решение этой задачи по принципу - «построим самолет, тогда и напишем, как его обслуживать», бытовавшему некогда в практике отечественных самолетостроителей, приводило зачастую ко множеству конструктивных, компоновочных и схемных недостатков, снижавших уровень ЭТ и РТ конструкции самолета, повышенной трудоемкости ТОиР и снижению эффективности эксплуатации самолета.

Только к концу 70-х - началу 80-х годов создатели авиационной техники по-настоящему повернулись лицом к проблемам обеспечения необходимого уровня ЭТХ, в том числе характеристик системы ТОиР, уровня ЭТ и РТ. Стали формироваться соответствующие разделы технических заданий и программы обеспечения ЭТ и РТ, более объемно и квалифицированно обрабатываться разделы «Система ТОиР» в технических предложениях и эскизных проектах самолетов.

Позднее для вновь создаваемых самолетов стали разрабатывать программы ТОиР, отражавшие переход на качественно новый уровень проектирования и формирования систем ТОиР с учетом реализации принципов эксплуатации по состоянию. Было методически обеспечено и реализовано на практике определение в процессе испытаний опытного самолета количественных характеристик систем ТОиР, дополненное развернутой качественной оценкой уровня ЭТ и РТ конструкции самолета и его составных частей, а также характеристик средств ТОиР.

Известно, что создание самолета включает несколько этапов (эскизное и рабочее проектирование, изготовление опытных экземпляров, заводские, государственные и эксплуатационные испытания), отличающихся достоверностью и полнотой исходных данных, глубиной проработки, полнотой и достоверностью полу-

ченных результатов. В связи с этим процесс формирования системы ТОиР самолета, также как и процесс создания самолета в целом, является не только оптимизационным, но и итерационным процессом, требующим постоянного анализа, сопоставления результатов, полученных на разных **этапах**, сравнения создаваемого самолета и его **отечественных** и зарубежных аналогов.

**Необходимость** постановки и решения **оценочной** и сравнительной задач потребовала разработки специальной **системы показателей**, использование которой позволяло бы **достоверно** определять характеристики системы ТОиР различных типов **самолетов**, оценивать эффективность (**в том числе и экономическую**) **процесса** технической эксплуатации самолета **в целом**, а также его систем, изделий и оборудования.

**Эффективность** системы ТОиР и уровень ЭТ и РТ самолетов **принято** характеризовать рядом показателей, **с использованием которых:**

разрабатывают и задают количественные требования и контролируют их выполнение при **создании** самолета;

**управляют уровнем** ЭТ и РТ в процессе проектирования;

сравнивают уровни ЭТ и РТ различных самолетов и их составных частей;

собирают информацию об уровне ЭТ и РТ и его изменении в процессе **эксплуатации**.

**Все** показатели, используемые для оценки эффективности системы **ТОиР** и уровня ЭТ и РТ, в той или иной степени связаны с трудоемкостью и продолжительностью ТОиР, материальными затратами и включают абсолютные, удельные и относительные показатели.

К абсолютным показателям обычно относят величины **трудоемкости**, продолжительности и стоимости **выполнения** отдельных работ и видов ТоиР, такие **как** средняя продолжительность выполнения **k-го оперативного** вида ТО (например, **продолжительность** транзитного ТО), средняя продолжительность выполнения **i-й плановой** работы по ТО (заправка топливом, замена двигателя и т.п.), **среднее время восстановления** (поиска и устранения отказов и повреждений).

**Последний показатель** характеризует среднюю продолжительность работ по поиску и устранению причин отказов и повреждений, выявленных в полете или при ТОиР. Среднее время восстановления  $t_B$  обычно определяют как сумму трех слагаемых:

$t_{\Pi}$  - среднего времени поиска причины (места) отказа,  $t_{\gamma}$  - среднего времени устранения причины отказа,  $t_{\Pi P}$  - среднего времени регулировки после восстановления

$$t_B = t_{\Pi} + t_{\gamma} + t_{\Pi.P.} \quad (1.1)$$

Из выражения (1.1) следует, что показатель  $t_B$  может быть отнесен к числу комплексных показателей, так как зависит и от характеристик надежности, и от уровня контролепригодности, и от уровня восстанавливаемости, и от уровня взаимозаменяемости.

К числу абсолютных показателей, помимо других, относятся также трудоемкость -  $T_p$ , продолжительность -  $t_p$ , стоимость -  $C_p$  и периодичность -  $\tau_p$  выполнения заводского ремонта или контрольно-восстановительных работ. Из приведенных примеров следует, что абсолютные показатели по существу являются характеристиками системы ТОиР, которые могут использоваться также в качестве исходных данных для расчета удельных и относительных показателей.

Относительные показатели, определяемые в виде дроби, характеризуют, как правило, долю трудоемкости основной (целевой) части работы в общей трудоемкости всей работы. Такими, например, являются следующие показатели.

Коэффициент доступности -  $k_D$ , определяемый как отношение средней трудоемкости  $T_{осн}$  основной работы ТО к суммарной трудоемкости всех видов работ ТО, включающей и трудоемкость дополнительных работ -  $T_{доп}$  по обеспечению доступа при ТО:

$$k_D = T_{осн} / (T_{осн} + T_{доп}). \quad (1.2)$$

Коэффициент легкосъемности -  $k_L$  и коэффициент взаимозаменяемости -  $k_{ВЗ}$ , структурно и по существу повторяющие коэффициент доступности, а также коэффициент загрузки -  $k_{ЗАГР}$  исполнителей работ при ТО данного вида или формы, характеризующий степень участия отдельных исполнителей в выполнении всего комплекса работ и определяемый как отношение средней суммарной продолжительности -  $t_{исп}$  работы отдельного исполнителя к общей продолжительности -  $t_{Лк}$  вида (формы) ТО или Р:

$$k_{ЗАГР} = t_{исп} / t_{Лк}. \quad (1.3)$$

Коэффициент загрузки характеризует приспособленность конструкции к совмещению работ по ТОиР и влияет на потребное число исполнителей

$$N_{исп} = T_{лк}/t_{лк} k_{загр}. \quad (1.4)$$

Основными показателями, достаточно полно и комплексно характеризующими эффективность системы ТОиР и уровень ЭТ и РТ, принято считать удельные показатели, такие как средняя суммарная удельная трудоемкость ТОиР -  $K_m$ , средняя суммарная удельная продолжительность ТОиР -  $K_p$ , средняя суммарная стоимость ТОиР -  $K_c$ . Все три показателя по существу представляют собой величину определенного вида затрат (труда, времени и средств), приходящихся на единицу выполненной работы, и рассчитываются как отношение суммарной величины затрат за некоторый период времени к суммарному налету (определяющему вместе с часовой производительностью объем выполненных перевозок) самолета за этот же период, а именно:

$$K_T = T_{сум}/T_{сум};$$

$$K_p = t_{сум} / T_{сум}; \quad (1.5)$$

$$K_c = C_{сум} / t_{сум}.$$

Удельные показатели обычно определяются как в целом для всего объема ТОиР, так и для отдельных его составляющих: оперативного ТО -  $K_{ТОп}$ , периодического ТО (регламентных работ) -  $K_{ТРР}$ , восстановления (поиска и устранения отказов и повреждений) -  $K_{ТВ}$ , работ по восстановлению ресурса (замене в процессе эксплуатации агрегатов и блоков оборудования, выработавших свой ресурс) -  $K_{ТВР}$ , заводского ремонта -  $K_{ТР}$  и контрольно-восстановительных работ -  $K_{ТКВР}$ , выполняемых вместо заводского ремонта при эксплуатации по состоянию.

Поскольку показатель  $K_c$  определяется главным образом затратами на заработную плату инженерно-технического персонала, пропорциональную трудоемкости ТОиР, и материальными затратами на приобретение новых изделий (запасных частей и расходных материалов), показатель  $K_c$  обычно представляют как сумму двух показателей:  $K_{сзп}$  - удельные затраты на заработную плату и

$K_{CM}$  - удельные затраты на приобретение запасных частей и расходных материалов.

Кроме рассмотренных показателей для комплексной оценки системы ТОиР самолета используются еще два показателя коэффициент готовности к вылету -  $K_{ГВ}$  и коэффициент исправности -  $K_{И}$  (или коэффициент планируемого применения -  $K_{ПП}$ ). Первый из них представляет собой вероятность того, что после проведения предполетного ТО самолет будет готов к вылету по расписанию. Второй - соответствует вероятности того, что в любой момент времени нахождения на земле самолет будет в исправном или работоспособном состоянии. Коэффициент планируемого применения отличается от коэффициента исправности тем, что при его определении не учитываются простои в неисправном состоянии, вызванные ожиданием восстановления.

Рассмотренные показатели, характеризующие эффективность системы ТОиР и уровень ЭТ и РТ, являются функциями значительного числа параметров, отражающих применение самолета по назначению. К числу таких параметров, прежде всего, относятся продолжительность полета -  $\tau_{П}$ , суточный налет -  $\tau_{CVI}$  (налет за летный день  $\tau_{ЛД}$ ) и суммарный годовой налет -  $\tau_{ГОД}$  каждого самолета. Средние значения этих параметров, обычно используемые при расчетах удельных показателей, связаны между собой следующими зависимостями:

$$\tau_{ГОД} = \tau_{CVI} n_{CVI} = \tau_{П} n_{П} \quad (1.6)$$

где  $n_{П}$  - число полетов, выполняемых в течение летного дня;

$n_{CVI}$  - число летных суток (летных дней) в году.

Среднее число летных суток в году  $n_{CVI}$  для удобства расчетов часто представляют как произведение среднего числа летных суток  $n_{CV}$  в оперативном цикле на среднее число оперативных циклов  $n_{ОЦ}$  в году (под оперативным циклом понимается календарный период, ограниченный двумя последовательно выполняемыми формами оперативного ТО наибольшей трудоемкости или базового ТО).

Увеличение продолжительности полета, суточного и годового налета, как правило, приводит к уменьшению величин удельных показателей, т.е. соответствует повышению эффективности системы ТОиР. К такому же эффекту приводит и увеличение числа по-

летов за летный день и увеличение числа летных дней в году или в оперативном цикле ТО.

На уровне удельных показателей благоприятно сказывается увеличение периодичности выполнения плановых видов периодического ТО (регламентных и ремонтных работ), поскольку это приводит к уменьшению числа выполнений этих видов работ и, как следствие, к уменьшению их суммарной трудоемкости и **продолжительности**.

Следует подчеркнуть, что наиболее эффективным путем улучшения характеристик системы **ТОиР** и всего **комплекса** ЭТХ самолета остается повышение надежности (в первую очередь, безотказности и долговечности) функциональных систем и **составных** частей самолета, а также повышение **эксплуатационной и** ремонтной технологичности, улучшающее доступность, удобство и **безошибочность** ТОиР.

Указанные подходы и методы оценки положены в **основу** выполненного в данной книге анализа ЭТХ самолетов и эффективности их технической эксплуатации.

Далее в табл. 1.1—1.7" приведены основные ЛТХ отечественных и зарубежных типов самолетов ГА. Эти характеристики отражают **обобщенный**, а не «рекламный» облик каждого типа (но не модификаций) самолета и двигателя. В зависимости от источника информации ЛТХ **могут** отличаться относительно этих характеристик, и возможно **сравнение** различных типов ВС по выбранному или заданному критерию эффективности.

### Основные летно-технические характеристики самолетов местных воздушных линий

Параметр	Значения параметров по типам самолетов											
	Як-40	Falcon-30	Ан-24РВ	Р-27-500	Л-410 УВП	Л-410 УВП-Э	Ан-28	ВЕЕСН С-99	Ил-114	АТР	АТР-72	АТР-42
Год внедрения	1968	1976	1971	1969	1980	1986	1986	1981	1992	1987	1988	1986
Взлетная масса, т	161	160	21,8	20,8	58	64	65	51	21,0	22,4	21,5	167
Масса снаряженного самолета, т	102	100	146	12,692	39	4,16	3,93	3,198	137	13,5		103
Количество пассажиров, чел	32	30	48	52	15	19	17	15	60	64	66	46
Коммерческая нагрузка, т												
максимальная,	2,7	34	5	55	1,3	1,7	1,8	1,5	60	67	75	49
при максимальном запасе топлива	1,9	1,9	32	42	0,74	0,9	1,03	0,815	1,5	3,778		1,7
Практическая дальность полета, км												
при максимальной коммерческой нагрузке,	820	1012	600	1239	315	485	515	607	400	729	1180	930
при максимальном запасе топлива	1280	3082	1680	2330	745	1350	1410	1454	4000	3062		5094
Крейсерская скорость, км/ч	510	704	450	449	365	380	337	365	500	485	500	460
Расход топлива, г/пкм, при условиях	78,9	48,0	38,8	32,0	65,0	56,0	68,0	42,8	190	20,0	162	21,5
коммерческая нагрузка, т,	2,72		4,32				1,49	1,31	54	5,76	58	4,10
дальность полета, км	1320		1550		590	835	945	960	1670	2345	2220	2100

Масса снаряженного самолета, т												
на 1 т коммерческой нагрузки, т/т;	3 75	2 96	2 92	2 29	3,05	2 43	2 24	2 07	2 28	2 02		2 11
на 1 пассажира, кг/пасс	319	335	304	244	266	219	230	213	228	212		209
Тип двигателя	ТРДД АИ-25	ТРДД ALF- 502	АИ-24 и РУ- 19-300	ТВД МК- 552- 7R	ТВД М- 601Д	ТВД М- 601Е	ТВД- 10Б	ТВД PWACР TGA 36	ТВД ТВ-7- 117	ТВД PW-124	ТВД PW-124	ТВД PW-120
Взлетная тяга двигателей, кгс	2x1500	2x2300	2x2550	2x2210 ЭЛС	2x760	2x810 ЭЛС	2x960 ЭЛС	2x715 ЭЛС	2x2500 ЭЛС	2x2400 ЭЛС	2x2400 ЭЛС	2x1800 ЭЛС

**Основные летно-технические характеристики самолетов  
ближних магистральных воздушных линий**

Параметр	Значения параметров по типам самолетов				
	Ту-134 (А)	Як-42	MD-81	В-737-500	А-320-100
Год внедрения	1967(1970)	1980	1981	1990	1988
Взлетная масса, т	47.0	57.0	63.5	52.4	66.0
Масса снаряженного самолета, т	29.0	33.5	35.6	31.0	37.9—38.2
Количество пассажиров, чел	76—80	120	172	132	164
Коммерческая нагрузка, т:					
максимальная;	7.7	13.5	18.00	15	18.3—18.8
при максимальном запасе топлива		5.3	10.3	5.3	14.9—15.5
Практическая дальность полета, км:					
при максимальной коммерческой нагрузке;	2000	1850	1700	1700—1800	2100—2500
при максимальном запасе топлива	3500	3850	4440	5600—5700	3500—3650
Крейсерская скорость, км/ч	850	740	840	776	840
Расход топлива, г/пкм, в условиях:		34.5	21.5	18.5	15.5—16.0
коммерческая нагрузка, т (95 кг на пассажира);		11.4	16.34	12.54	15.58
техническая дальность полета, км		2210	3130	3650	4800—4600
Масса снаряженного самолета, т:	3.77	2.31	1.98	1.99	2.06—2.03
на 1 т коммерческой нагрузки, т/т;	363	279	207	234	231—233
на 1 пассажира, кг/пасс.					
Тип двигателя	ТРД Д-30 2с	ТРДД Д-36	ТРДД JT8D-	ТРДД CFM-	ТРДД CFM-56-5
Число двигателей	2	3	2	2	2
Взлетная тяга двигателя, кг	6800	6500	8700	9070	11340
Диаметр фюзеляжа, м		3.8	3.7	3.8	3.95
Длина фюзеляжа, м		32.6	44.0	29.8	32.7

Таблица 1.3

## Основные характеристики дальних и средних магистральных пассажирских самолетов

Параметр	Значения параметров по типам самолетов														
	Ил-62М	В-707-320В	В-767-200 ER	Ил-96-300	А-340-200	MD-11	Ту-154В	Ту-154М	В-727-200	Ту-204	В-757-200	А-320-200	Ил-86	Л-1011	А-330-300
Год внедрения	1974	1962	1984	1992	1992	1990	1975	1986	1971	1992	1984	1988	1980	1972	1993
Взлетная масса, т	167	151.5	175.5	216	251.0	273.29	98	100	95	935	1088	73.5	210	195	208
Масса снаряженного самолета, т	73.4	67.1	838	117	118.6	126.7	54.1	55.0	46.7	56.5	58.2	398	1174	108.5	117.7
Количество пассажиров, чел.	168	177	211	300	349	377	164	180	163	214	218	168	350	330	375
Коммерческая нагрузка, т:															
максимальная;	230	245	34.2	400	50.4	55.5	180	180	186	21.0	263	20.7	420	388	47.8
при максимальном запасе топлива	60	15.1	184		24.4	30.3	4.75	6.0	15.3	13.0	17.4	146	2.0	14.5	17.5
Практическая дальность полета, км:															
при максимальной коммерческой нагрузке;	7760	7800	9200	7400	10300	9800	2840	3600	3900	2500	2480	3000	3300	4400	6000
при максимальном запасе топлива	10 280	10 670	13 250	11 000	14 800	13900	4400	6000	4990	4700	4600	5400	7080	7375	11 800
Крейсерская скорость, км/ч	830	855	850	860	870		850	850	862	850	850	850	870	890	870

Параметр	Значения параметров по типам самолетов														
	Ил-62М	В-707-320В	В-767-200 ER	Ил-96-300	А-340-200	MD-11	Ту-154В	Ту-154М	В-727-200	Ту-204	В-757-200	А-320-200	Ил-86	Л-1011	А-330-300
Расход топлива, г/пкм, в условиях:	47.4	33.3	24.6	23.0	20.0	21.0	39.0	32.5	34.4	19.0	17.2	16.9	34.1	27.0	16.5
коммерческая нагрузка, т	16.8	17.7	21.1	30.0	34.9	37.7	15.58	17.1	15.5	19.4	20.71	15.96	35.0	33.0	37.5
техническая дальность полета, км	9600	11 300	13 610	9680		14 000	4430	4810	5300	4330		6250	4750	5990	8900
Масса снаряженного самолета, т:															
на 1 т коммерческой нагрузки, т/т;	319	2.74	2.45	2.92	2.35	226	3.0	3.05	2.51	2.69	221	1.92	2.79	2.8	2.42
на 1 пассажира, кг/пасс.	437	379	397	369	340	334	330	305	287	264	267	237	279	329	309
Тип двигателя	ТРДД Д30КУ	ТРДД JT3D-7	ТРДД JT9D-7R4E CF6-80C2	ТРДД ПС-90	ТРД CFM-56-5C2	ТРДД PW-4360	ТРДД НК-8-2У	ТРДД Д30КУ-154	ТРДД JT8D-17	ТРДД ПС-90А	ТРДД PW-2037	ТРДД CFM-56-5	ТРДД НК-86	ТРДД RB-211-22В	ТРДД CF6-80C2, PW-4168
Взлетная тяга двигателя, кгс	4х ×11 000	4х ×8620	2х ×26 200	4х ×16 000	4х ×13 880	3х ×27 200	3х ×10 500	3х ×11 000	3х ×7260	2х ×16 000	2х ×17 340	2х ×11 340	4х ×13 000	3х ×19 000	2х ×30 000

**Основные характеристики отечественных турбореактивных  
двигателей пассажирских самолетов**

Параметр, размерность	Значения параметров по типам авиационных двигателей								
	Аи-25	Д-30-2с	Д-36	НК-8-2У	НК-8-4	Д-30КУ	НК-86	ПС-90А	Д-436Т
Типы самолетов, на которых установлен двигатель	Як-40	Ту-ША	Як-42	Ту-154	Ил-62	Ил-62М	Ил-86	Ил-96-300 Ту-204	Ту-334
Год начала эксплуатации (сертификации)	1968	1963	1977	1973	1968	1972	1980	1992	1993
Взлетный режим (Н=0; М=0)									
Мощность, кгс	1500	6800	6400	10500	10500	11000	13000	16 000	7500
Расход воздуха, кг/с		127	253	228	222	268	295	268	
Удельный расход топлива, кг/кгс • ч		0,620	0,375	0,590	0,600	0,498	0,540	0,350	0,385
Крейсерский режим									
Мощность, кгс		1600	1500	2200	2750	2750	3200	3500	1900
Удельный расход топлива, кг/кгс • ч		0,800	0,680	0,800	0,810	0,700	0,745	0,580	0,680
Удельная масса двигателя, кг/кгс		0,228	0,172	0,200	0,209	0,209	0,188	0,175	0,170

**Основные характеристики авиационных турбовинтовых двигателей  
отечественных и зарубежных пассажирских самолетов**

Параметр, размерность	Значения параметров по типам авиационных двигателей						
	ТВД-10Б	Ан-24	М-601Д	ТВ-7-117	PWC PTGA-66	PW-120	PW-124
Типы самолетов, на которых установлен двигатель	Ан-28	Ан-24 РВ	Л-410 УВП	Ил-114	Beech-1900	ATR-42-200	ATR-72
Год начала эксплуатации (сертификации)	1986	1971	1980	1992	1981	1986	1988
Взлетный режим (Н=0; М=0)							
Мощность, кгс	960	2250	760	2500			
Удельный расход топлива, кг/кгс • ч					0,267	0,220	0,210
Крейсерский режим							
Мощность, э.л.с.					850	2000	2400
Удельный расход топлива, кг/э.л.с • ч					0,292	0,220	0,213
Удельная масса двигателя, кг/кгс					0,220	0,208	0,200

Таблица 1.6

**Основные характеристики зарубежных турбореактивных двигателей пассажирских самолетов**

Параметр, размерность	Значения параметров по типам авиационных двигателей								
	JT8D-209	CFM-56-3	RB-211-06	PW-2037	RB-211-5248	JT-9D	CF6-50J	CF6-80C3	PW-4056
Типы самолетов, на которых установлен двигатель	DC-9 (-55) Супер-80 B-737	DC-8 A-300 B-737	DC-10 L-1011	B-727 B-757	B-747 L-1011	B-747 L-1011 DC-10	B-747 A-700B DC-10-30	B-747 B-767 A-300 A-310 DC-10	B-747 B-767 A-300 A-310
Год начала эксплуатации (сертификации)	1977	1983	1970	1984	1977	1983	1975	1985	1986
Взлетный режим (H=0; M=0)									
Тяга, кгс	8390	9060	15 090	16800	22 680	25 425	24 050	25 400	25 400
Расход воздуха, кг/с	240	300	550	540	625			795	770
Удельный расход топлива, кг/кгс·ч	0,500	0,370	0,332	0,320	0,350	0,348	0,430	0,335	0,320
Крейсерский режим									
Тяга, кгс			3680	30Ю	4975		5490		
Удельный расход топлива, кг/кгс·ч		0,630	0,623	0,563	0,656		0,640	0,583	0,591
Удельная масса двигателя, кг/кгс	0,230	0,210	0,189	0,178	0,176	0,169	0,159	0,160	0,167

Следует отметить, что широко применяемая зарубежными самолетостроительными фирмами практика глубокой последовательной модификации самолетов затрудняет сравнительный анализ отечественных и зарубежных типов ВС. В табл. 1.7 приведены некоторые характеристики модификаций самолета В-737, которые включают не только внутренние изменения систем и оборудования, что практикуется и отечественными разработчиками и

изготовителями, но и изменение основной конструкции планера и силовой установки. Так, для разных модификаций В-737 взлетная масса самолета составляет от 54,4 до 70,55 т, вместимость от 120 до 184 пассажиров, длина самолета от 30,48 до 39,5 м, размах крыла от 28,35 до 34,4 м и т.д., с применением нескольких типов двигателей, поэтому начальная В-737-200 и конечная В-737-800 модификации этого самолета являются фактически различными типами самолетов.

В табл. 1.8 приведены обобщенные характеристики режимов ТОиР основных типов отечественных самолетов ГА, включающие ресурсы и структуру ТО. К табл. 1.8 необходимы следующие пояснения.

Для анализа ЭТХ отечественных типов самолетов ГА введены следующие понятия ресурсов: расчетный, фактический и индивидуальный - назначенные и межремонтные соответственно.

Структура ТО, приведенная в табл. 1.8, также разделена на заданную и фактическую. Заданная структура ТО - это та, которая была определена при проектировании самолета, а фактическая - та, которая действует в настоящее время. Так, типовая структура оперативного ТО включает (согласно ОСТ 54 300054-88) следующие формы:

А1 (Ат) - транзитное ТО;

А2 (Аб) - послеполетное ТО, выполняемое в базовом аэропорту;

Б - конечная форма оперативного цикла, выполняемая каждые 20—30 дней эксплуатации (базовое ТО), а также вспомогательные работы:

ВС - по встрече;

ОС - обеспечение стоянки;

ОВ - обеспечение вылета.

Периодическое ТО определено в табл. 1.8 индексами:

П -- пирамидальное, т.е. когда каждая последующая форма включает работы всех предыдущих форм в цикле из 3 - 4 форм, например: Ф1 - 300, Ф2 - 900 и Ф3 - 1800;

Ф - фазовое, т.е. когда определена только базовая форма периодического ТО с установленной периодичностью и далее по наработке самолета к этой форме добавляются дополнительные работы в пределах цикла, равного межремонтному или назначенному ресурсам самолета.

## Некоторые характеристики модификаций самолетов В-737

Параметр	Модификации В-737													
	200		300		400		500		600		700		800	
	В	HGW	В	HGW	В	HGW	В	HGW	В	HGW	В	HGW	В	HGW
Максимальная взлетная масса, т	54,4	58,3	56,47	63,8	63,28	68,04	52,39	60,55	56,24	65,09	58,96	69,4	70,53	70,55
Максимальная посадочная масса, т	48,5		51,71	52,89	54,88	56,24	49,89		54,659		58,061		65,318	
Масса снаряженного самолета, т	27,3	27,6												
Масса топлива, макс., т	21,04		20,1	23,89	20,1	23,89	20,1	23,89	26,03		26,03		26,03	
Количество пассажиров, чел	120		149		168		132		130		149		184	
Тип двигателя:														
базовый	JT8D-15A		CFM56-3C-1				CFM56-3C-1		CFM56-7B18		CFM56-7B20		CFM56-7B24	
оптимальный	JT8D-15A		CFM56-3-B1				CFM56-3-B1		CFM56-7B22		CFM56-7B24		CFM56-7B26	
			CFM56-3-B2		CFM56-3C									
Размеры:														
размах крыла, м	28,35		28,9		28,9		28,9		34,4		34,4		34,4	
длина самолета, м	30,48		33,4		36,4		31,0		31,2		33,6		39,5	
высота самолета, м	11,28		11,1		11,1		11,1		12,5		12,5		12,5	
колея шасси, м	5,23		5,2		5,2		5,2		5,7		5,7		5,7	

В - базовый вариант конструкции.

HGW - вариант с увеличенной взлетной массой.

Характеристики режимов ТОиР отечественных типов самолетов

Тип самолета	Назначенный ресурс (срок службы) л. ч/пос. (годы)			Межремонтный ресурс (срок службы) л. ч/пос. (годы)			Структура ТО			
	НРР	НРФ	НРИ	МРР	МРФ	МРИ	Оперативное		Периодическое	
							задано	фактически	задано	фактически
Ил-86	$\frac{30000}{10000}$ (20)	$\frac{30000}{10000}$ (20)	$\frac{30000}{10000}$ (20)	$\frac{10000}{40000}$ (5)	—	—	Не установлена	Типовая	П 300, 900, 1800	П 333, 1000, 2000
Ил-76Т	$\frac{30000}{10000}$ (20)	$\frac{20000}{7000}$ (20)	Свыше 20 лет	$\frac{5000}{2500}$ (5)	$\frac{5000}{2500}$ (5)	$\frac{5000}{2500}$ (10)	Не установлена	Типовая	П 200, 600, 1200	П 333, 1000, 2000
Ил-62(М)	$\frac{30000}{7000}$ (20)	$\frac{35000}{7500}$ (23)	$\frac{45000}{8500}$ (25)	$\frac{6000}{2000}$ (5)	$\frac{10000}{2700}$ (6)	$\frac{12000}{2700}$ (12)	Не установлена	Типовая	П 200, 600, 1200	П 300, 900, 1800, 3600
Ил-18	$\frac{25000}{7000}$ (20)	$\frac{40000}{18000}$ (30)	Свыше 30 лет	$\frac{4000}{2000}$ (5)	$\frac{5000}{2500}$ (3)	Свыше 3 лет	Не установлена	Типовая	П 100, 300, 900	П 300, 900, 1800
Ил-96-300	$\frac{60000}{15000}$ (20)	$\frac{24000}{6000}$ (20)	—	Не установлен	—	—	Типовая	Типовая	Ф 300	П 500, 1500, 3000, 12000
Ил-114	$\frac{45000}{45000}$ (20)	$\frac{6000}{6000}$ (5)	—	Не установлен	—	—	Типовая	Типовая	Ф 300	П 500, 3000, 6000

Ил-103	$\frac{14000}{20000}$ (15)	$\frac{14000}{20000}$ (15)	—	$\frac{5000}{5000}$ (5)	$\frac{5000}{5000}$ (5)	—	Типовая	Типовая	П 50, 150, 300	П 50, 100, 300
Ту-154Б	$\frac{30000}{20000}$ (20)	$\frac{37500}{16000}$ (21)	$\frac{45000}{18000}$ (25)	$\frac{6000}{4000}$ (5)	$\frac{10000}{4000}$ (6)	$\frac{15000}{6000}$ (12)	Не установлена	Типовая	П 200, 600, 1200	П 300, 900, 1800 П 600, 1200. 1 год
Ту-154М	$\frac{30000}{15000}$ (20)	$\frac{30000}{15000}$ (20)	—	$\frac{6000}{4000}$ (5)	$\frac{10000}{4000}$ (6)	$\frac{15000}{6000}$ (12)	Не установлена	Типовая	П 200, 600, 1200	П 300, 900, 1800 П 600, 1200. 1 год
Ту-134А	$\frac{25000}{25000}$ (20)	$\frac{40000}{25000}$ (25)	$\frac{45000}{30000}$ (30)	$\frac{4000}{4000}$ (5)	$\frac{6000}{4000}$ (4,5)	До 8,5 лет	Не установлена	Типовая	П 200, 600, 1200	П 333, 1000, 2000
Ту-204	$\frac{45000}{30000}$ (20)	$\frac{5000}{2000}$ (5)	—	Не установлен	—	—	Типовая	Типовая	Ф 500	Ф 300
Як-42	$\frac{30000}{20000}$ (20)	$\frac{20000}{14000}$ (20)	—	Не установлен	—	—	Типовая	Типовая	П 300, 900, 1800	Ф 600
Як-40	$\frac{25000}{25000}$ (20)	$\frac{32000}{28000}$ (25)	$\frac{38000}{35000}$ (35)	$\frac{4000}{4000}$ (5)	$\frac{6000}{6000}$ (6)	$\frac{9000}{8000}$ (14)	Не установлена	Типовая	П 200, 600, 1200	Ф 600

Тип самолета	Назначенный ресурс (срок службы) л. ч/пос. (годы)			Межремонтный ресурс (срок службы) л. ч/пос. (годы)			Структура ТО			
	НРР	НРФ	НРИ	МРР	МРФ	МРИ	Оперативное		Периодическое	
							задано	фактически	задано	фактически
Ан-124-100		8000 —(15) 2000	—	Не установлен	—	—	Типовая	Типовая	Не установлена	Ф 300
Ан-12	20000 —(20) 10000	35000 —(30) 13500	43000 —(40) 16000	4000 —(4) 2000	4000 —(4) 2000	8000 —(15) 2500	Не установлена	Типовая	Не установлена	Ф 333
Ан-24	20000 —(20) 20000	54000 —(30) 36000	60000 —(35) 42000	60000 —(35) 42000	5000 —(5) 5000	8000 —(10) 6000	Не установлена	Типовая	Не установлена	Ф 300 или Ф 600
Ан-26	20000 —(20) 10000	30000 —(20) 16000	36000 —(30) 20000	36000 —(30) 20000	6000 —(5) 4000	8000 —(14) 5000	Не установлена	Типовая	П 200, 600, 1200	Ф 300 или Ф 500
Ан-32	16000 —(15) 10000	16000 —(15) 8000	—	4000 —(4) 2000	4000 —(5) 3000	7000 —(12) 6000	Не установлена	Типовая	П 200, 600	Ф 450

Ан-74	30000 —(20) 15000	10000 —(20) 5000	40000 —(20) 20000	Не установ- лен	—	—	Типовая	Типовая	Ф 300	Ф 300
Ан-72	30000 —(20) 30000	5000 —(20) 5000	15000 —(20) 15000	Не установ- лен	—	—	Типовая	Типовая	Ф 300	Ф 300

Ресурсы: НРР и МРР - назначенный и межремонтный расчетные ресурсы соответственно.  
 НРФ и МРФ - назначенный и межремонтный фактические ресурсы соответственно.  
 НРИ и МРИ - назначенный и межремонтный индивидуальные ресурсы соответственно.

Формы ТО: П - пирамидное построение структуры форм;  
 Ф - фазовое построение структуры форм.

Табл. 1.8 является исходной базой для последующего анализа характеристик ТООР отечественных самолетов.

Для общего представления об ЭТХ и конкурентоспособности эксплуатируемых ВС ГА в табл. 1.9 и 1.10 приведены сведения о среднем уровне летных и эксплуатационных характеристик основных типов ВС, рассмотрены характеристики, которые наиболее тесно связаны с системой ТООР ВС.

**Таблица 1.9**  
**Основные характеристики гражданских воздушных судов**

Класс и тип ВС		Взлетная масса, т	Стоимость, млн дол.	Удельная стоимость, дол. на 1 ч			Средний годовой налет ВС, ч	Число пассажиро-мест	Ресурс до списания, ч
				ВС	ПЭР	ТООР			
ДАЛЬНЕМАГИСТРАЛЬНЫЕ	Ил-96-300	До 250	60,0	1000	7471*	1270	2570 (до 3700)	До 263	60 000
	В-747-400	До 397	146,2	2437	6821	1176	4818	378	60 000
	В-777-200	До 298	131,4	2190	3903	686	4997	До 440	60 000
	MD-11	До 287	105,4	1757	4555	805	4953	377	60 000
	DC-10-30	До 268	17,0	850	4903	1419	4000	380	Ост. 20 000
	A-340	251						350	60 000
	Ил-62(М)	167	13,0	371	3273	742	2130 (до 3496)	168	35 000
	В-767-300ER	До 187	71,6	1193	3609 (7639*)	581	4830	До 290	60 000
A-310-300	164	76,0	1270	7894*	800	2520	До 220	60 000	
СРЕДНЕМАГИСТРАЛЬНЫЕ	Ил-86	215	37,5	1250	8221	1586	1540 (до 2909)	350	30 000
	A-300-600R	172	48,6	1620	4513	1157	3440	344	Ост. 30 000
	Ту-204-200	111	25,0	583	5003	801	3500 (расчетный)	211	60 000
	В-757-200	До 116	37,1	618	2562	550	4180	218	60 000
	Ту-154(М)	100	8,65	288	3274	765	1790 (до 2727)	180	30 000
	В-727-200	До 95	6,0	300	2487	812	3119	До 189	Ост. 20 000
	A-320	77	28,1	468	2151	459	4171	179	60 000
	Як-42	54	7,1	237	2356	488	1630 (до 2043)	120	30 000
	MD-80	До 73	21,5	430	2050	463	3775	172	50 000
	A-319	До 70	37,5	625				До 152	60 000
	Ту-134	47	3,6	121	1804	360	1670 (до 2800)	84	30 000
В-737-500	До 61	22,6	377	1772	625	3810	132	60 000	
БЛИЗНЕМАГИСТРАЛЬНЫЕ	Ил-114	22,7	5,0	167	800	128	2500 (расчетный)	64	30 000
	Fokker-27-600	20,4	6,5	108			1075	До 56	60 000
	ATR-72	20,0						74	60 000
	Ан-24	21,2	1,2	28,0	974	168	1400	До 52	45 000
	ATR-42-500	До 18,6	9,8	163	976	304	2840	46	60 000
	Як-40	16,0	1,3	45	972	159	1120	До 32	30 000
	Fokker 28	31,5	12,0	240		185	2040	До 65	50 000

**Примечания:** 1. Стоимостные данные по всем американским самолетам и самолетам А-300, А-320 и АТР-42 приведены по результатам их эксплуатации в США.

2. Стоимости самолетов определены с учетом типовых схем амортизации и уровня инфляции 3 % в год. Для зарубежных типов приняты оценки журнала «Air Transport World».

\* Данные по результатам эксплуатации в Аэрофлоте.

Таблица 1.10

## Основные характеристики гражданских воздушных судов

Класс и тип ВС		Дальность полета при $M_{ком\ max}$ ( $M_{топ\ max}$ ), км	Крейсерская скорость, км/ч	Регулярность полетов ( $K^*_{В\ 1000}$ )	Безопасность полетов ( $K^*_{100\ 000}$ )	Топливная эффективность, г/ткм	Уровень шума (вибраций) в салоне, дБ(г)	Эмиссия двигателей за 1 стандартный цикл, CO/CH/NO г/кН
ДАЛЬНЕМАГИСТРАЛЬНЫЕ	Ил-96-300	7400(11 000)	850	36	0	40,0	72-80	16,7/1,4/86
	В-747-400	10540(13890)	905	19	0,012	42,2 <sup>В-747-200</sup>		45/15/60
	В-777-200	11 095	915	20	0	33,1		33/3,0/58
	MD-11	9800(13 900)	890	19	0	37,8		45/0,5/60
	DC-10-30	7815(10 140)	890	28	0,051		84 (0,03)	
	А-340	10300(14800)	870		0	33,2 <sup>А-340-200</sup>		58/11,6/59
	Ил-62(М)	7780(10280)	830	15*	0,09	60,1 <sup>Ил-62М</sup>	83	228/50/37,5
СРЕДНЕМАГИСТРАЛЬНЫЕ	В-767-300ER	9075(13300)	850	17	0,006	37,8		33/3,4/10,7
	А-310-300	До 11 120	870	15	0,014	43,3 <sup>А-310-200</sup>	79-85	20/0,5/60
	Ил-86	3300(7080)	870	18	0	61,8	77-89	100/23,2/30
	А-300-600R	5380(8300)	860	22	0,050	49,5 <sup>А-300B4</sup>		45/0,5/60
	Ту-204-200	4750(6200)	830		0	44,4	74-82	16,7/1,4786
	В-757-200	4800(8520)	850	19	0,001	44,2		40/4,0/20,3
	Ту-154(М)	3600(6000)	850	12	0,10	56,8 <sup>Ту-154(М)</sup>	80-85	193/34/40
	В-727-200	3900(4990)	860	21	0,044			
	А-320	3000(5400)	850	34	0,087	44,0		34/4,0/20,3
	Як-42	900(3000)	750	13	0,31	68,7	79-82	58/13/60
	MD-80	4387(5828)	840	22	0,034		92 <sup>DC-9</sup>	
	А-319	До 5550	865					30,6/0,4/56
	Ту-134	1890(3020)	850	8*	0,12	70,4	76-84	102/21/75,5
БЛИЗКЕМАГИСТРАЛЬНЫЕ	В-737-500	2519(6389)	780	27	0,021	53,6 <sup>В-737-400</sup>		76/9,5/38,6
	Ил-114	1000(4800)	500		1 АП при ЛИ			
	Fokker 27-600	1580(2690)	430					
	ATR-72	1580(4800)	460					
	Ан-24	699(2930)	450	2*	0,11			
	ATR-42-500	2420(5570)	510	24				
	Як-40	820(1280)	550	1*	0,17	117,6		
Fokker 28	1670(3980)	790	20	0,214				

**Примечание.** Данные по безопасности полетов зарубежных самолетов приведены по материалам фирмы «Boeing» (Paul Russel).

\* Данные только для задержек по КПН и по неустановленным причинам.

## **2. ПАРАМЕТРЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ САМОЛЕТОВ**

Летная эксплуатация самолетов, т.е. использование самолетов по назначению, определяет все работы по поддержанию их летной годности и, соответственно, эффективность технической эксплуатации самолетов.

К числу важнейших и взаимосвязанных характеристик летной эксплуатации самолетов относятся ресурсы (сроки службы) и непосредственно параметры полетов. Ресурсы (сроки службы) определяют продолжительность безопасной эксплуатации самолетов и, соответственно, долю стоимости каждого самолета, приходящейся на единицу его использования по назначению, что в значительной степени характеризует экономическую эффективность применения самолетов каждого типа как транспортного средства. Параметры полетов как статистические характеристики использования самолетов по назначению определяют уровень внешних воздействий на конструкцию самолета в полете и продолжительность безопасного использования самолета по назначению, т.е. ресурсы и сроки службы, а также все мероприятия по поддержанию и восстановлению летной годности самолетов в системе их технической эксплуатации и ремонта.

### **2.1. РЕСУРСЫ И СРОКИ СЛУЖБЫ ИЗДЕЛИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ**

Для авиационной техники ГА в целях обеспечения безопасности, надежности и эффективности эксплуатации могут задаваться:

- ресурс (срок службы) до списания (технический);
- назначенный ресурс (срок службы);
- гарантийный ресурс (срок службы);
- межремонтный (до первого ремонта) ресурс (срок службы).

Далее при упоминании ресурса изделия аналогичные требования и положения распространяются и на срок его службы.

Указанные виды ресурсов для различных изделий могут определяться и (или) устанавливаться в комплексе, отдельно или не устанавливаться совсем при эксплуатации по техническому состоянию.

Ресурс до списания задается для каждого типа самолета в целом и основных комплектующих изделий из требований экономичности при условии обеспечения безопасности эксплуатации.

Ресурс до списания у отечественных самолетов обычно может устанавливаться и обрабатываться поэтапно. При поэтапной обработке ресурса до списания могут устанавливаться:

начальный назначенный ресурс;

назначенный ресурс.

Порядок обеспечения и обработки в эксплуатации ресурса до списания определяется совместно разработчиком и заказчиком (эксплуатантом), отражается в технических условиях (ТУ) на самолет и комплектующие изделия и устанавливается договором на поставку самолетов.

Гарантийный ресурс самолета (изделия) определяет период действия гарантийных обязательств изготовителя (исполнителя работ) и должен обеспечивать соответствие качества поставляемой продукции (проводимых работ) установленным в договоре на поставку (выполнение работ) или эксплуатационной документации требованиям. В пределах гарантийного ресурса, как правило, должны устраняться без дополнительной оплаты эксплуатантом отказы изделия или заменяться некачественные изделия (повторно выполняться работы) при соблюдении эксплуатантом (заказчиком) условий эксплуатации, хранения, транспортирования и установки изделия, определенных ТУ на самолет и комплектующие изделия — **КИ** (договором на выполнение работ).

Гарантийные ресурсы (сроки службы), устанавливаемые изготовителями самолета и **КИ**, как правило, охватывают заданный период наработки (календарный срок) с начала эксплуатации самолета в целом и **КИ**.

Срок хранения изделия с момента изготовления до начала эксплуатации может входить в гарантийный срок службы, что должно быть отражено в эксплуатационной документации на изделие и ТУ на самолет в целом.

Гарантийные ресурсы, устанавливаемые исполнителем восстановительных работ для самолета и основных изделий, охватывают заданный период эксплуатации самолета в целом и (или) комплектующих изделий после выполнения этих работ.

Межремонтный ресурс самолета (КИ) определяется условиями обеспечения надежности и экономичности эксплуатации парка самолетов (КИ) данного типа и устанавливает ограничение по их применению, независимо от фактического технического состояния каждого экземпляра самолета (КИ).

Первый ремонт выполняется при наработке изделий с начала эксплуатации, равной ресурсу до первого ремонта, далее могут устанавливаться межремонтные ресурсы, обеспечивающие отработку ресурса до списания.

Межремонтный (до первого ремонта) ресурс может устанавливаться для самолета в целом и отдельных его КИ. Величина межремонтных ресурсов определяется разработчиками самолета и изделий из условий обеспечения отработки ресурса до списания каждым экземпляром самолета или изделия или устанавливается эксплуатантом и исполнителем работ (ремонта), исходя из технического состояния изделий, технологий и организации выполнения работ при условии обеспечения безопасности, экономичности и эффективности эксплуатации данного типа изделий и (или) самолета в целом.

Общие принципы формирования системы ресурсов изделий авиационной техники гражданской авиации можно сформулировать следующим образом.

Ресурс до списания является технико-экономической характеристикой совершенства изделия авиационной техники и представляет ожидаемый предел экономически эффективного использования изделия по назначению в реальных условиях эксплуатации, который технически заложен в конструкцию при проектировании и может быть достигнут и даже превзойден в процессе эксплуатации после проведения комплекса работ по обеспечению безопасности и надежности эксплуатации, подтверждения соответствия установленным требованиям и определения условий обеспечения и выполнения этих требований. Поэтому ресурс до списания задается, а условия его подтверждения (или не подтверждения) регулируются экономическими и техническими взаимоотношениями разработчика, изготовителя и эксплуатанта, устанавливаемыми на основе договорных отношений в соответствии с действующими законами и нормативными документами.

Обеспечение и подтверждение части заданного ресурса до списания реализуется, при необходимости, установлением назначенного (начального назначенного) ресурса. Практически может быть

подтверждена как возможность эксплуатации изделия сверх первоначально заданного ресурса до списания, так и невозможность его достижения.

В перечень условий и ограничений, обеспечивающих возможность эксплуатации изделия в пределах назначенного ресурса, как правило, включаются контрольно-восстановительные работы (КВР) по контролю технического состояния, ремонту или замене элементов (деталей, узлов, блоков) изделия, которые должны быть выполнены на различных этапах обработки назначенного ресурса. По общности технологических или организационных условий выполнения эти работы группируются в комплексы, выполняемые через заданные интервалы наработки самолета в целом, часто с использованием специального оснащения, оборудования, документации и специалистов. При этом может быть организационно и экономически целесообразным выполнять КВР на специализированных предприятиях, которые качественно их производят с оказанием дополнительных услуг (таких, как восстановление внешнего вида, соответствие нормам технических параметров и др.), не связанных непосредственно с безопасностью эксплуатации самолета в целом. В этом случае периодичность выполнения КВР может устанавливаться как межремонтный ресурс для самолета в целом и отдельных его изделий, что закрепляет организационное оформление условий выполнения комплексов КВР на специализированном предприятии или в подразделении эксплуатанта. Таким образом, межремонтный ресурс устанавливает не технические, а организационные формы выполнения условий обработки ресурса до списания (назначенного ресурса), связанные с восстановлением технического состояния изделия авиационной техники, и не является обязательным к назначению.

Ресурс до списания (назначенный) также может не устанавливаться для самолета в целом в соответствии с экономической целесообразностью восстановления летной годности самолета, условиями ее поддержания в рассматриваемом интервале (этапе) эксплуатации каждого экземпляра самолета данного типа.

Условия обеспечения летной годности самолета устанавливает разработчик и реализует эксплуатант, который определяет для себя экономическую целесообразность проведения работ по обеспечению летной годности самолета при обработке назначенного ресурса. Эксплуатант может по экономическим соображениям прекратить дальнейшую эксплуатацию каждого конкретного экземп-

ляра самолета, хотя технические качества данного типа самолетов в целом обеспечивают их дальнейшую эксплуатацию на уровне установленных требований летной годности, но с большими затратами средств, труда или времени.

Указанная система ресурсов, как правило, распространяется только на планер самолетов, поэтому рассмотрим условия установления ресурсов планеру более подробно.

Установление ресурсов планеру самолета базируется на последовательной модели надежности, характеризующейся постепенным накоплением и развитием неисправностей в зависимости от наработки, причем эта зависимость может быть выражена функционально или стохастически. Ремонт планера восстанавливает его летную годность при отработке назначенного ресурса, а летная годность планера определяет его способность сохранять аэродинамические качества и выдерживать без повреждения нагрузки, действующие на самолет в процессе эксплуатации в реальных условиях. Техническое состояние и ресурсы планера самолета определяют такие виды повреждений, как трещины, деформации и разрушения от разовых и повторяющихся нагрузок, механический износ и ослабление соединений. Развитие коррозии, потеря физических свойств материалов и разрушение лакокрасочных покрытий определяют срок службы элементов конструкции планера.

При техническом обслуживании и ремонте планера самолета выполняются такие виды целевых работ, как контроль состояния и восстановление надежности. Целевые работы по контролю состояния обеспечивают определение годности планера и его элементов для дальнейшей эксплуатации, однако их выполнение не изменяет технического состояния и не восстанавливает ресурс. Целевые работы по восстановлению надежности по своему назначению полностью соответствуют задачам ремонта. Эти работы обеспечивают свойство планера сохранять в пределах назначенного ресурса значения всех параметров, характеризующих его способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях эксплуатации самолета. Кроме целевых при ремонте планера выполняются и вспомогательные работы, обеспечивающие реализацию заданных технологических процессов на этапах ремонта: приемка, разборка, смывка лакокрасочных покрытий, комплектация, сборка, испытания, контроль качества. Объемы вспомогательных работ определяются уровнем ремонтной техно-

логичности конструкции планера, объемами и технологией выполнения целевых работ.

Целевые ресурсные работы при ремонте планера составляют 15—20 % общего объема ремонта планера. При этом 80—90 % целевых работ составляют работы по контролю состояния, связанные с усталостными повреждениями, которые определяют до 90 % всех неисправностей планера. Таким образом, межремонтный ресурс планера самолета обосновывается необходимостью выполнения 3—5 % работ по восстановлению надежности и 12—15 % работ по контролю состояния от общего объема всех видов работ при ремонте планера.

Планеру в целом устанавливается назначенный ресурс, при отработке которого для отдельных элементов конструкции могут устанавливаться ограничения по наработке, при достижении которых данный элемент должен быть заменен, доработан или проконтролирован. Очевидно, что последовательной доработкой, заменой или дополнительным контролем всех элементов можно достигать практически любых величин ресурсов для планера в целом. Такой подход практикуется зарубежными авиастроительными фирмами, которые предлагают эксплуатантам большие ресурсы на экземпляр самолета, обуславливая их достижение техническими мероприятиями и соответствующими финансовыми и материальными затратами.

Отработка назначенного ресурса планером самолета обеспечивается применением следующих принципов проектирования элементов конструкции: безопасного ресурса, безопасного повреждения и конструктивного принципа.

По конструктивному исполнению элементы конструкции планера могут быть разделены на:

- механические системы, подвижные соединения и несилловые детали конструкции;

- конструктивные силовые агрегаты и неподвижные силовые соединения;

- моноблочные силовые детали.

Проектирование по принципу безопасного повреждения предполагает обеспечение безотказности планера за счет повышенной живучести элементов конструкции при повреждении и за счет резервирования их при разрушении. Проектирование по конструктивному принципу предполагает, что повреждение и разрушение малоответственных элементов планера не влияет на безопасность

и регулярность полетов. Эти принципы проектирования применяются для механических систем, подвижных соединений и несилловых деталей, которые не определяют межремонтный ресурс планера, поскольку не влияют на работоспособность планера в целом и устраняются по мере их появления. Следовательно, межремонтный ресурс планера обусловлен применением принципа безопасного ресурса только для конструктивных силовых агрегатов, неподвижных силовых соединений и моноблочных силовых деталей. Безопасный межремонтный ресурс  $m$  по результатам испытаний на надежность устанавливается таким образом, чтобы вероятность отказа  $F_i(\tau)$   $i$ -х элементов конструкции при отработке ресурса всеми самолетами парка не превысила заданной нормативной величины, что допустимо представить соотношением

$$P_i(x) = P_m \geq [1 - \eta F(x)](1 - \beta_i), \quad (2.1)$$

где  $\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4$  — коэффициент надежности;

$x$  — искомое значение ресурса;

$P_m$  — нормативное значение функции надежности  $i$ -ГО изделия;

$F(x)$  — вероятность отказа изделия в интервале наработки  $(0, x)$ ;

$\beta_i$  — риск эксплуатанта при принятом плане испытаний на надежность;

$\eta_1$  — коэффициент, учитывающий эквивалентность программы испытаний ожидаемым условиям эксплуатации;

$\eta_2$  — коэффициент, учитывающий адекватность математической модели надежности изделия реальному физическому объекту;

$\eta_3$  — коэффициент, учитывающий эквивалентность ожидаемых и реальных условий эксплуатации;

$\eta_4$  — коэффициент, учитывающий качество изготовления изделий.

Функция распределения  $F(t)$  времени появления усталостных повреждений в элементах конструкции планера соответствует, как правило, логарифмически-нормальному закону распределения или распределению Вейбулла. Смысл коэффициентов надежности  $\eta_1 \div \eta_4$  и правила их выбора для расчета безопасного ресурса определены нормами летной годности (НЛГ) таким образом, чтобы безопасный ресурс обеспечивался без проведения в эксплуатации дополнительных работ по контролю состояния. Поэтому выполнение в процессе регулярной эксплуатации самолетов большого объ-

ема работ по контролю состояния элементов планера с введением межремонтного ресурса и полной разборкой планера при ремонте имеет целью не решение задач ремонта, а обоснование и подтверждение ресурсов элементов, которые в полном объеме должны быть выполнены на этапе испытаний.

Ограничение по наработке для элементов конструкции с безопасным повреждением допустимо рассматривать как результат испытаний на надежность с ограниченным числом повреждений по плану  $[N_1M_n]$ , а с учетом распространения испытаний на эксплуатацию - по плану  $[NMT]$ , где  $N_1$  и  $N$  - число испытываемых образцов,  $M_n$  и  $M$  - число данных элементов в эксплуатации на самолетах парка соответственно (планы испытаний по ГОСТ 27.002).

Установление назначенного ресурса для элементов планера, определяющих безопасность полетов, связано с ответственностью поставщика ( $\alpha$ ) за качество проектирования, испытаний и изготовления и ответственностью эксплуатанта ( $\beta$ ), за качество эксплуатации, причем, вероятность появления в эксплуатации отказавших элементов равна  $(1-\alpha)$  и  $\beta$  соответственно. При недопустимости появления в эксплуатации отказа элементов точечная оценка риска поставщика будет исчисляться следующим образом:

$$a = 1 - P(q); \quad (2.2)$$

при доверительных границах:

$$\alpha_1 = 1 - P(q_1),$$

$$\alpha_2 = 1 - P(q_2),$$

где  $q, q_1, q_2$  - точечная оценка, верхняя и нижняя границы среднего уровня входного качества элементов в эксплуатации соответственно.

Оперативная характеристика плана ресурсных испытаний  $P(q)$  при  $q \ll 0,1\%$  определяется как

$$P(q) \approx e^{-Nq}, \quad (2.3)$$

а количество испытанных элементов при  $\beta = 0,05$  будет

$$N \geq 3/q. \quad (2.4)$$

Для существующих нормативов появления в эксплуатации особых ситуаций полета самолетов из-за функциональных отказов

требования к обоснованию безопасного ресурса для элементов планера являются очень жесткими, и риск поставщика, согласно (2.2), определяется качеством проектирования, испытаний и изготовления. Не обеспечивая требуемых качеств проектирования и изготовления, поставщик расширяет объем испытаний, перенося их на этапы регулярной эксплуатации самолетов посредством введения периодического контроля элементов конструкции, выполняемого эксплуатантом. Это соответствует контролю качества элементов на всем парке самолетов по плану [NMT], причем T — есть наработка парка самолетов за межконтрольный интервал, суммируемая по интервалам контроля нарастающим итогом с начала эксплуатации. Такой объем испытаний обеспечивает условия (2.3—2.4) и корректировку коэффициентов  $\eta_1$ - $\eta_4$  для поэтапного увеличения назначенного ресурса элементов конструкции и планера в целом.

Для эксплуатанта проведение целевых работ по контролю состояния элементов конструкции планера в эксплуатации оправдано только в случае изменения условий летной эксплуатации самолетов или условий поддержания и восстановления надежности (например, проведением доработок по результатам контроля, а не при фиксированной наработке самолета), так как таким контролем эксплуатант компенсирует увеличение своего риска  $\beta$  из-за эксплуатации самолета в нерасчетных условиях. Контроль состояния элементов планера обоснован также при поэтапном увеличении назначенного ресурса самолетам, если по согласованию поставщика и эксплуатанта результаты контроля входят в план испытаний. Однако во всех указанных вариантах установление межремонтного ресурса планеру в целом не требуется, а контроль его элементов целесообразно проводить только на группе самолетов, эксплуатируемых в наиболее тяжелых условиях, что позволяет обеспечивать требуемые уровни достоверности оценки условий эксплуатации самолетов и качества проектирования и изготовления планера.

С изложенных позиций возможно установление и реализация в эксплуатации следующих видов назначенных ресурсов (сроков службы) планеров и, соответственно, в целом самолетов гражданской авиации:

НРР - назначенный ресурс расчетный, который был установлен заданием на разработку данного типа самолета как минимально необходимый для эффективной эксплуатации этих самолетов;

НРФ - назначенный ресурс фактический, который был обоснован и подтвержден для парка самолетов данного типа на данный момент их эксплуатации;

НРИ - назначенный ресурс индивидуальный, который был обоснован для парка самолетов и может быть подтвержден индивидуально для конкретного экземпляра самолета.

Соответствующие виды определены и для межремонтных ресурсов (МРР, МРФ МРИ) в табл. 1.8.

Указанные виды ресурсов для основных отечественных типов самолетов ГА и их зарубежных аналогов приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Назначенные ресурсы и износ парка самолетов ГА России  
(по состоянию на 01.01.99)

Тип самолета	Год начала эксплуатации	Назначенные ресурсы, л. ч			Износ парка самолетов по отработке НРФ, %		Средний возраст самолетов в годах
		МРР	НРФ	НРИ	по часам	по посадкам	
Ан-12 L-100-20	1967	20 000	35 000	43 000	58,4	66,1	31,9
	1968	—	45 000				
Ан-24 F-27	1971	20 000	54 000	60 000	74,8	80,8	27,3
	1969	—	60 000				
Ил-76 С-141В	1980	30 000	20 000	20 000	34	34,5	11,8
	1977	—	45 000				
Ил-86 L-1011	1980	30 000	30 000	30 000	46,7	50,6	12,1
	1972	—	60 000				
Ил-62 В-707-320В	1968	30 000	35 000	45 000	54,1	50,4	14,7
	1962	—	60 000				
Ил-96 MD-11	1990	60 000	24 000	24 000	17,9	9,6	5,4
	1990	—	60 000				
Ту-154 В-727-200А	1967	30000	40 000	45 000	65,3	61,6	23,6
	1968	—	60 000				
Ту-134 В-737-200	1967	30 000	40 000	45 000	65,3	61,6	23,6
	1968	—	60 000				
Як-42 MD-81	1980	30 000	20 000	20 000	70,1	58,2	10,2
	1981	—	60 000				
Як-40 F-30	1968	25 000	32 000	38 000	66,9	61,1	23,6
	1976	—	60 000				

На рис.2.1—2.8 приведено распределение парка самолетов по отработке указанных видов ресурсов.

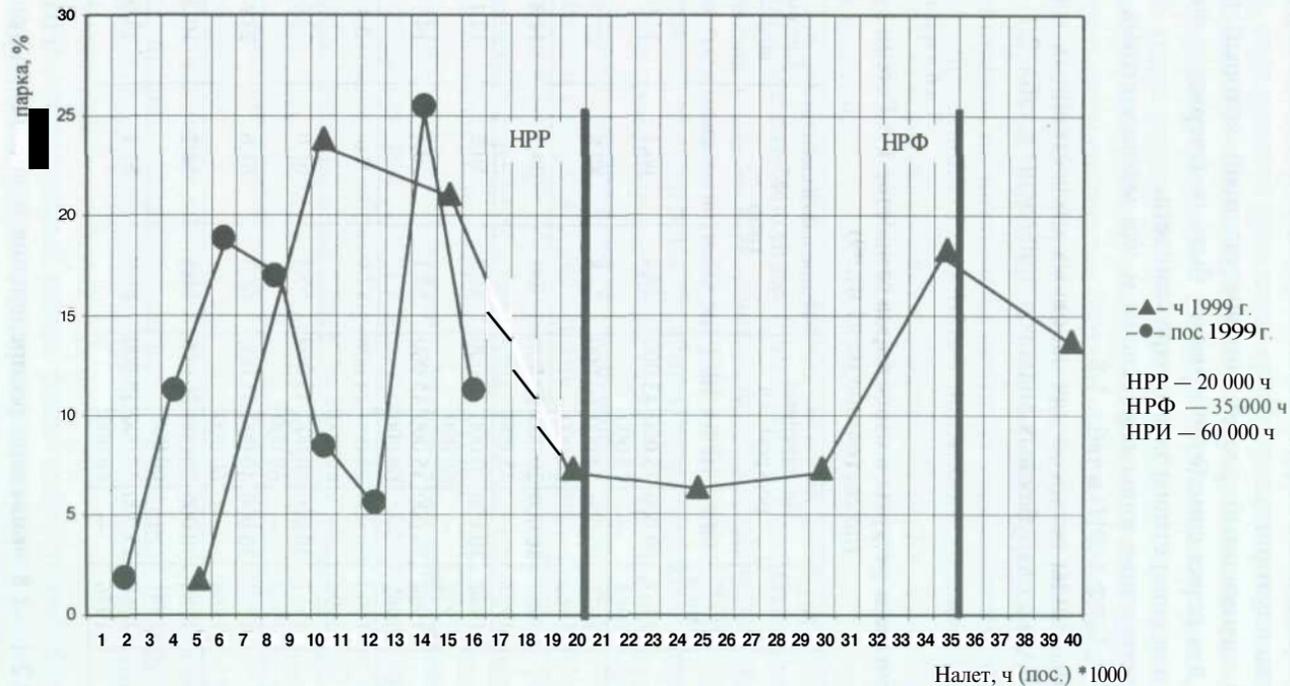


Рис. 2.1. Распределение парка самолетов Ан-12

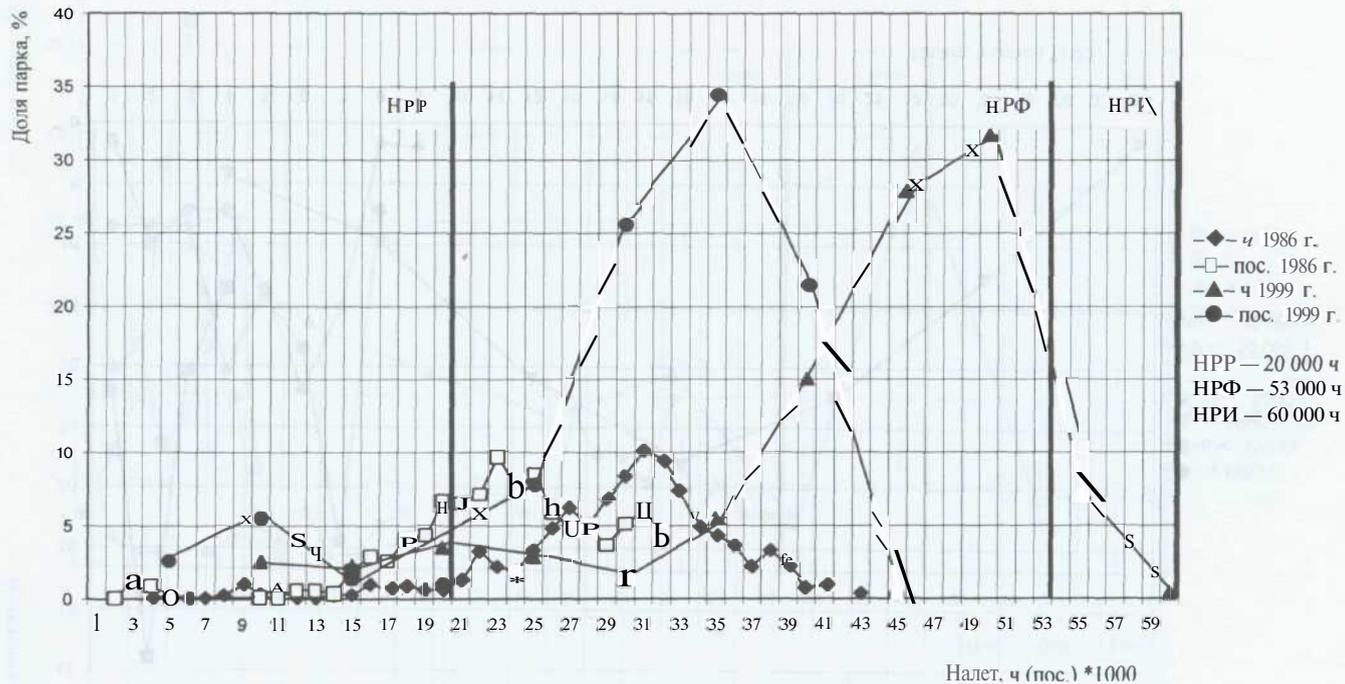


Рис. 2.2. Распределение парка самолетов Ан-24

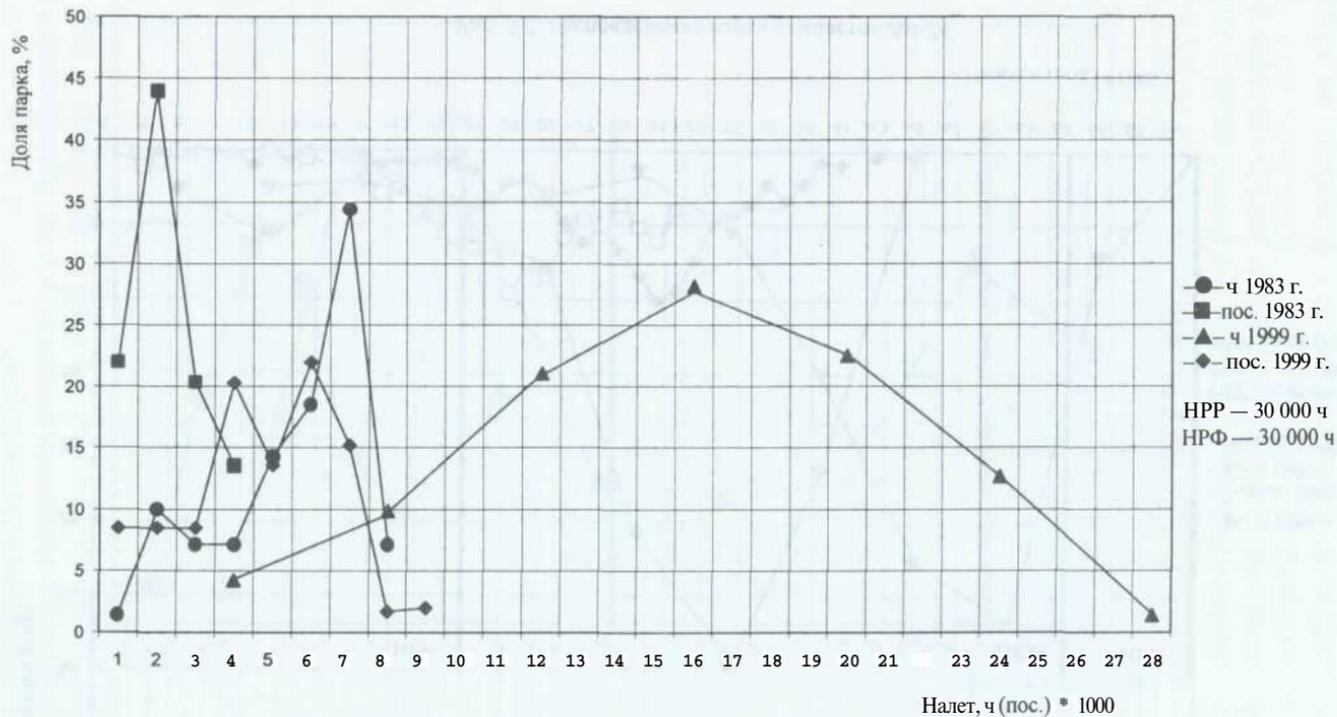


Рис. 2.3. Распределение парка самолетов Ил-86

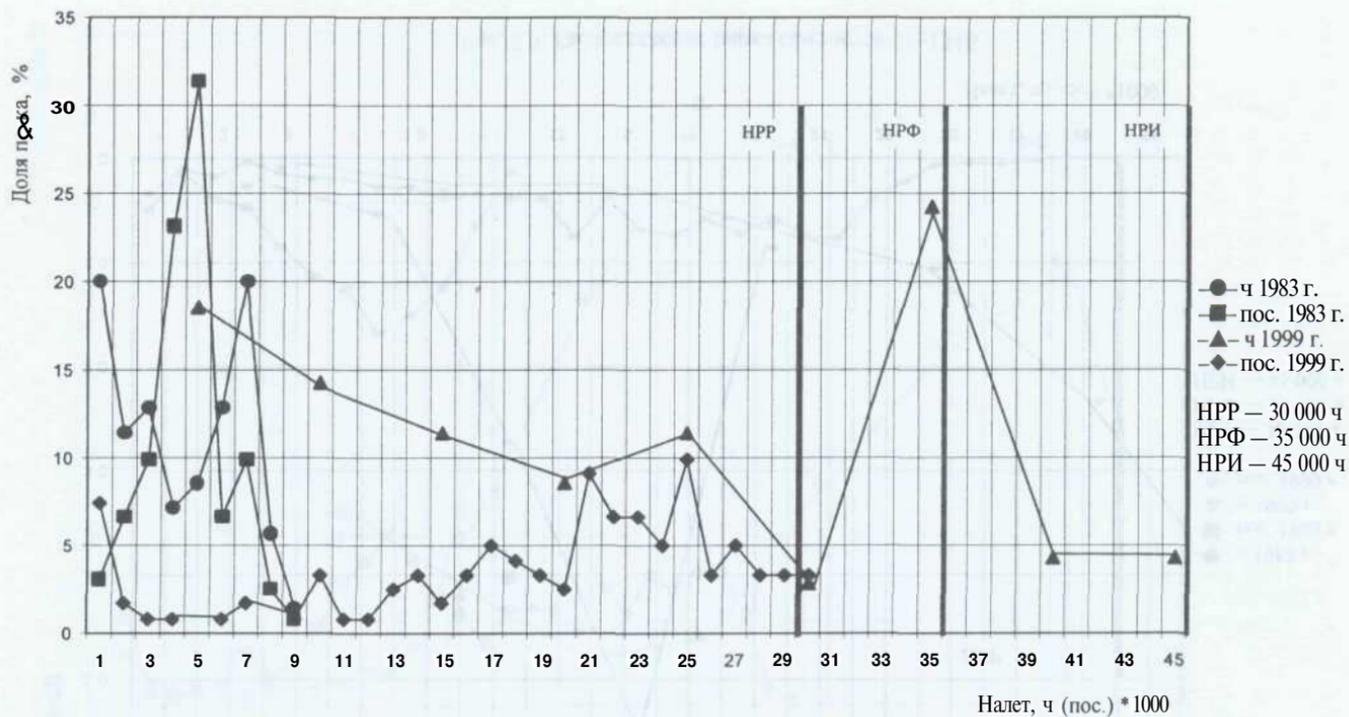


Рис. 2.4. Распределение парка самолетов Ил-62

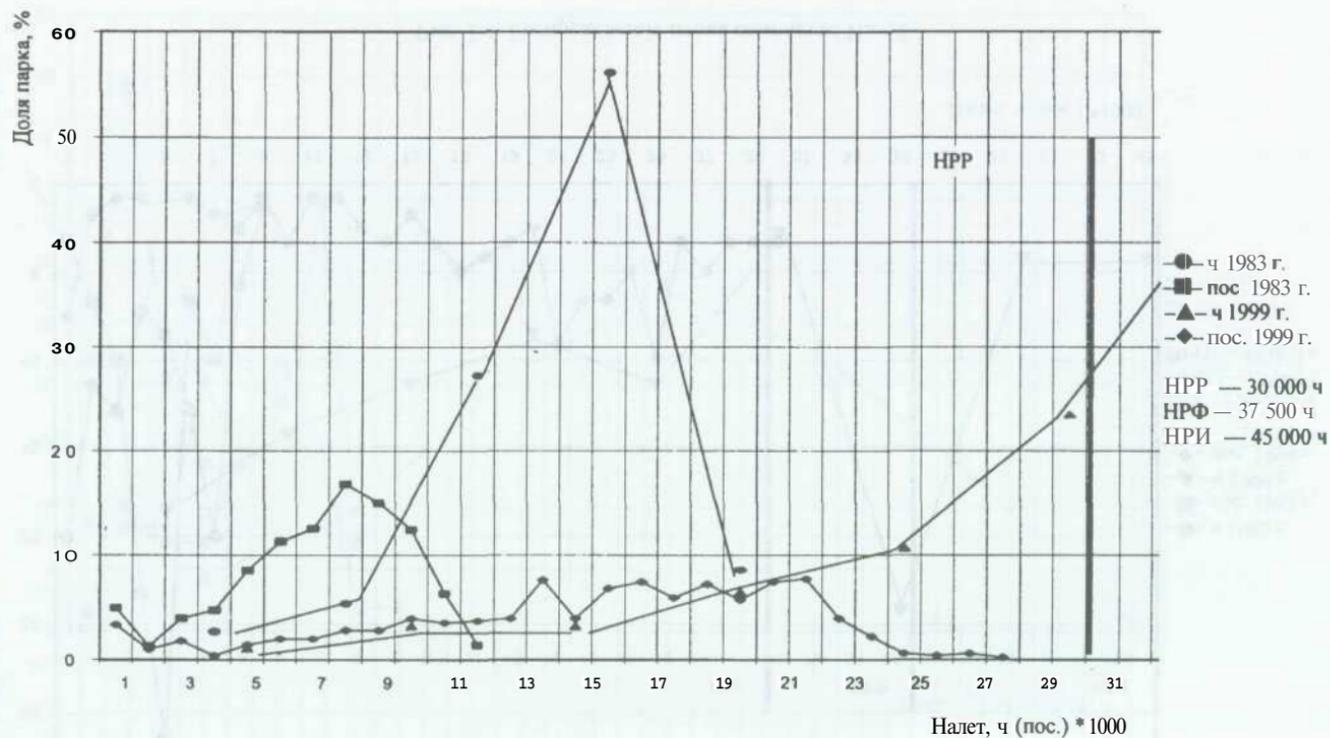


Рис. 2.5. Распределение парка самолетов Ту-154Б

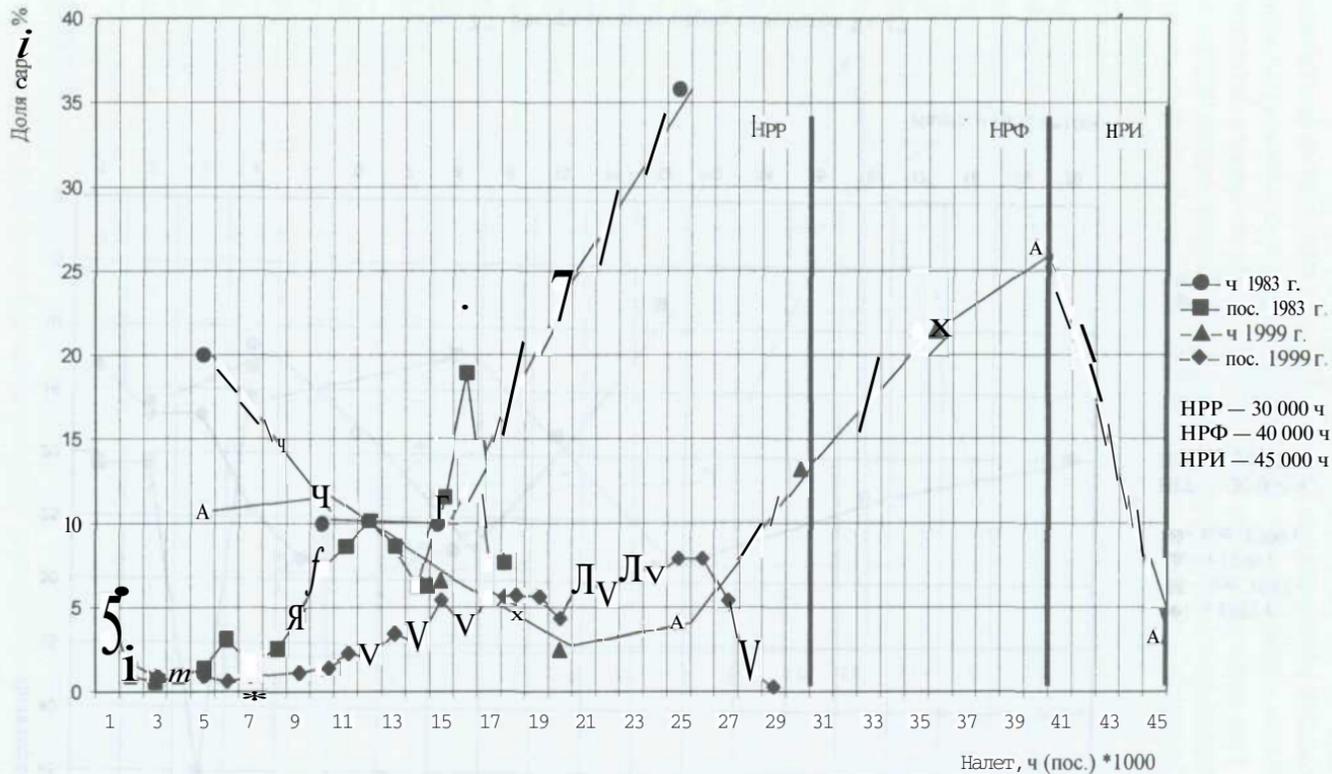


Рис. 2.6. Распределение парка самолетов Ту-134

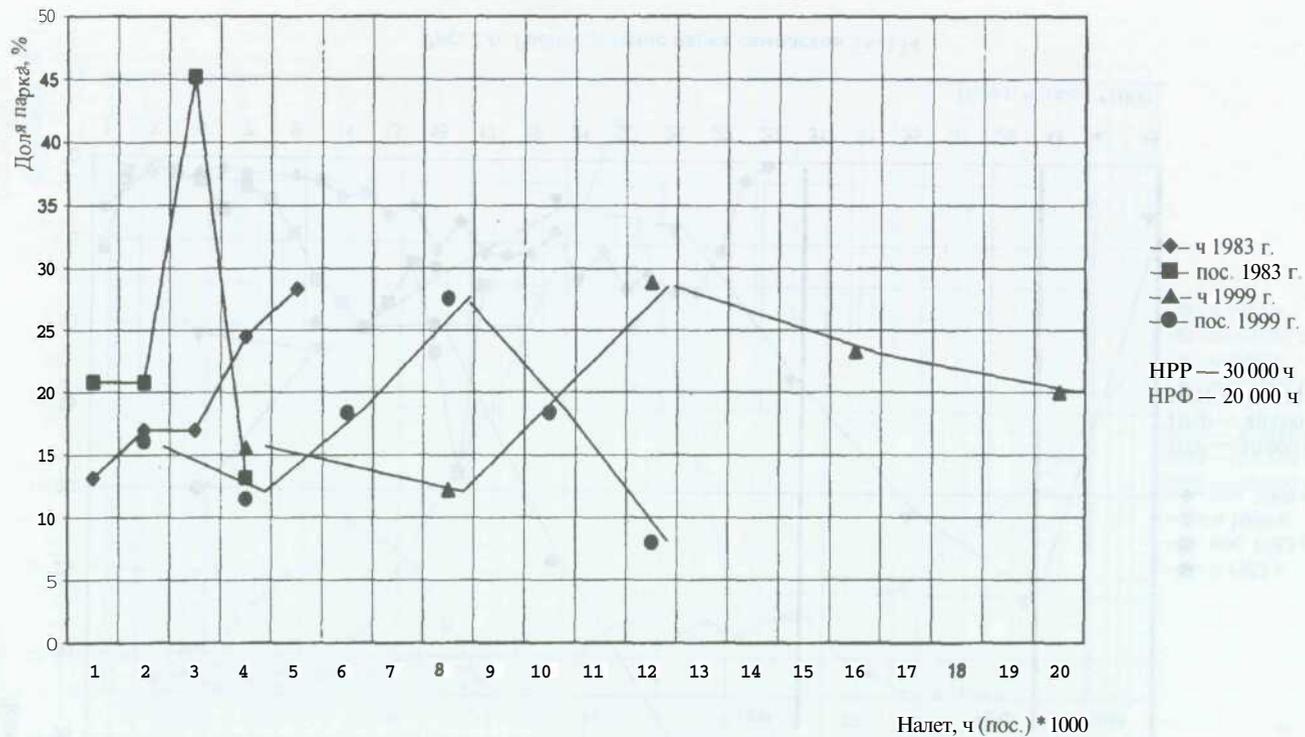


Рис. 2.7. Распределение парка самолетов Як-42

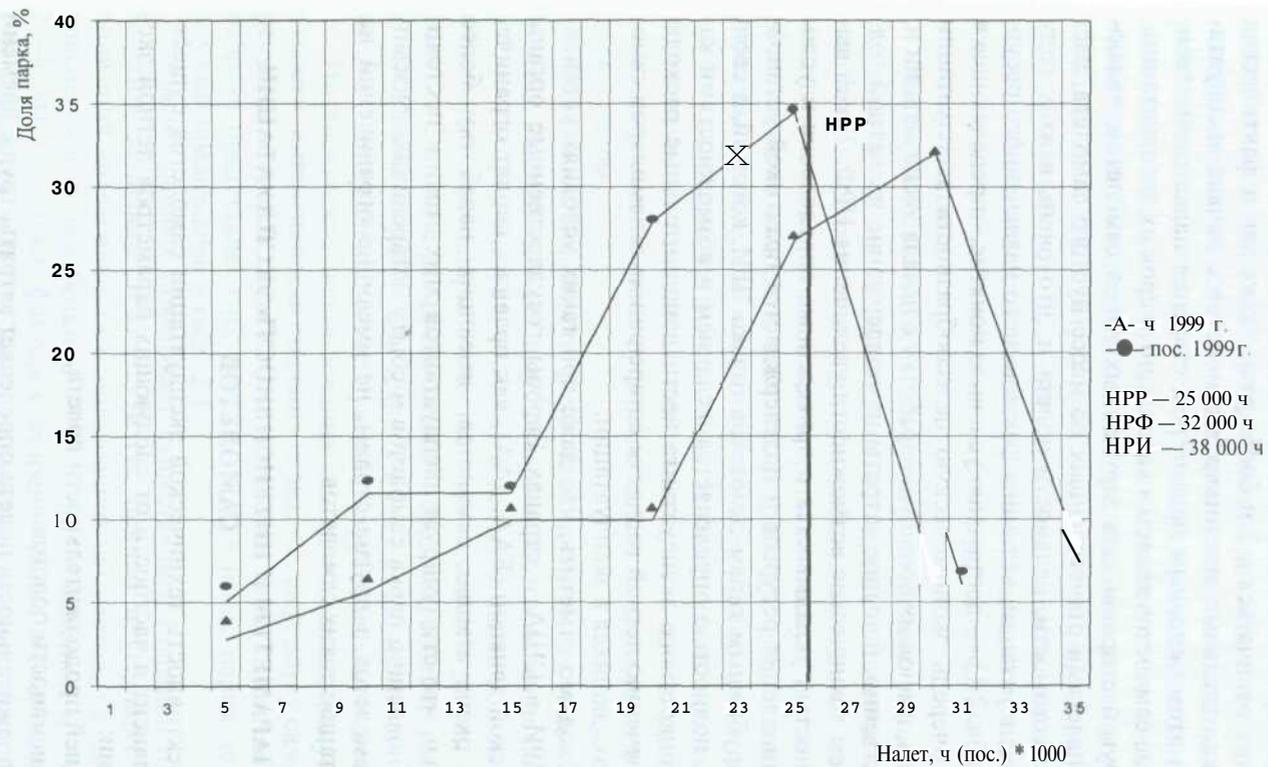


Рис. 2.8. Распределение парка самолетов Як-40

Анализ приведенных данных показывает, что величины НРР и НРИ могут отличаться в 2 и более раза, также как и фактическая наработка отдельных экземпляров самолетов с начала эксплуатации, при этом основным параметром старения парка отечественных типов самолетов является календарный срок их эксплуатации.

С другой стороны, для зарубежных типов самолетов, являющихся аналогами отечественных по массе пустого самолета, пассажироместимости, дальности полета и, что очень важно, году начала эксплуатации, величина фактического назначенного ресурса (см. табл. 2.1) — достаточно условное понятие, определяющее в первую очередь экономическую целесообразность эксплуатации самолетов, имеющих большую наработку с начала эксплуатации и, соответственно, большие затраты на поддержание их летной годности, чем технические возможности увеличения НРФ. Такой вывод полностью укладывается в приведенные определения и условия установления ресурсов и подтверждается практикой установления зарубежным типам самолетов только НРИ, который, в свою очередь, полностью определяется желанием и возможностями каждого конкретного эксплуатанта нести дополнительные расходы по обеспечению летной годности «стареющих» экземпляров самолетов, находящихся в эксплуатации.

Необходимо отметить, что даже при таких условиях установления НРИ в США и странах Европы государственные органы гражданской авиации (FAA, JAA), как правило, вводят ограничения на эксплуатацию самолетов, имеющих наработку более 30 000 л.ч, что стимулирует эксплуатантов этих стран к постоянному обновлению парка самолетов и сбыту «стареющих» экземпляров самолетов в другие страны, не имеющие ограничений на эксплуатацию таких самолетов.

## **2.2. ПАРАМЕТРЫ И ИНТЕНСИВНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ САМОЛЕТОВ**

Эффективность технической эксплуатации самолетов существенно зависит в частности от следующих параметров летной эксплуатации:

- средней продолжительности полета;
- интенсивности полетов.

Продолжительность полета определяет затраты труда, времени и средств, необходимых для технической подготовки самолета к использованию по назначению и приведению его в исходное со-

стояние после завершения каждого полета. Как будет показано далее, такие затраты непосредственно не связаны с продолжительностью самого полета и представляют законченные комплексы работ. Очевидно, что при этих условиях продолжительность каждого полета характеризует разовые затраты на его техническое обеспечение. Поэтому чем больше продолжительность полета, тем меньшая доля таких затрат приходится на единицу наработки самолета и наоборот. Для формирования сопоставимых условий оценки эффективности технической эксплуатации типов самолетов применяется продолжительность среднестатистического или «типового» полета.

Интенсивность полетов самолета определяет интенсивность его использования по назначению, т.е. время, в течение которого самолет выполняет транспортную работу, доходы от которой в конечном счете погашают все затраты на летную и техническую эксплуатацию самолета, включая разработку, испытания и изготовление непосредственно самолета и всех взаимосвязанных с ним средств авиатранспортной системы. Интенсивность использования по назначению измеряется, как правило, величинами среднегодового, среднемесячного и суточного налета на один самолет или на парк в целом.

Оценки интенсивности эксплуатации основных типов отечественных самолетов и их зарубежных аналогов приведены в табл. 2.2, из которой следует, что даже в условиях плановой экономики отдельные экземпляры отечественных самолетов имели годовой налет, в 2 и более раз превышающий средний, соответственно, суточные налеты превышали средние в 3—5 раз и достигали средних величин интенсивности эксплуатации зарубежных аналогов.

Интенсивность использования самолетов характеризует, в частности, интенсивность старения парка, т.е. выработку самолетами ресурсов и сроков службы. Распределение парка самолетов по наработке представлено на рис. 2.1—2.8, а износ парка по срокам службы представлен в табл. 2.1.

Анализ данных показывает существенное старение парка самолетов за период 1987—1998 гг., причем в условиях резкого снижения интенсивности использования самолетов, т.е. снижения среднегодовой наработки в 1998 г. по отношению к 1987 г. в 3—5 раз. Основным фактором старения парка отечественных типов самолетов является календарный срок их эксплуатации. Наиболее ярко тенденция старения прослеживается на самолетах, производство которых прекращено 10 и более лет назад.

## Интенсивность эксплуатации отечественных и зарубежных самолетов

Тип самолета	Отечественные самолеты						Зарубежные самолеты				
	Средняя продолжительность полета, ч	Суточный налет (1987 г.)		Годовой налет, ч			Тип самолета	Средняя продолжительность полета, ч	Средний налет (1987 г.)		Авиакомпания
		средний	максимальный	средний (1987 г.)	средний (1998 г.)	максимальный (1987 г.)			суточный	годовой	
Ан-12	2,65	3,3	12,3	1200	321	1830	L-100-20				
Ан-24	1,29	3,6	14,7	1604	397	2043	F-27		2,85	1075	По парку
Ил-76		2,5	13,8	934	438	1798	C-141B				
Ил-86	2,51	3,3	14,9	1482	843	2900	L-1011	2,6	7,6	2793	По парку
Ил-62	4,91	6,7	10,3	2365	877	3496	B-707-320B	3,4	6,9	2512	«American airlines»
Ил-96	7,3	6,2 (1999 г.)	16,6 (1999 г.)	—	2285	3859 (1999 г.)	DC-10	5,2	12,6	4600	«Swissair»
Ту-154	2,65	5,4	13,4	1778	865	2889	B-727-200A	1,2	6,4	2320	«Lufthansa»
Ту-134	1,6	4,7	12,8	17,81	753	2800	B-737-200	1,0	6,6	2409	
Як-42	1,54	4,4	14,8	1573	745	204,3	MD-80	1,4	9,2	3360	«Aeromexico»
Як-40	1,18	3,5	11,0	1120	258	2400	F-30	1,2	5,9	2160	По парку
Ту-204	2,3 (1998 г.)	2,2 (1998 г.)	10 (1998 г.)	—	804	1635 (1998 г.)	B-767		11,5	4200	«British Airways»

В табл. 2.3 приведены данные о средних и максимальных налетах и продолжительности типового полета самолетов Ил-86, подтверждающие изложенное.

Таблица 2.3

**Данные о средних и максимальных годовых налетах и средней продолжительности полета самолетов Ил-86 по годам эксплуатации и аэропортам базирования**

Аэропорт базирования	Среднегодовой налет на 1 самолет по годам эксплуатации, ч					Число самолетов с налетом более 2000 ч/год в 1989 г, %	Продолжительность полета, ч		Максимальный налет самолетов за год, ч (11.11.88—10.11.89 г.)
	1984 г.	1985 г.	1986 г.	1987 г.	за ср. год 11.11.88—10.11.89 г.		и кс-п. на 01.01.87 на 10.11.89	период 11.11.1988—10.11.1989 г.	
Внуково	884	1158	1180	1293	1498	18,20	2,1/2,2	2,4	1 - 2456 2 - 2364 3 - 2333
Шереметьево	884	1215	1354	1736	2082	62,50	2,7/3,1	3,2	1 - 2909 2 - 2868 3 - 2689
Ташкент	1100	1192	1283	1417	1833	44,40	3,1/3,2	3,2	1 - 2479 2 - 2415
Пулково	798	1203	1267	1548	1469	8,33	2,4/2,4	2,4	1 - 2171 2 - 1932
Алма-Ата	—	967	1170	1578	1686	14,30	3,3/3,1	2,8	1 - 2141 2 - 1965
В целом по парку	899	1174	1257	1482	1705	30,30	2,4/2,6	2,7	

Среднегодовой налет самолетов Ил-86 за 1998 г. составил 843 ч, а износ парка на 01.01.99 по календарному сроку службы — 12 лет, т.е. 48 %.

Представленные материалы, а также сведения о фактическом распределении годового фонда времени по состояниям самолетов (см. разд. 3) свидетельствуют о том, что существует реальная возможность значительного (в 1,5—2,0 раза) увеличения среднегодовых и среднесуточных налетов на 1 самолет парка даже без сокращения простоев на ТОиР. Увеличение среднегодовых налетов до 3,5—4 тыс. ч позволит повысить эффективность эксплуатации парка самолетов как в плане удовлетворения спроса на пассажирские перевозки, так и снижения удельных затрат на ТОиР.

Уровень удельных затрат (труда, времени и материальных средств) существенно зависит от двух величин: продолжительности типового полета и числа полетов (налета) за летный день и за год. За рубежом суточные налеты ближнемагистральных самолетов достигают 6—9 ч, а дальнемагистральных — 13—16 ч. При этом среднегодовые налеты имеют значения 3000—4500 ч. Максимальные суточные и среднесуточные (по регионам) налеты ряда отечественных самолетов также достигают 10—14 ч, что свидетельствует о технической возможности интенсивной эксплуатации самолетов в ГА. Вместе с тем организационные особенности эксплуатации и ее материально-технического обеспечения обуславливают существенные непроизводительные простои отечественных самолетов.

Основными составляющими непроизводительных простоев являются:

простои в исправном состоянии (включая простои по метеоусловиям и из-за отсутствия топлива) - до 30—40 % годового фонда времени;

простои в неисправном состоянии (включая ожидание запчастей) — до 15 %.

С учетом существующих технико-организационных резервов для самолетов Ил-96-300 и Ту-204 уже планируются и достигаются (см. табл. 2.2) величины среднегодового налета до 4000 ч. Однако практическая реализация таких возможностей для парка в целом требует существенного совершенствования организации эксплуатации и изменения структуры парка самолетов ГА для каждого эксплуатанта и по стране в целом (ликвидация избыточности одних типов самолетов и недостатка других, обновление парка и т.д.). Эти проблемы применительно к технической эксплуатации самолетов рассмотрены далее.

### 3. ИСПРАВНОСТЬ ПАРКА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГОДОВОГО ФОНДА ВРЕМЕНИ ПО СОСТОЯНИЯМ ПРОЦЕССА ЭКСПЛУАТАЦИИ САМОЛЕТОВ

Эксплуатация самолетов реализуется последовательной сменой организационных и технических состояний процесса эксплуатации. Процесс эксплуатации  $\Pi_3$  включает технические состояния, связанные с объективными закономерностями изменения технических качеств самолета как объекта эксплуатации, и организационные состояния, определяющие субъективный процесс организации и планирования использования самолетов. Объективный процесс технической эксплуатации  $\Pi_{ТЭ}$  реализуется в системе ТОиР, которая не включает организацию и планирование эксплуатации и представляет совокупность взаимосвязанных элементов: самолетов, средств ТОиР, исполнителей и устанавливающей правила их взаимодействия документации для поддержания надежности и готовности самолетов к полетам. Эффективность системы ТОиР определяется затратами труда, времени и средств, необходимых для обеспечения требуемых уровней надежности и готовности самолетов в ожидаемых условиях эксплуатации. Таким образом, для анализа системы ТОиР необходимо из  $\Pi_3$  выделить объективный  $\Pi_{ТЭ}$ , параметры которого и определяют эффективность системы ТОиР. (Подробно анализ состояний процессов эксплуатации рассмотрен в работе Смирнова Н. Н. и Ицковича А. А. «Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию». М.: Транспорт, 1987 г.)

В системе ТОиР реализуются два процесса:

изменения технического состояния изделий авиационной техники на последовательных этапах жизненного цикла самолетов с начала эксплуатации и до списания  $\Pi_{ТС}$ ;

процесс последовательной смены организационных состояний самолетов в эксплуатации  $\Pi_{ТЭ}$ .

Анализ эффективности системы ТОиР заключается в определении количественных характеристик указанных процессов и

формировании информационного процесса  $\Pi_{иу}$ , устанавливающего соответствие между техническими и организационными состояниями самолетов

$$\Pi_{иу_{ij}} = \Pi_{ТС_i} \in \Pi_{ТЭ_j} \text{ при } i \in 'j' \quad (3.1)$$

Техническим состоянием самолетов в процессе эксплуатации возможно управлять следующими способами:

изменением условий эксплуатации (уровней функциональных и региональных факторов) -  $\Pi_{ТС(y)}$ ;

изменением конструкции систем, изделий и оборудования -  $\Pi_{ТС(d)}$ ;

изменением режимов ТООР -  $\Pi_{ТС(ТООР)}$ .

Изменение реальных условий эксплуатации самолетов и, соответственно, их систем, изделий и оборудования часто связано с введением эксплуатационных ограничений, что сужает эксплуатационные допуски и область применения самолетов по назначению. Такое управление техническим состоянием самолетов принимается в исключительных случаях как временная внеплановая мера на период исследования обстоятельств и условий появления в эксплуатации нерасчетных изменений технического состояния конкретных изделий, которые привели к особым случаям в полете в реальных условиях эксплуатации данного типа самолета. Процесс  $\Pi_{ТС(y)}$  в этом случае изменяется скачкообразно и управляющим воздействием  $\Pi_{ТЭ}$  возвращается к положению до скачка.

Изменение конструкции самолетов проводится с целью адаптации ее к реальным условиям эксплуатации таким образом, чтобы расширить область применения самолетов и устранить причины появления нерасчетных изменений технического состояния конкретных изделий. Такое управление процессом  $\Pi_{ТС(d)}$  также является неплановым и выполняется либо после временного изменения условий эксплуатации до их возвращения к начальным, либо для придания изделию лучших эксплуатационных качеств и повышения надежности.

В системе ТООР управление ТС реализуется путем выполнения работ ТООР в  $i$ -х состояниях технической эксплуатации  $\{\Phi_i\}$ . Любая последовательность технических состояний ВС между полетами может быть реализована простыми путями ориентированных графов  $S$  и  $S|$  (рис.3.1 и 3.2). Узлы  $\Phi$ , графа  $S$  представляют плановые состояния ТООР ВС, а узлы  $\Phi_i$ , графа  $S_1$  представляют внеплановые технические состояния ВС.

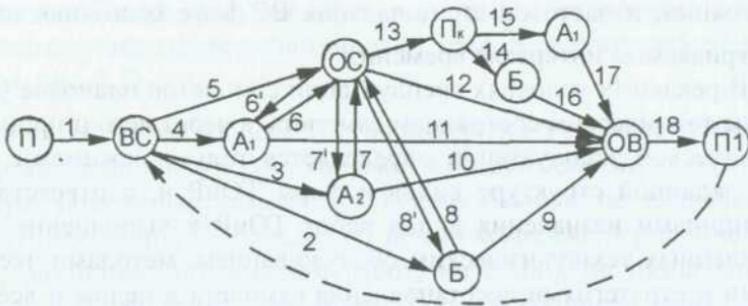


Рис.3.1. Граф S плановых состояний ТОиР ВС:

ВС - работы по встрече; ОС - работы по обеспечению стоянки; А<sub>1</sub> - транзитное обслуживание; А<sub>2</sub> - послеполетное обслуживание; Б - базовое обслуживание; П<sub>к</sub> - периодическое обслуживание или плановый ремонт; ОВ - работы по обеспечению вылета; П и П<sub>1</sub> - состояния «полет»

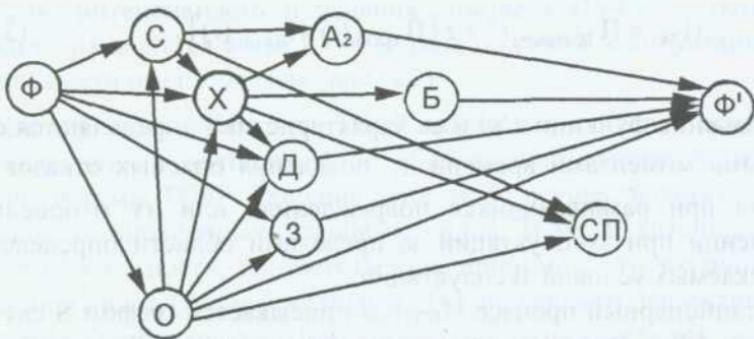


Рис.3.2. Граф S<sub>1</sub> неплановых состояний ТОиР ВС:

С - специальное ТО; О - осмотр; Х - хранение; Д - доработки; З - замена агрегатов; СП - списание

Процесс технической эксплуатации полностью определяется множеством  $\{\Phi_i, \Phi_{i+1}\}$  узлов графов S и S<sub>1</sub>, каждый из которых описывается параметрами распределения множеств  $\{t_i\}$ ,  $\{t_{i+1}\}$  времени нахождения самолетов в i-м техническом состоянии, а также вложенной цепью, определяющей вероятность P<sub>i</sub> нахождения ВС в i-м

состоянии, и частотой  $\pi_i$  попадания ВС в  $i$ -е состояние на рассматриваемом интервале времени.

В реальных условиях эксплуатации самолетов плановое Управление техническим состоянием самолета, а через него и процессом технической эксплуатации определяется только режимами ТОиР при заданной структуре видов и форм ТОиР и, соответственно, принципами назначения видов работ ТОиР к выполнению, обусловленных технологическим обслуживанием, методами эксплуатации и стратегиями восстановления самолета в целом и всех его изделий в совокупности. Реализация планового процесса  $\Pi_{TC(ТОиР)}$  определяет и реализацию постоянной составляющей процесса  $\Pi_{TC}$ .

В общем случае в эксплуатации реализуется процесс

$$\Pi_{TC} = \Pi_{TC(y)} + \Pi_{TC(d)} + \Pi_{TC(ТОиР)}. \quad (3.2)$$

Переменные составляющие  $\Pi_{TC(y)}$  и  $\Pi_{TC(d)}$  определяют случайные отклонения процесса  $\Pi_{TC}$  от его стационарного значения  $\Pi_{TC(ТОиР)}$ . Тогда процесс  $\Pi_{TC}$  в целом можно описать моделью

$$\Pi_{TC} = \Pi_{TC(ТОиР)} t^\alpha + z \{ \Pi_{TC(y)}(t); \Pi_{TC(d)}(t) \}. \quad (3.3)$$

Значение функции  $z(u)$  и ее характеристики определяются случайными моментами времени  $\tau_i$  появления опасных отказов самолета при развивающихся повреждениях или их мгновенном появлении при эксплуатации за пределами области определения допускаемых условий эксплуатации.

Стационарный процесс  $\Pi_{TC(ТОиР)}$  описывается графом  $S$  связей, в узлах  $\{\Phi_i\}$  которого осуществляется мгновенный переход состояний. Узлы графа  $S$  в общем случае имеют вид, представленный на рис. 3.1.

Процесс  $\Pi_{TC(ТОиР)}$  осуществляется реализацией простых путей ориентированного графа  $S$  через  $\{\Phi_i\}$  от состояния выполненного полета  $\Pi$  к последующему полету  $\Pi_1$ .

Реализация функции  $z(u)$  определяется ее параметрами (3.3) и приводит к дополнению от любого узла графа  $S$  (кроме  $\Pi_k$ ) простого пути ориентированного графа  $S_1$ . Причем, если граф  $S_1$  реализуется по пути, заканчивающемся  $A_2$ , или  $B$ , то путь графа  $S$  продолжается от соответствующих состояний, если  $S_1$  реализуется

окончанием  $P_k$ , то граф реализуется полным повторением, а в остальных случаях после реализации  $S_1$  граф  $S$  реализуется от узла ОС (см. рис. 3.2).

Таким образом, процесс  $P_{TC}$  характеризуется семью плановыми организационными состояниями, определяющими последовательную подготовку самолета к использованию по назначению (причем, состояние  $P_k$  определяет целый комплекс периодических форм, различных по объемам работ, но общих по назначению), шестью внеплановыми состояниями, определяющими процесс нарушения регулярной эксплуатации по техническим или организационным причинам, и состоянием использования по назначению. Исследование процесса  $P_{TC}$ , выполняемое статистическими методами, показывает эргодичность и стационарность процесса на небольших интервалах времени, однако эвристическая оценка параметров процесса  $T_{TC}$  позволяет сделать вывод о его нестационарности на протяжении срока службы с начала эксплуатации и до списания самолета на основе результатов опыта эксплуатации, приведенных в табл. 3.1—3.2 и на рис. 3.3.

Так, интенсивность попадания самолета Ил-86 в состояние «полет» изменяется в два и более раза по годам эксплуатации и в зависимости от сезона года (рис. 3.3).

Выполнение работ при ТОиР самолетов является основным управляющим воздействием по обеспечению основных целей и задач системы ТОиР. Решение этих задач осуществляется выполнением установленных плановых видов ТОиР в установленной последовательности, соответственно, принципы структурного построения видов (форм регламента) ТО определяют эффективность системы ТОиР в целом. Применение различных методов эксплуатации и стратегий восстановления изделий АТ предполагает выполнение работ ТОиР на плановых формах ТОиР, структура которых обеспечивает фактическую потребность АТ в этих работах в реальных условиях с минимальными затратами труда, времени и средств.

При безремонтной эксплуатации самолета в целом структура регламента определяет полную структуру видов и форм ТО. При эксплуатации самолета с выполнением ремонтов структура регламента определяет структуру видов и форм ТО между ремонтами.

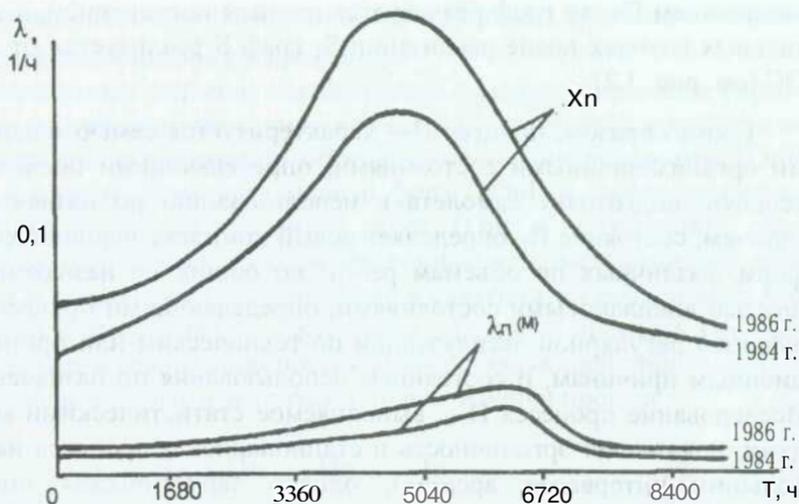


Рис.3.3. Интенсивность попадания самолета Ил-86 в состояние эксплуатации в течение года:

$\lambda_{\Pi}$  - интенсивность попадания в состояние «полет»;

$\lambda_{\Pi} (M)$  - интенсивность появления задержек вылета по метеоусловиям

В общем случае работы ТОиР включают технологическое обслуживание  $B_T$ , контроль состояния  $B_K$ , поддержание и восстановление надежности  $B_{\Pi}$ , виды которых относительно структуры видов и форм ТОиР описываются графом связей

$$S = (\Phi, B), \quad (3.4)$$

где  $\Phi = \{\Phi_{ij}\}$  - множество узлов графа, соответствующее  $i$ -м видам  $j$ -х форм ТОиР;

$B = \{B_{T,K,\Pi}\}$  - множество дуг графа, соответствующее видам работ ТОиР.

Модель оптимальной структуры графа определена условиями:

$$P_K(\Phi_{ij})(\leq, \geq) [P_K]_K = \overline{1, m}, \quad (3.5)$$

$$Y_K(B_{T,K,\Pi}) \rightarrow \min(\max) = \overline{1, n},$$

где  $P_K$  - значение  $k$ -го критерия структуры, который должен быть не более (менее) заданного;

УК - функция изменения  $k$ -го критерия при изменении структуры;  $m, n$  - число показателей, являющихся критериями оптимизации и ограничениями.

Функции  $У_k$  определены комплексом показателей технологичности и их предельными значениями для типа самолета, а ограничения на  $[П_k]$  легко определяются из рассмотрения процесса эксплуатации относительно видов работ  $\{B_{Т,К,П}\}$ . Работы технологического обслуживания  $\{B_T\}$  обеспечивают технические состояния самолета непосредственно перед вылетом и после полета, а также состояние ожидания полета. Соответственно в структуре графа (3.4) обязательны следующие узлы  $\Phi_T$ : обеспечение вылета (ОВ), встреча ВС после полета (ВС), обеспечение стоянки (ОС). Работы по контролю состояния  $\{B_K\}$ , не изменяя состояния изделия, обеспечивают информацию для классификации исправного или неисправного состояний самолета. Непрерывный контроль состояния изделия не требует структурных ограничений, однако предполагает наличие в структуре графа (3.4) узлов, в которых устраняются выявленные повреждения, что обеспечивает непрерывность процесса эксплуатации. Периодический контроль состояния, а также применение методов эксплуатации по состоянию вводят в (3.4) узлы, соответствующие контролю перед каждым вылетом или с некоторой периодичностью в зависимости от требований безопасности полетов и фактической надежности контролируемых изделий. Работы по поддержанию и восстановлению надежности, в зависимости от стратегий восстановления, реализуются в структурах (3.5), что требует наличия соответствующих узлов графа (3.4). Учитывая, что стратегия восстановления самолета реализуется на сочетании всех стратегий восстановления изделий, для самолета в целом требуется такая структура ТОиР, которая обеспечивает применение любых стратегий восстановления изделий. Схема видов и форм ТО, обеспечивающего все возможные состояния процесса эксплуатации ВС, имеет вид, приведенный на рис. 3.1 и 3.2, что подтверждает рассмотренный ранее процесс ТОиР.

Готовность самолета к полетам обеспечивается в основном оперативными видами ТО, а летная годность — периодическими видами ТО, причем КВР следует рассматривать как одну из форм периодического ТО. Оперативное и периодическое ТО определяют плановое ТО самолета при регулярной эксплуатации.

Выполнение оперативного ТО обеспечивает последовательный перевод самолета из неисправного состояния в исправное и далее в состояние готовности с учетом установленного ограничения [ПК] на состоянии процесса эксплуатации. Готовность самолета к реализации процесса летной эксплуатации обеспечивается выполнением оперативных работ технологического обслуживания по встрече, обеспечению стоянки и обеспечению вылета. Оперативная исправность самолета обеспечивается выполнением оперативных форм ТО, в которые сгруппированы работы ТОиР, обычно на основе следующих правил:

работы, выполняемые после каждого полета  $\Phi A_1$ ;

работы, выполняемые через несколько полетов или раз в сутки  $\Phi A_2$ ;

работы, выполняемые через несколько суток или установленное минимальное число полетов  $\Phi B$ .

В общем случае готовность самолета к полету обеспечивается одним из видов подготовок:

после посадки выполняются работы по встрече, оперативная форма и работы по обеспечению вылета:  $BC \rightarrow \Phi A_1$  (или  $\Phi A_2$ , или  $\Phi B$ )  $\rightarrow OB$ ;

после посадки выполняются работы по встрече, обеспечению стоянки, оперативная форма и работы по обеспечению вылета:  $BC \rightarrow OC \rightarrow \Phi A_1$  (или  $\Phi A_2$ , или  $\Phi B$ )  $\rightarrow OB$ ;

после посадки выполняются работы по встрече, оперативная форма, работы по обеспечению стоянки и обеспечению вылета:  $BC \rightarrow \Phi A_1$  (или  $\Phi_2$ , или  $\Phi B$ )  $\rightarrow OC \rightarrow OB$ .

В оперативном ТО не должно быть плановых работ по поддержанию и восстановлению надежности. Наличие таких работ свидетельствует о конструктивном несовершенстве самолета или о его непригодности к реальным условиям эксплуатации. Таким образом, оперативное ТО не связано со стратегиями восстановления изделий.

Периодическим ТО обеспечивается летная годность самолета путем выполнения плановых работ по поддержанию и восстановлению надежности.

Как правило, в периодическом ТО не должно быть работ технологического обслуживания.

При оценке эффективности технической эксплуатации требуется некоторое уточнение структуры ТО самолетов в течение летного дня, что рассмотрено ранее в разд. 4.

С изложенных позиций выполнен анализ исправности и простоев самолетов различных типов по результатам опыта их эксплуатации (табл. 3.1).

При этом использована типовая форма учета исправности АТ, которая включает дополнительные к рассмотренным ранее формы организационных состояний самолетов, такие как «нахождение в резерве», «простой по метеоусловиям» и т.д., что позволяет выполнять анализ технических характеристик самолетов и оценивать уровень организации их технической эксплуатации.

Интенсивность использования самолетного парка, характеризующая годовыми налетами одного самолета, в значительной степени определяется простоями самолетов на техническом обслуживании и в ремонте, что проиллюстрировано распределением календарного фонда времени нахождения самолетов в основных состояниях эксплуатации (см. табл. 3.1). В качестве исходной информации использовались данные почасового учета простоев самолетов с ГТД, при этом в графе «Простои на техническом обслуживании» учитываются:

устранение повреждений при оперативном ТО;

выполнение базовой формы оперативного ТО (формы «Б» для большинства типов рассматриваемых самолетов);

выполнение периодических форм ТО, замена двигателей и агрегатов.

Остальные формы оперативного ТО учитываются в графах «Время в рейсе» и «Обеспечение вылета в базовом аэропорту».

Анализируя данные табл. 3.1, следует отметить, что для рассматриваемых типов самолетов имеет место тенденция сокращения простоев в неисправном состоянии (для Ил-62, Ил-86, Як-42, отчасти Ту-154) либо их стабилизация на уровне 15—20% (для более старой авиационной техники: Як-40, Ту-134, Ан-24). Вместе с тем, сравнение динамики изменения этих простоев с динамикой изменения времени в рейсе и простоев в исправном состоянии показывает, что сокращение простоев в неисправном состоянии не всегда ведет к адекватному увеличению интенсивности эксплуатации.

Отличаются существенным ростом доли времени нахождения в рейсе самолеты Ил-86 и Як-42 за счет сокращения простоев как в

неисправном, так и в исправном состоянии. Довольно стабильными являются все три рассматриваемые характеристики для Ан-24. Для остальных же типов самолетов характерна тенденция роста доли простоев в исправном состоянии при незначительном увеличении доли времени нахождения в рейсе (Ил-62) и даже ее снижении (Ту-134 и особенно Як-40). Такой характер изменения простоев и времени в рейсе для рассматриваемых самолетов свидетельствует о том, что исправность парка является не единственным основным фактором, определяющим интенсивность эксплуатации.

Для новой и особенно для вновь создаваемой авиационной техники имеющей, существенно лучшие характеристики расхода топлива, задача сокращения простоев на ТОиР как основного средства повышения интенсивности эксплуатации по-прежнему остается актуальной.

Общая доля простоев в сфере технического обслуживания и ремонта составляет 40—60 % календарного фонда времени. Представляет интерес анализ распределения этих простоев по основным видам ТОиР, которое приведено в табл. 3.2. В графу «Оперативное ТО» этой таблицы вошли простои в рейсе, полученные вычитанием из времени в рейсе (см. табл. 3.1) доли налета (годовой налет, отнесенный к календарному фонду времени), и простои на обеспечении вылета в базовом аэропорту; в графу «Периодическое ТО» - - простои на техническом обслуживании из табл. 3.1; в графу «Ремонт» — собственно ремонт и его ожидание; в графу «Устранение неисправностей» — прочие виды простоев в неисправном состоянии (отсутствие запасных частей и двигателей, доработки, рекламации и т.д.). Наиболее значительная часть простоев в сфере ТОиР приходится на оперативное обслуживание: от 37 % для Ил-62 до 62 % для Ан-24. Следует отметить, что в данном случае рассматриваются не «оперативные» показатели, характеризующие эксплуатационные свойства ЛА, а «общие» показатели, оценивающие характеристики системы ТОиР в целом, а также характеристики всей системы обеспечения эксплуатации, включая коммерческое обслуживание, с учетом непроизводственных простоев.

В значительной степени столь большая доля простоев, приходящаяся на оперативное ТО, объясняется наличием в расписании полетов резервов времени на случай возникновения отказов АТ и других сбоях в нормальном режиме эксплуатации для поддержа-

ния требуемой регулярности полетов, поэтому, определяя пути сокращения данного вида простоев, прежде всего следует указать на необходимость решения комплекса задач, связанных с устранением отказов авиационной техники:

внедрение систем раннего (из полета) оповещения о возникновении отказа для соответствующей подготовки необходимого персонала, документации, средств контроля, инструмента и запасных частей;

внедрение перечней отказов (минимальных перечней оборудования), допускающих полет до следующего аэропорта посадки или базового аэропорта;

создание экспертных систем на основе мобильных или бортовых средств для ускорения и облегчения процесса локализации места возникновения отказа и оценки последствий в случае отсрочки его устранения;

повышение уровня эксплуатационной технологичности элементов конструкции, систем и оборудования, прежде всего, улучшение их легкосъемности и взаимозаменяемости.

Доля простоев на периодическом ТО и ремонте рассматриваемых самолетов, как следует из табл. 3.2, достаточно стабильна и колеблется в большинстве случаев в интервале 25—30 % всех простоев в сфере ТОиР. Некоторым исключением является лишь Ил-62, для которого эта доля составляет около 40 %, что в основном объясняется большой величиной простоев при ремонте. Оценивая перспективы снижения этого вида простоев, необходимо в первую очередь выделить следующие два направления: сокращение объема работ по ТОиР путем обоснованного их назначения и совершенствование производственной базы эксплуатирующих и ремонтных предприятий.

Увеличение уровня обеспеченности АТБ производственными фондами прямо ведет к сокращению простоев на периодическом обслуживании. Следует отметить взаимосвязь указанных направлений и необходимость сокращения объема ТОиР не только на базе статистического оценивания уровня надежности АТ, но и путем разработки новых, более эффективных технологий ТОиР (методов, средств, оборудования). Последнее требует определенных изменений в инвестиционной политике как в области закупок и капитального строительства, так и в области разработок.

На последний из видов простоев, отнесенных к сфере простоев при ТОиР и рассматриваемых в табл. 3.2 — «Другие простои в не-

исправном состоянии», приходится от 8,5 % (Ан-24) до 36,2 % (Ил-86) общего объема простоев в сфере ТОиР или от 3,4 % до 21,4 % общего календарного фонда времени.

Основную долю простоев этого вида составляют простои из-за отсутствия запасных частей и, прежде всего, авиадвигателей, а также доработки конструкции. Доля простоев этого вида тем выше, чем меньше срок эксплуатации самолета.

Применительно к другим составляющим графы «Другие простои в неисправном состоянии» в качестве основной меры их сокращения следует признать необходимость радикального изменения финансовых взаимоотношений сторон и ответственности поставщика и разработчика авиационной техники. Без создания эффективного механизма материальных стимулов, поощрения и ответственности рассчитывать на сокращение объема доработок не приходится.

Таблица 3.1

**Уровень исправности парка основных типов самолетов, эксплуатирующихся в а/к «Аэрофлот»  
в 80-е годы**

Параметр	Величина параметра по типам самолетов									
	Як-40		Ан-24		Ту-134		Ту-154		Ил-62(М)	
	1982	1985	1981	1985	1981	1987	1981	1987	1981	1987
Норматив исправности	82	82	82	82	82	82	68	68	68	68
Фактическая исправность, в том числе	84.3	85.3	85.2	85	77.9	81.6	65.2	71.2	59.1	72.2
время в рейсе	30.9	27.5	42.4	37.7	42.2	39.0	39.2	38.8	32.2	36.2
Обеспечение вылета в базовом аэропорту	5.3	5.2	6.6	6.1	6.7	6.5	6.5	6.7	4.5	4.9
в резерве	3.9	4.3	3.2	3.3	2.8	2.7	1.8	2.3	1.3	2.7
исправные, но не совершавшие полетов	43.4	47.6	31.7	36.4	25.1	32.1	17.2	23.3	20.9	28.2
простои по метеоусловиям и из-за запретов полетов	0.8	0.8	1.3	1.3	1.1	1.1	0.5	0.4	0.2	0.2
Простои в неисправном состоянии:	15.7	14.7	14.8	15.3	22.1	18.4	34.8	28.8	40.9	27.8
на техническом обслуживании	6.5	7.0	7.6	7.4	7.2	7.5	9.2	9.3	8.4	10.3
на ремонте	4.6	1.9	4.0	4.4	3.8	4.4	4.8	4.2	1.19	6.0
в ожидании ремонта	0.3	–	0.2	0.1	0.1	0.2	–	0.1	0.1	–
на восстановлении после повреждения	0.7	0.4	0.6	0.6	0.6	0.8	0.9	1.1	0.3	0.3
из-за отсутствия запчастей	1.5	1.9	1.1	0.9	2.3	0.5	1.2	1.6	1.3	1.0
из-за отсутствия авиадвигателей	0.1	–	0.1	0.3	5.8	1.3	6.2	5.4	16.9	6.3
на доработках по бюллетеням	0.5	1.2	0.1	0.1	0.5	1.7	8.6	4.7	0.7	1.7
из-за рекламаций промышленности	0.4	0.5	0.3	0.2	0.9	0.4	3.2	1.4	0.5	1.23
из-за рекламаций АРЗ	0.9	1.3	0.5	1.2	0.9	0.4	0.5	0.9	0.8	0.8
на расследовании летных происшествий	–	–	0.1	–	–	–	0.2	–	–	–
в ожидании списания	0.2	0.5	0.2	0.1	–	0.2	–	0.1	–	0.1

Параметр	Величина параметра по типам самолетов									
	Ил-86		Як-42		Ил-76		Ан-12		Л-410	
	1982	1987	1985	1987	1985	1987	1983	1986	1984	1987
Норматив исправности	65	65	64	65	55	55	72	72	65	70
Фактическая исправность, в том числе	55	61.9	69.4	70.9	57.1	52.1	70.1	77.7	65	75.7
время в рейсе	15.5	29.1	27.2	36.0		26.8	37.3	36.0		
Обеспечение вылета в базовом аэропорту	8.3	8.5	6.3	7.0		4.0	3.8	3.7		
в резерве	5.2	2.6	4.0	2.7		0.7	2.7	2.9		
исправные, но не совершавшие полетов	25.6	21.3	30.6	23.7	39.5	19.5	23.1	32.9	38	36.6
простои по метеоусловиям и из-за запретов полетов	0.4	0.4	1.3	1.1	1.3	0.6	3.2	2.8	1.9	0.7
Простои в неисправном состоянии:	45	38.1	37.3	29.1	42.9	47.9	29.9	22.3	35	24.3
на техническом обслуживании	19.1	12.9	13.7	14.0	13.8	И	8.7	10	8.8	6.2
на ремонте	–	–	–	1.1	13.3	13.5	5.9	3.7	9.5	6.1
в ожидании ремонта	–	–	–	–	–	0.1	0.1	0.3	0.3	0.4
на восстановлении после повреждения	–	0.9	3.0	1.3	2.0	2.9	3.2	1.9	1.4	0.9
из-за отсутствия запчастей	1.1	4.4	0.1	0.7	4.9	1.1	2.2	3.2	7.1	6.1
из-за отсутствия авиадвигателей	2.6	11.6	–	0.5	2.9	13.5	0.2	0.4	4.1	0.9
на доработках по бюллетеням	1.72	5.9	–	4.2	1.3	4.1	8.7	0.6	0.7	0.3
из-за рекламаций промышленности	4.7	2.2	20.5	6.2	2.8	1.4	0.2	0.3	4.6	2.6
из-за рекламаций АРЗ	–	–	–	0.5	1.9	0.4	0.7	1.6	0.4	0.3
на расследования летных происшествий	0.3	0.2	–	0.6	–	–	–	–	0.1	0.5
в ожидании списания	–	–	–	–	–	–	–	0.3	–	–

Таблица 3.2

**Распределение простоев самолетов по основным видам ТОиР  
(% фонда годового времени / % простоев на ТОиР)**

Тип самолета	Год	Оперативное ТО	Периодическое ТО	Ремонт	Устранение неисправностей	ТОиР
Як-40	1985	20,0	7,0	1,9	5,8	34,7
		57,6	20,2	5,5	16,7	100
Як-42	1987	25,1	14,0	1,1	14,0	54,2
		46,4	25,8	2,0	25,8	100
Ту-134	1987	25,8	7,5	4,6	6,3	44,2
		58,4	17,0	10,4	14,2	100
Ту-154	1987	25,7	9,3	4,3	15,2	54,5
		47,1	17,1	7,9	27,9	100
Ил-62	1987	16,2	10,3	6,9	10,6	44,0
		36,8	23,4	15,7	24,1	100
Ил-86	1988	24,1	13,6	—	21,4	59,1
		40,8	23,0	—	36,2	100
Ан-24	1985	24,9	7,4	4,5	3,4	40,2
		61,9	18,4	11,2	8,5	100

## **4. ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ**

### **4.1. УСЛОВИЯ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК И СТРУКТУРА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ САМОЛЕТОВ**

Объем и периодичность выполнения работ по техническому обслуживанию (ТО) определяются Регламентами технического обслуживания (РО) конкретного типа самолета. Согласно ОСТ 5430054—88 различают следующие виды ТО:

- оперативное ТО;
- периодическое ТО;
- ТО при хранении;
- специальное ТО,

которые в свою очередь включают сформированные в соответствии с периодичностью выполнения отдельных работ различные формы ТО.

Оперативное ТО, основным назначением которого является подготовка самолета к полетам и обеспечение его работоспособности в процессе выполнения полетов, включает следующие формы ТО:

ВС — работы по встрече самолета, выполняемые после каждой посадки;

ОС — работы по обеспечению стоянки, выполняемые при передаче самолета от экипажа аэродромным службам при планируемой стоянке;

ОВ — работы по обеспечению вылета, выполняемые непосредственно перед каждым полетом;

АТ (А<sub>1</sub>) -- транзитное техническое обслуживание, выполняемое перед повторным планируемым вылетом, если не требуется выполнения другой формы ТО;

АБ (А<sub>2</sub>) -- послеполетное техническое обслуживание, выполняемое в конце летного дня и (или) после выполнения определенного количества полетов;

Б - - техническое обслуживание, выполняемое преимущественно в базовом аэропорту не реже одного раза за определенное количество летных суток (как правило, 10—20 летных суток).

Нужно отметить, что РО некоторых типов самолетов не соответствуют требованиям стандарта и включают в себя формы оперативного ТО под другими обозначениями. Так, для самолетов Ан-24, Як-40, Як-42 названные формы оперативного ТО обозначаются буквами русского алфавита от А до Ж. Однако такое различие в обозначении форм РО носит непринципиальный характер. Данная структура оперативного РО полностью описывает организационные состояния самолета в оперативном цикле ТО, которым являются все виды и формы ТО, выполняемые между двумя смежными формами Б. Серьезным недостатком указанного построения РО служит невозможность описания его оперативными формами и видами ТО всех возможных состояний самолета в течение летного дня. Если все различные состояния самолета обозначить прямоугольниками, а переходы между ними стрелками, то можно получить следующий граф состояний самолета в течение летного дня (рис. 4.1), который несколько отличается от приведенного в разд. 3 (см. рис. 3.1).

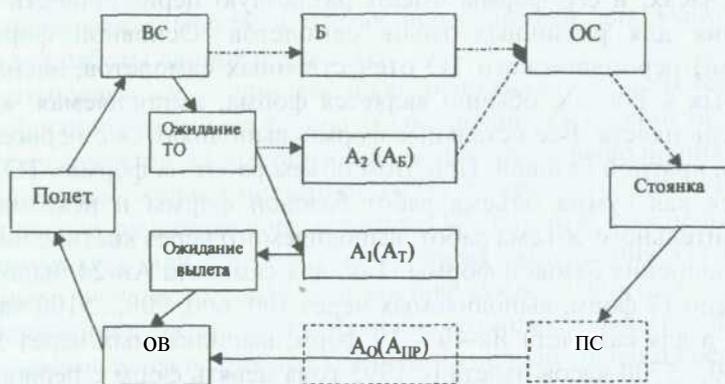


Рис.4.1. Граф состояний самолета в течение летного дня

$$ПР_{\text{лто}} = \boxed{ПС} + \boxed{А0} + \boxed{ОВ}$$

$$ТР_{\text{то}} = ВС + А1 + ОВ$$

$$БТО = ВС + Б + ОС$$

$$ПС_{\text{пто}} = ВС + А2 + ОС$$

ПС — работы после стоянки;

ОВ — работы по обеспечению вылета

Граф 4.1 наглядно показывает, что помимо состояний самолета, которые вызваны организационными сторонами эксплуатации (ожидание ТО и вылета), существующие формы оперативного ТО не описывают состояние, являющееся переходным от состояния ОС к состоянию ОВ. Очевидно, что объем работ по обеспечению вылета после стоянки существенно отличается от объема работ по обеспечению вылета в течение летного дня. В силу этого на рис. 4.1 введено состояние, обозначенное «ПС» (после стоянки). В свою очередь работы по встрече самолета, в зависимости от продолжительности планируемой стоянки, также могут отличаться по объему выполняемых работ по ТО.

Названные недостатки структуры оперативного ТО создавали определенные трудности в определении затрат труда и времени на обеспечение полетов, приводили к разногласным оценкам этих затрат эксплуатирующими организациями и предприятиями промышленности.

Периодическое техническое обслуживание назначается по налету в часах, и его формы имеют различную периодичность выполнения для различных типов самолетов. Основной формой (базовой) периодического ТО отечественных самолетов, эксплуатируемых в России, обычно является форма, выполняемая через 300 часов налета. Все остальные формы выполняются с периодичностью, кратной базовой. При этом объем работ на формах ТО образуется как сумма объема работ базовой формы и некоторого дополнительного объема работ, выполняемого через кратное число раз выполнения базовой формы. Так, для самолета Ан-24 было установлено 17 форм, выполняемых через 300, 600, 900, ..., 5100 часов налета, а для самолета Як-40 - 19 форм, выполняемых через 300, 600, 900, ..., 5700 часов налета (с 1995 года девять форм с периодичностью 600 л.ч). Построение периодического ТО самолетов Ил-62, Ил-86, Ту-134 и Ту-154 включает дополнительные к базовой форме объемы работ лишь для отдельных форм, повторяющихся с периодичностью, кратной периодичности базовой формы. Так, для самолета Ил-62 было установлено выполнение форм периодического ТО через 300, 900, 1800 и 3600 часов налета, для самолета Ту-154 и Ил-86 - через 300, 900 и 1800 часов налета, а для самолета Ту-134 - 333, 666, 1000 и 2000 часов налета.

Имеет место тенденция увеличения периодичности выполнения базовой формы периодического ТО и (с внедрением обслуживания самолетов по техническому состоянию) перенесения объема

работ заводского ремонта на формы ТО. Так, у самолета Ил-96 РО предусматривает выполнение форм периодического ТО через 500, 3000 и 12 000 часов налета.

Техническое обслуживание при хранении и специальное ТО носят случайный характер и выполняются без строго установленной периодичности, а объем этих видов ТО формируется из отдельных работ оперативного и периодического ТО и специальных работ, присущих только этим видам ТО.

Объем работ, определяющих продолжительность и трудоемкость форм технического обслуживания, определяется составом и технологическим содержанием этих работ при следующих условиях.

Продолжительность и трудоемкость форм ТО определяются по технологическим графикам (ТГ) соответствующей формы ТО. В основе исходных данных для построения ТГ формы ТО лежат:

- перечень и содержание работ по ТО;
- перечень средств ТО, потребных для выполнения данной формы ТО;
- ограничения на порядок выполнения работ;
- продолжительность и состав исполнителей для выполнения каждой работы данной формы ТО;
- располагаемое количество и квалификация исполнителей ТО.

Для одной и той же формы ТО возможно построение большого числа вариантов ТГ, отличающихся порядком выполнения работ. Поэтому необходима оптимизация ТО по времени в целях получения такого рационального варианта ТГ, который обеспечивал бы минимальное или близкое к нему время выполнения ТО при заданном числе исполнителей и составе средств или при заданных ограничениях на время выполнения комплекса работ определял бы минимальное потребное количество исполнителей и средств.

По полученному рациональному ТГ определяется продолжительность выполнения формы ТО, а наличие данных о продолжительности выполнения отдельных работ РО и потребном количестве исполнителей данных работ позволяет рассчитать трудоемкость формы ТО.

Оптимизация ТГ по времени достаточно сложный и трудоемкий процесс. Поэтому в настоящее время ТГ получили распространение лишь для оперативных форм ТО, поскольку незначительные объемы их работ и простота ограничений на порядок выполнения позволяют производить их оптимизацию простым рассмотрением вариантов совмещения производимых работ

во времени. В отсутствие ТГ периодических форм ТО их трудоемкость определяется простым суммированием трудоемкости всех работ, предусмотренных РО, а продолжительность выполнения этих форм ТО определяется принятой организацией труда исполнителей в каждом авиапредприятии при директивно заданных ограничениях (обычно 1—3 недели).

Как показал опыт оценки эксплуатационной технологичности самолетов, одной из основных причин, приводящих к получению различий в оценках продолжительности и трудоемкости форм ТО, является наличие в них работ с неопределенной периодичностью выполнения, а также работ, технология выполнения которых существенно изменяется при различных методах организации процесса ТО. Первые присущи в основном оперативным формам ТО, вторые — периодическим.

К работам с неопределенной периодичностью выполнения относятся следующие:

- буксировка самолета;
- удаление обледенения и обработка поверхности самолета антиобледенительной жидкостью;
- наружная мойка самолета;
- внутренняя уборка самолета;
- обработка санузлов самолета;
- дозаправка систем самолета рабочими жидкостями и газами (кроме топлива).

Эти работы выполняются в зависимости от технического состояния самолета, и единство учета периодичности их выполнения при разработке и эксплуатации самолета возможно введением единой расчетной модели эксплуатации, используемой при оценке показателей ЭТ.

К работам, технология выполнения которых зависит от организации процесса ТО, относятся:

- ТО авиационного и радиоэлектронного оборудования в лаборатории;
- открытие (закрытие) эксплуатационных люков; промывка фильтров топливной и других систем;
- работы по предварительному монтажу (демонтажу) двигателей, колес и т.п.;
- подготовка к работе средств технического обслуживания.

В целях исключения влияния характеристик названных работ на расчетные значения показателей ЭТ при отработке методик оценки ЭТ был разработан типовой состав работ, характеристики которых учитываются при определении продолжительности и трудоемкости форм ТО:

1. Работы по определению технического состояния.
2. Зарядно-заправочные и смазочные работы.
3. Восстановительные работы.
4. Вспомогательные работы, обеспечивающие выполнение целевых работ.

5. Работы по обеспечению коммерческой загрузки.

Работы по определению технического состояния включают: осмотры и проверки объекта технического обслуживания как с применением средств контроля, так и без них; обработку и анализ полетной информации.

Зарядно-заправочные и смазочные работы включают:

- контроль наличия рабочего тела;
- заправку и зарядку систем рабочими жидкостями и газами;
- замену рабочего тела;
- возобновление смазки агрегатов и соединений конструкции самолета.

Восстановительные работы включают:

- регулировку объектов ТО на самолете или в лаборатории;
- восстановление исправности (работоспособности) элементов конструкции на борту самолета, в том числе устранение коррозионных повреждений и восстановление противокоррозионных покрытий;

замену агрегатов, узлов, деталей на борту самолета.

Вспомогательные работы включают:

- работы по обеспечению доступа к объекту обслуживания;
- демонтажно-монтажные работы для обеспечения обслуживания объекта вне самолета;
- слив, стравливание давления рабочих тел для обеспечения обслуживания систем самолета;
- чехление, установку заглушек, швартовку, установку колодок, подключение источников энергии, заземление и т.п.;
- подсоединение, включение, прогрев и настройку средств контроля после подключения к объекту контроля;
- внутреннюю уборку и обслуживание мягкого инвентаря бытового оборудования.

Работы по обеспечению коммерческой загрузки включают посадку—высадку пассажиров, погрузку — выгрузку багажа и т.п.

В свою очередь при расчете показателей ЭТ на этот состав работ накладываются следующие ограничения:

1. Не учитываются следующие работы:

наружная мойка самолета;

работы по доставке демонтированного оборудования в лабораторию и на самолет;

работы по развертыванию средств технического обслуживания, выполнение которых возможно до начала обслуживания;

работы, выполняемые водителями специальных машин, направленные на обеспечение функционирования средств обслуживания;

работы по доставке необходимых средств обслуживания, контроля, инструмента, запасных частей, расходных материалов и т.п. на техническую позицию.

2. Частота выполнения работ по внутренней уборке и обслуживанию бытового оборудования и обработке санузлов самолета принимается равной одному разу за летный день.

3. Дозаправка систем рабочими жидкостями и газами производится в конце летных суток.

4. Перемещений (перекаток) самолета в процессе ТО нет, самолет на техническую позицию и с нее буксируется.

5. В течение летного дня выполняются следующие виды ТО:

предполетное ТО, выполняемое один раз в летный день перед первым полетом (по существующему РО - работы по обеспечению первого вылета и включающее работы после стоянки, работы по форме АО и работы по обеспечению вылета;

транзитное ТО, выполняемое перед каждым последующим полетом, включающее работы по встрече самолета (BC), работы по форме  $A_T(A_1)$  и работы по обеспечению вылета;

послеполетное ТО, выполняемое в базовом аэропорту в конце летного дня, включающее работы по встрече (BC), работы по форме  $A_B(A_2)$  и работы по обеспечению стоянки (OC);

базовое ТО, выполняемое в базовом аэропорту по календарным срокам, включающее работы по встрече, по форме Б и по обеспечению стоянки.

6. Периодическое ТО предусматривает выполнение ряда форм ТО с установленной периодичностью.

Учет продолжительности и трудоемкости работ по ТО базируется на приведенном составе работ, причем трудоемкость форм ТО детализируется (раскладывается) на трудоемкость ТО отдельных систем, их подсистем и агрегатов, а также по типам работ (контроль, осмотр и пр.). Данные эксплуатирующих подразделений ориентированы на учет трудозатрат по производственным участкам, отдельным специальностям исполнителей. В силу этого для сравнения данных промышленности и эксплуатации необходимо проведение дополнительных исследований в целях приведения их к единому виду, так как различие в этих данных создает при работе с ними большие трудности, в том числе и при отработке нормативных уровней показателей ЭТ.

Выходом из такой ситуации может быть создание для типа ВС единого от проектирования до эксплуатации банка данных о трудозатратах на ТОиР.

## **4.2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНЗИТНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И МЕЖДУРЕЙСОВЫЕ ПРОСТОИ**

### ***4.2.1. Характеристики транзитного ТО***

Особое место среди нормируемых показателей эксплуатационной технологичности занимает показатель «продолжительность транзитного ТО». Нормирование этого показателя при заданной расчетной интенсивности суточной эксплуатации (количестве полетов и их продолжительности) по существу регламентирует продолжительность всех форм оперативного ТО. Для того чтобы показать, что суточный налет самолета может достигать заданной величины, необходимо построить временную цепочку, включающую продолжительность предполетного ТО, продолжительность нахождения в полете (произведение количества полетов на их продолжительность), продолжительность выполнения всех транзитных ТО и продолжительность послеполетного либо базового ТО. Суммарная продолжительность такой цепочки, естественно, ограничена 24 часами, что влечет за собой необходимость определения продолжительности предполетного, послеполетного и базового ТО. В свою очередь решение задачи обеспечения интенсивности эксплуатации во многом предопределяет обеспечение необходимого уровня готовности и регулярности.

Такая высокая значимость показателя «продолжительность транзитного ТО» требует от разработчика самолета проведения конструктивных мероприятий, позволяющих максимально сократить объем работ транзитного ТО и обеспечить высокий уровень ЭТ.

В результате транзитное ТО современных самолетов включает в себя типовой объем работ, который можно представить в виде следующих групп работ:

работы по приему самолета на стоянку (установка колодок, заземление и т.п.);

работы по осмотру самолета с земли в целях обнаружения внешних повреждений;

отдельные проверки работоспособности приборного и радиоэлектронного оборудования (как исключение);

внутренняя уборка (по требованию экипажа);

заправка топливом;

посадка — высадка пассажиров;

погрузочно-разгрузочные работы (обслуживание багажа, буфета и т.п.);

работы по выпуску самолета со стоянки (уборка колодок, отключение источников питания и т.п.).

Работы первой и последней групп являются критическими, т.е. не могут быть совмещены по времени выполнения с работами других групп, и находятся соответственно в начале и конце ТГ. Работы же остальных групп должны быть расставлены на ТГ в такой последовательности, чтобы обеспечить выполнение формы ТО с минимальной продолжительностью. Различные варианты совмещения этих работ во времени представлены на ТГ транзитного ТО самолетов Ан-24, Ту-134, Ту-154, Як-40, Як-42, Ил-62 и Ил-86 (рис. 4.2—4.8), которые построены на основании результатов испытаний, проведенных предприятиями промышленности, а ТГ самолетов Як-42 и Ил-86 — по данным совместных с промышленностью испытаний в эксплуатации.

Приведенные ТГ наглядно свидетельствуют о том, что для всех приведенных типов самолетов работы по заправке топливом и посадка — высадка пассажиров являются критическими. Этот факт объясняется тем, что, во-первых, совмещение выполнения этих работ запрещено Руководством по технической эксплуатации, во-вторых, продолжительность их выполнения не может быть сокращена путем привлечения дополнительного числа исполните-

лей. Поэтому эти работы выполняются в следующем технологическом порядке: высадка пассажиров - заправка топливом - посадка пассажиров. Группа работ по осмотру самолета с земли и проверке работоспособности оборудования, как правило, выполняется одновременно с работами по заправке и посадкой — высадкой пассажиров. То обстоятельство, что продолжительность их выполнения может регулироваться путем изменения количества привлекаемых исполнителей, позволяет говорить о возможности исключения их из числа критических работ.

Следует отметить, что технология заправки самолетов топливом предусматривает выполнение после, а иногда и до непосредственной заправки топливом отстоя топлива в течение 10—15 мин с последующим сливом отстоя для определения наличия воды в топливе. Поэтому у ряда самолетов к критическим работам относится отстой топлива и его слив, причем наличие в критических работах отстоя топлива создает дополнительный резерв времени для выполнения работ по осмотру и проверке функционирования систем самолета (при необходимости).

Отметим также, что практика эксплуатации зарубежных типов самолетов допускает совмещение работ по посадке — высадке пассажиров с заправкой топливом, что отражено в эксплуатационной документации этих самолетов и регулируется национальными правилами большинства государств.

Аналогично работам по осмотру и проверке работоспособности погрузочно-разгрузочные работы могут быть выполнены одновременно с критическими работами по посадке—высадке пассажиров и заправке топливом. Однако, если продолжительность осмотров и проверок может варьироваться количеством исполнителей, продолжительность погрузочно-разгрузочных работ во многом определяется организационными факторами.

Для самолетов большой пассажироместимости в число критических работ может попадать внутренняя уборка. В этом случае цепочка критических работ принимает вид: высадка пассажиров — внутренняя уборка — посадка пассажиров. Однако в условиях отсутствия механизации уборки салонов время внутренней уборки может регулироваться количеством уборщиков, т.е. продолжительность внутренней уборки путем улучшения организации обслуживания может быть сведена к продолжительности, например, заправки топливом и тем самым исключена из числа критических работ.

На рис. 4.2 и 4.3 представлены ТГ транзитного ТО самолетов Як-40 и Ан-24. Продолжительность транзитного ТО этих самолетов определяется работами по приему на стоянку, высадкой пассажиров, заправкой топливом с последующим сливом отстоя и работами по выпуску самолета со стоянки и составляет для Як-40 33 мин, а для Ан-24 - 35 мин.

В РО самолетов Ту-134 и Ту-154 отсутствуют работы по сливу отстоя топлива после заправки. Поэтому для них по ТГ (рис. 4.4 и 4.6) продолжительность транзитного ТО определяется работами по приему на стоянку, осмотру самолета и работами по выпуску со стоянки для самолета Ту-134, а для самолета Ту-154 - и посадкой пассажиров. В случае выполнения осмотра этих самолетов по маршруту двумя специалистами критическими станут работы по высадке пассажиров и заправке топливом. В приведенном варианте ТГ продолжительность транзитного ТО самолета Ту-134 составляет 37 мин, а самолета Ту-154 - 54 мин.

Самолеты Як-42 и Ил-62 представлены ТГ (рис. 4.5 и 4.7) с критическими работами: прием на стоянку, высадка пассажиров, заправка топливом, посадка пассажиров и выпуск со стоянки. Как было сказано ранее, возможности сокращения продолжительности транзитного ТО при таком составе критических работ очень ограничены. Продолжительность транзитного ТО самолета Як-42 составляет 50 мин, а самолета Ил-62 - 63 мин.

У самолета Ил-86 работами, определяющими продолжительность транзитного ТО (рис. 4.8), являются: прием на стоянку, высадка пассажиров, уборка салонов, посадка пассажиров и выпуск самолета со стоянки. Очевидно, что с увеличением числа исполнителей, выполняющих уборку салонов, критическими станут работы по заправке топливом. Продолжительность транзитного ТО самолета Ил-86 составляет 66 мин.

Наименование работы	Кол-во спец-тов (номер)	СНО	Время, мин							T <sub>i</sub> чел.-ч
			0	10	20	30	40	50		
Заземление самолета	3	-	[Горизонтальная линия от 0 до 10]							0.017
Пров-ка токопроводов и установка колодок	1.2	-	[Горизонтальная линия от 0 до 10]							0.067
Подключение наземного электропитания	3	АПА	[Горизонтальная линия от 10 до 20]							0.033
Слив отстоя	1	-	[Горизонтальная линия от 10 до 15]							0.033
Осмотр с земли вз, виа, лопа-ток КНД	2	-	[Горизонтальная линия от 10 до 20]							0.150
Высадка пассажиров	-	-	[Горизонтальная линия от 10 до 15]							0.000
Осмотр по маршруту	3	-	[Горизонтальная линия от 10 до 20]							0.217
Подготовка к заправке топливом	1	ТЗ	[Горизонтальная линия от 10 до 15]							0.017
Заправка топливом	1	ТЗ	[Горизонтальная линия от 10 до 15]							0.100
Уборка салона /кабины/	-	-	[Горизонтальная линия от 10 до 15]							0.000
Заключительные работы по заправке топливом	1	ТЗ	[Горизонтальная линия от 10 до 20]							0.017
Осмотр антенн Р90	3	-	[Горизонтальная линия от 10 до 20]							0.017
Проверка бортрегистратора (по требов.)	4	-	[Горизонтальная линия от 10 до 20]							0.000
Посадка пассажиров	-	-	[Горизонтальная линия от 10 до 15]							0.000
Слив отстоя после заправки	3	-	[Горизонтальная линия от 10 до 15]							0.050
Подготовка к запуску двигателя	1	-	[Горизонтальная линия от 10 до 15]							0.067
Осмотр люков, дверей	2	-	[Горизонтальная линия от 10 до 15]							0.017
Отключение заземления	3	-	[Горизонтальная линия от 10 до 15]							0.017
Уборка колодок	3	-	[Горизонтальная линия от 10 до 15]							0.017
Отключение наземного электропитания	2	АПА	[Горизонтальная линия от 10 до 15]							0.017
<b>■</b> - критические работы; <b>▬</b> - некритические работы; <b>••••</b> - резерв времени									Итого:	0.850

Рис. 4.2. Технологический фафик транзитного ТО самолета Як-40

Наименование работы	Кол-во спец-тов (номер)	СНО	Время, мин					T <sub>i</sub> чел.-ч
			0	10	20	30	40	
Заземление самолета	3	-	[Critical work bar from 0 to ~2 min]					0.017
Пров-ка токосъемов и установка колодок	1.2	-	[Critical work bar from 0 to ~2 min]					0.067
Прослуш-е роторов на выбеге	3	АПА	[Non-critical work bar from ~2 to ~5 min]					0.033
Подключение наземного электропитания	1.2	-	[Non-critical work bar from ~2 to ~5 min]					0.067
Высадка пассажиров	-	-	[Non-critical work bar from ~5 to ~10 min]					0.000
Слив отстоя	1	-	[Non-critical work bar from ~10 to ~12 min]					0.050
Осмотр по маршруту	3	-	[Non-critical work bar from ~10 to ~20 min]					0.150
Подготовка к заправке топливом	1	ТЗ	[Non-critical work bar from ~10 to ~12 min]					0.017
Заливка топливом	1	ТЗ	[Non-critical work bar from ~10 to ~15 min]					0.150
Уборка салона /кабины/	-	-	[Non-critical work bar from ~10 to ~20 min]					0.000
Осмотр антенн Р90	3	-	[Non-critical work bar from ~15 to ~20 min]					0.033
Осмотр ПВД	3	-	[Non-critical work bar from ~15 to ~30 min]					0.067
Посадка пассажиров	-	-	[Non-critical work bar from ~15 to ~20 min]					0.000
Проверка работоспособности навигационных огней	4	-	[Non-critical work bar from ~15 to ~20 min]					0.050
Заключительные работы по заправке топливом	1	ТЗ	[Non-critical work bar from ~20 to ~25 min]					0.017
Проверка работоспособности приборного оборудования	4	-	[Non-critical work bar from ~20 to ~25 min]					0.017
Проверка бортрегистратора	5	-	[Non-critical work bar from ~20 to ~25 min]					0.017
Слив отстоя /после заправки/	1	-	[Non-critical work bar from ~20 to ~25 min]					0.033
Подготовка к запуску двигателей	1	-	[Non-critical work bar from ~20 to ~25 min]					0.050
Осмотр люков, дверей	2	-	[Non-critical work bar from ~20 to ~25 min]					0.033
Отключение заземления	3	-	[Non-critical work bar from ~25 to ~30 min]					0.017
Уборка колодок	3	-	[Non-critical work bar from ~25 to ~30 min]					0.017
Отключение наземного электропитания	2	-	[Non-critical work bar from ~25 to ~30 min]					0.017
Итого:							0.917	

— критические работы;    — • • • — некритические работы;    • • • • — резерв времени

Рис. 4.3. Технологический график транзитного ТО самолета Ан-24

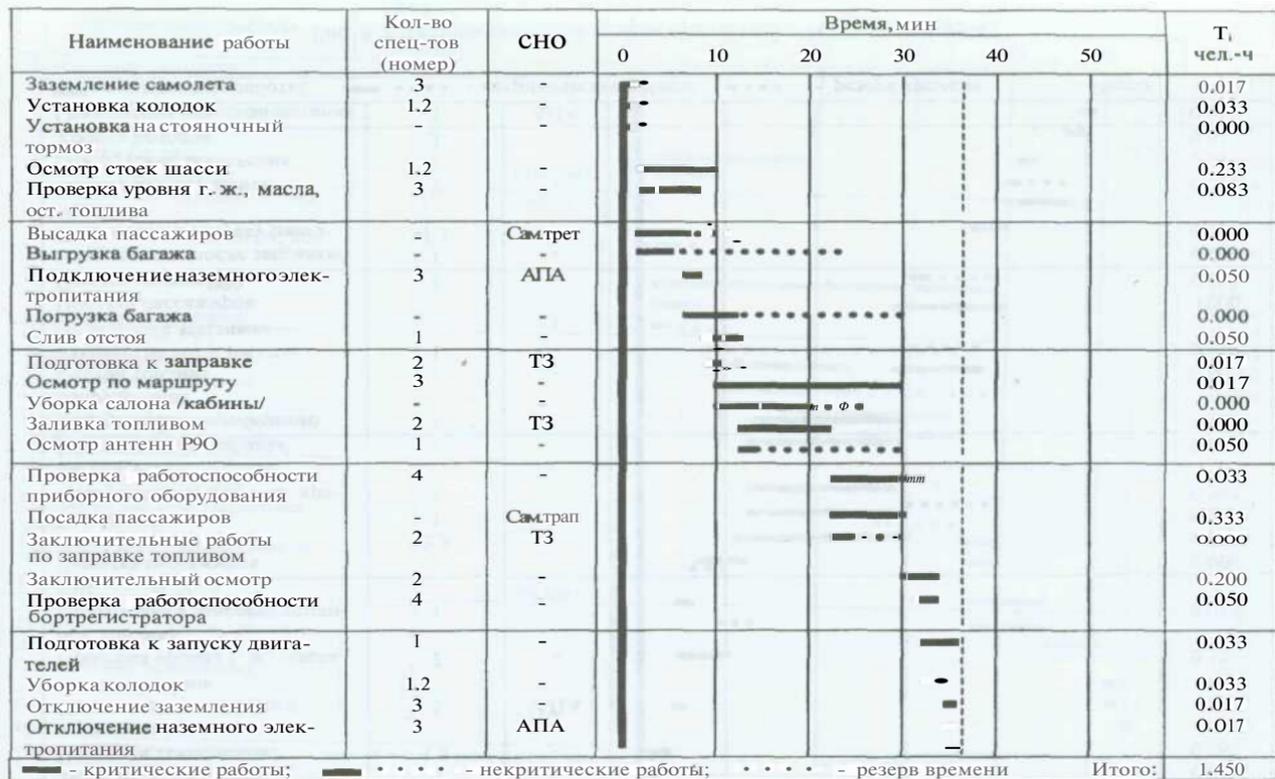


Рис. 4.4. Технологический график транзитного ТО самолета Ту-134

Наименование работы	Кол-во спец-тов (номер)	СНО	Время, мин					T <sub>г</sub> чел.-ч
			0	10	20	30	40	
Заземление самолета	3	-	[Critical bar from 0 to ~3]					0.017
Проверка токосъемов и установка колод	1.2	-	[Critical bar from 0 to ~1.2]					0.067
Подключение наземного электропитания	3	АПА	[Critical bar from 0 to ~3]					0.033
Проверка уровня г. ж., масла, ост. топлива	2	-	[Critical bar from 0 to ~2]					0.133
Подготовка к заправке топливом	1	-	[Critical bar from 0 to ~1]					0.017
Высадка пассажиров	-	-	[Critical bar from 0 to ~0.5]					0.000
Осмотр по маршруту	2.3	-	[Critical bar from 0 to ~2.3]					0.333
Заливка топливом	1	-	[Critical bar from 0 to ~1]					0.250
Обслуживания ЭО, пож. кра-на, осв. ост.	4	-	[Critical bar from 0 to ~4]					0.267
Уборка салона /кабины/	-	-	[Critical bar from 0 to ~0.5]					0.000
Обслуживание приборного оборудования	5	-	[Critical bar from 0 to ~5]					0.250
Отстой топлива	-	-	[Critical bar from 0 to ~0.5]					0.000
Заключительные работы по заправке топливом	1	-	[Critical bar from 0 to ~1]					0.017
Посадка пассажиров	-	-	[Critical bar from 0 to ~0.5]					0.000
Осмотр антенн Р90	3	-	[Critical bar from 0 to ~3]					0.017
Слив отстоя /после заправки/	1	-	[Critical bar from 0 to ~1]					0.050
Подготовка к запуску двигателей	1.3	-	[Critical bar from 0 to ~1.3]					0.267
Осмотр люков, дверей	2	-	[Critical bar from 0 to ~2]					0.017
Отключение заземления	2	-	[Critical bar from 0 to ~2]					0.017
Уборка колодок	3	-	[Critical bar from 0 to ~3]					0.017
Отключение наз-го эл-питания	3	АПА	[Critical bar from 0 to ~3]					0.017
Итого:							1.783	

Рис. 4.5. Технологический график транзитного ТО самолета Як-42

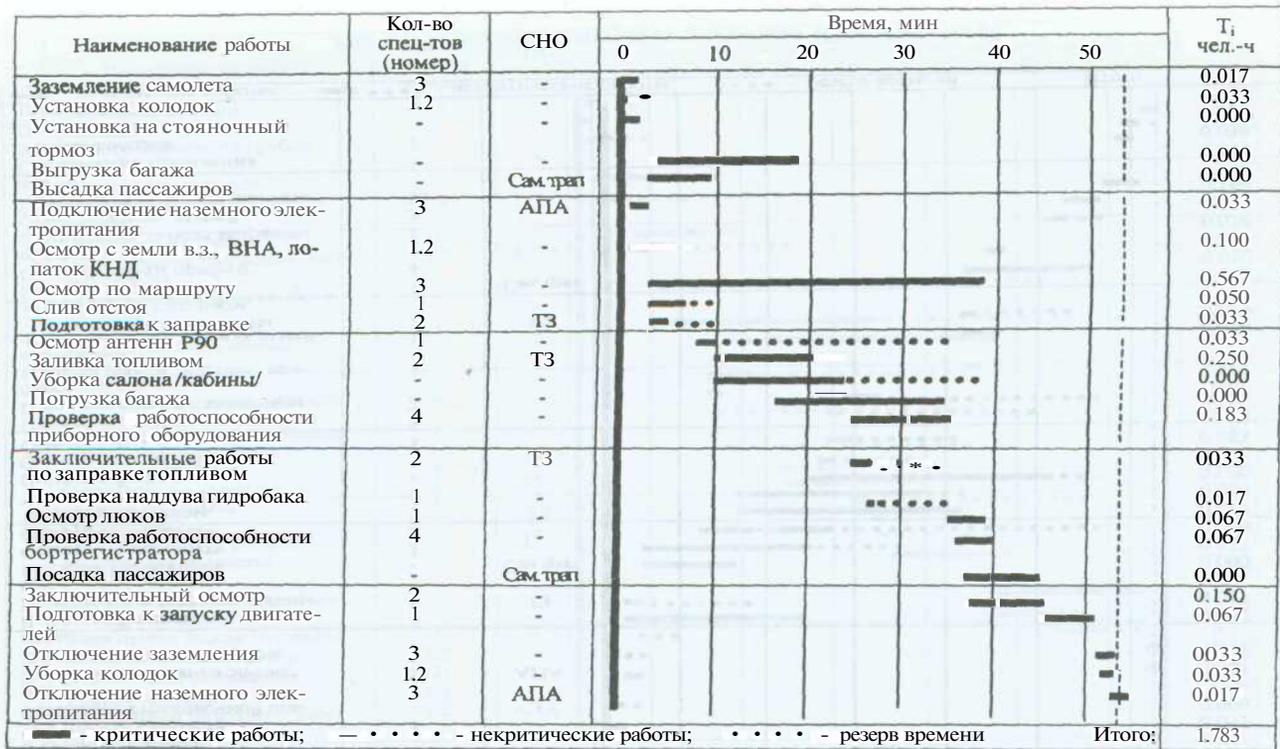


Рис. 4.6. Технологический график транзитного ТО самолета Ту-154

Наименование работы	Кол-во спец-тов (номер)	СНО	Время, мин								T <sub>i</sub> чел.-ч
			0	10	20	30	40	50	60		
Проверка токоъемников и установка колод	1,2	-	[Critical work bar from 0 to 10 min]								0.067
Заземление самолета	3	-	[Critical work bar from 0 to 5 min]								0.033
Установка страховочной опоры	-	-	[Non-critical work bar from 5 to 10 min]								0.000
Подключение наз-го эл-пит	3	АПА	[Critical work bar from 5 to 10 min]								0.033
Осмотр указателей грубой посадки	1	-	[Non-critical work bar from 5 to 10 min]								0.017
Выгрузка багажа	-	-	[Critical work bar from 10 to 20 min]								0.000
Подготовка к заправке топливом	1	ТЗ	[Non-critical work bar from 10 to 20 min]								0.017
Высадка пассажиров	-	Сам.треп	[Critical work bar from 10 to 20 min]								0.000
Осмотр по маршруту	3	-	[Non-critical work bar from 10 to 20 min]								0.333
Осмотр стоек шасси	2	-	[Non-critical work bar from 10 to 20 min]								0.250
Заправка топливом	1	ТЗ	[Critical work bar from 10 to 20 min]								0.417
Уборка салона /кабины/	-	-	[Non-critical work bar from 10 to 20 min]								0.000
Погрузка багажа	-	-	[Non-critical work bar from 10 to 20 min]								0.000
Осмотр антенн Р90	3	-	[Non-critical work bar from 10 to 20 min]								0.017
Осмотр ПВД	3	-	[Non-critical work bar from 10 to 20 min]								0.083
Проверка зарядки кислородом	2	-	[Non-critical work bar from 10 to 20 min]								0.033
Проверка воды в балластном баке	2	-	[Non-critical work bar from 10 to 20 min]								0.100
Пров-ка раб-ти ЭО, пож. крана, осв, ост.	4	-	[Non-critical work bar from 10 to 20 min]								0.033
Пров-ка раб-ти навиг-х огней	5	-	[Non-critical work bar from 10 to 20 min]								0.050
Заключительные работы по заправке топливом	1	ТЗ	[Non-critical work bar from 10 to 20 min]								0.017
Посадка пассажиров	-	Сам.треп	[Critical work bar from 20 to 30 min]								0.000
Пров-ка раб-ти приб-го оборуд-я	4	-	[Non-critical work bar from 20 to 30 min]								0.050
Слив отстоя /после заправки/	1	-	[Non-critical work bar from 20 to 30 min]								0.050
Осмотр люков, дверей	3	-	[Non-critical work bar from 20 to 30 min]								0.083
Подготовка к запуску двигателей	2	-	[Non-critical work bar from 20 to 30 min]								0.100
Отключение заземления	3	-	[Non-critical work bar from 20 to 30 min]								0.017
Уборка колодок	3	-	[Non-critical work bar from 20 to 30 min]								0.033
Отключение наз-го элек-тропитания	-	-	[Non-critical work bar from 20 to 30 min]								0.000
■ - критические работы, ■ . . . ■ - некритические работы; . . . . - резерв времени										Итого:	1,833

Рис. 4.7. Технологический график транзитного ТО самолета Ил-62

Наименование работы	Кол-во спец-тов (номер)	СНО	Время, мин						Т, чел.-ч
			0	10	20	30	40	50	
Установка колодок	1.2	-	█						0.067
Заземление самолета	3	-	█						0.017
Осмотр указателей грубой посадки	3	-	█						0.083
Высадка пассажиров	-	-	█						0.000
Прослушивание роторов на выбеге	1.2	-	█						0.133
Осмотр стоек шасси	3	-	█						0.167
Подключение наземного электропитания	1.2	АПА	█						0.133
Осмотр гондол двигателей и пилонов	2	-	█						0.433
Осмотр по маршруту	1	-	█						0.400
Уборка салона /кабины/	-	-	█						0.000
Слив отстоя	3	-	█						0.017
Проверка работоспособности эл-го оборудования	4	-	█						0.017
Проверка работоспособности навигационных огней	5	-	█						0.033
Осмотр антенн Р90	4	-	█						0.033
Подготовка к заправке	3	ТЗ	█						0.033
Заправка топливом	3	ТЗ	█						0.183
Осмотр РВП	3	-	█						0.033
Заключительные работы по заправке топливом	1	ТЗ	█						0.017
Отстой топлива	-	-	█						0.000
Проверка наддува гидробака	-	-	█						0.000
Посадка пассажиров	-	-	█						0.000
Слив отстоя /после заправки/	3	-	█						0.117
Заключительный осмотр	1.2	-	█						0.200
Отключение заземления	3	-	█						0.033
Уборка колодок	1.2	-	█						0.067
Отключение наземного электропитания	1.2	АПА	█						0.033
█ - критические работы; █ . . . . - некритические работы; . . . . - резерв времени								Итого:	2.350

Рис. 4.8. Технологический график транзитного ТО самолета Ил-86

#### 4.2.2. Междурейсовые простои

Необходимо отметить, что при реальной эксплуатации самолетов их технические возможности используются далеко не полностью. Так, междурейсовые простои в транзитных аэропортах значительно превосходят продолжительность транзитного обслуживания. Исходные данные и результаты расчета междурейсовых простоев представлены в табл. 4.1. Исходными данными для расчета послужили годовой налет самолета -  $\tau_{200}$ , продолжительность типового полета -  $\tau_n$ , число полетов в год -  $n_{пол}$ , число посадок на один парный рейс -  $m_{noc}$ , доля времени в рейсе в годовом фонде времени -  $\bar{t}$ , полученные по данным эксплуатации.

Продолжительность транзитного обслуживания самолетов взята по ТГ, представленным на рис. 4.2 — 4.8.

Остальные параметры табл.4.1 были получены расчетом по следующим выражениям:

число вылетов с базового аэропорта

$$n_{баз} = \frac{n_{noc}}{m_{noc}}; \quad (4.1)$$

число транзитных вылетов

$$n_{тр} = n_{баз} (m_{noc} - 1) = \frac{n_{noc} (m_{noc} - 1)}{m_{noc}}; \quad (4.2)$$

суммарная годовая продолжительность транзитного обслуживания

$$t_{тр}^{сум} = t_{тр} n_{тр}; \quad (4.3)$$

доля простоев на транзитном обслуживании в годовом фонде времени

$$\bar{t}_{тр}^{сум} = \frac{t_{тр}^{сум}}{8760}; \quad (4.4)$$

доля годового налета в годовом фонде времени

$$F_{200} = \frac{\tau_{200}}{8760}; \quad (4.5)$$

доля междурейсовых простоев в транзитных аэропортах

$$\bar{i}_{\text{мр}} = \bar{i}_{\text{р}} - (\bar{\tau}_{\text{год}} + \bar{i}_{\text{мр}}^{\text{сум}}); \quad (4.6)$$

междурейсовый простой самолета в транзитном аэропорту:  
на 1 вылет

$$t_{\text{мр.л}} = 8760 \frac{\bar{i}_{\text{мр}}}{n_{\text{мр}}}; \quad (4.7)$$

на 1 ч налета

$$t_{\text{мр.ч}} = \frac{t_{\text{мр.л}}}{\tau_{\text{л}}}. \quad (4.8)$$

Приведенные в табл. 4.1 данные показывают, что междурейсовые простои в транзитном аэропорту на один вылет превосходят продолжительность транзитного ТО в 2—3 раза. При этом у самолета Як-40 они возрастают по годам эксплуатации с 1.35 до 1.56 ч из-за снижения интенсивности эксплуатации. Различия в интенсивности эксплуатации сказываются на междурейсовых простоях и для самолетов Як-42, Ил-62 и Ил-96.

Подобное соотношение между продолжительностью транзитного ТО и междурейсовыми простоями позволяет сделать вывод о возможности более интенсивного использования самолетного парка без изменения технических характеристик самолетов. Такой вывод подтверждается опытом эксплуатации самолетов, когда отдельные экземпляры имеют годовой налет от 2400 ч для самолетов Як-40 до 4500 ч для самолетов Ил-86.

### 4.3. УДЕЛЬНАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Важнейшими показателями, наиболее часто используемыми для оценки совершенства системы технического обслуживания и ремонта, являются  $K_{\text{T.ТО}}$  - удельная суммарная трудоемкость технического обслуживания и  $K_{\text{T.Р}}$  - удельная суммарная трудоемкость ремонта. Эти показатели определяются как отношение суммарной трудоемкости  $T$  за некоторый период эксплуатации к суммарному налету  $\tau$  ВС за тот же период

$$K_{\text{T}} = \frac{T}{\tau}, \quad (4.9)$$

причем удельная трудоемкость ТО складывается в основном из удельной трудоемкости  $K_{T.OP}$  оперативного ТО, удельной трудоемкости  $K_{T.ПЕР}$  периодического ТО и удельной трудоемкости восстановления  $K_{T.B}$  работоспособного состояния

$$K_{T.TO} = K_{T.OP} + K_{T.ПЕР} + K_{T.B}. \quad (4.10)$$

При анализе показателей  $K_T$  различных типов самолетов необходимо иметь в виду, что удельная трудоемкость периодического ТО и ремонта зависит от трудоемкости форм ТО или ремонта и от количества их выполнений за расчетный период и в общем виде определяется из выражений

$$K_{T.ПЕР} = \frac{\sum(T_j \cdot n_j)}{T} \cdot K_{T.P} = \frac{\sum(T_i \cdot n_i)}{T} \quad (4.11)$$

где  $T_j, T$  — трудоемкость форм периодического ТО и ремонта соответственно;

$n_j, n_i$  — количество выполнений  $j$ -й формы ТО и  $i$ -й формы ремонта за расчетный период.

Удельная трудоемкость оперативного ТО определяется из более сложной зависимости количества выполнений его форм от параметров эксплуатации самолета:

$$K_{T.OP} = \sum_{r=1}^{r=R} \tau_r \left[ \frac{T_4 - T_3}{\tau_4} + \frac{T_1 + T_3}{\tau_{сум}} + \frac{T_2}{\tau_{пол}} \cdot \frac{n_{пол} - 1}{n_{пол}} \right] \quad (4.12)$$

где  $T_1, T_2, T_3, T_4$  — трудоемкость соответственно предполетного, транзитного, послеполетного и базового ТО; при этом надо иметь в виду, что формула (4.12) справедлива для случая, когда базовое еженедельное ТО выполняется в летный день. В ином случае первое слагаемое будет иметь вид

$$- \frac{T_4}{\tau_4};$$

$r=1 \dots R$  — номера вариантов применения самолета;

$\tau_{сум}$  — суточный налет для конкретного варианта применения;

$\tau_{пол}$  — продолжительность полета самолета для варианта  $r$ ;

$n_{пол}$  — количество полетов за летный день для варианта  $r$ ;

$\gamma_r$  — доля налета самолета для варианта  $r$  за расчетный период;

$\tau_4$  — периодичность выполнения базового ТО.

Из приведенного выражения следует, что при сопоставлении величин удельной трудоемкости самолетов необходимо знание особенностей их применения, анализ которых должен определять возможность сопоставления рассматриваемых величин  $K_{ТОП}$

Определение удельной трудоемкости восстановления работоспособного состояния базируется на данных о трудоемкости  $T_{vi}$  восстановления (поиск и устранение отказов и повреждений) за рассматриваемый период. Выражение для определения  $K_{ТВ}$  имеет вид

$$K_{ТВ} = \frac{\sum T_{vi}}{\tau}. \quad (4.13)$$

Трудоемкости работ по ТО отечественных самолетов, которые были получены в последние годы в процессе заводских, государственных и специальных испытаний, имеют существенное расхождение с величинами трудозатрат на ТО по данным эксплуатации. Трудоемкость ТО, получаемая по результатам испытаний предприятиями промышленности, существенно меньше, чем по данным эксплуатации. Естественно, что такое различие в трудоемкости ТО приводит к расхождению значений  $K_{ТТО}$ , рассчитанных по данным промышленности и эксплуатации, что и проиллюстрировано далее.

Значения удельной трудоемкости по данным эксплуатации (табл. 4.2 — 4.4) определялись на основании данных отчетов МГА о трудоемкости ТО и ее распределении между формами ТО.

Исходные данные для расчета удельной трудоемкости оперативного ТО и результаты расчета приведены в табл. 4.5. Величины трудоемкости форм оперативного ТО определялись для всех типов самолетов по результатам специальных испытаний, проведенных промышленностью, а для самолетов Ил-86 и Як-42 — по результатам совместных испытаний. В целях сравнения полученных значений  $K_{ТОП}$  с данными эксплуатации в табл. 4.5 приведены значения  $K_{ТОП}$ , отличающиеся от  $K_{ТОП}$  на удельную трудоемкость  $K_{ту}$  работ по уборке салонов и обработке санузлов в пред-

положении об их выполнении после каждой посадки, а также на удельную трудоемкость работ по восстановлению  $K_{ТВ}$ , принятую равной 15% от  $K_{ТОП}$ . Для самолета Ил-62 в табл. 4.5 значение  $K_{ТУ}$  отсутствует, так как трудоемкость уборки учтена в трудоемкости форм оперативного ТО.

Исходные данные и расчет удельной трудоемкости периодического ТО приведены в табл. 4.6. Величины трудоемкости формы  $\Phi_1$  и дополнительных работ  $Д\Phi$  к форме  $\Phi_1$  взяты по результатам хронометража, проведенного в эксплуатации при отработке Норм времени на самолеты Ан-24, Як-40, Ту-134, Ту-154 и Ил-62. Для самолетов Ил-86 и Як-42 значения трудоемкостей форм приведены по данным совместных испытаний.

Величины удельной трудоемкости ТО и ее составляющих для рассматриваемых типов самолетов по данным эксплуатации и по результатам приведенных расчетов представлены в табл. 4.7.

Как видно из табл. 4.4, удельная трудоемкость оперативного ТО по данным эксплуатации превосходит величины удельной трудоемкости ТО по данным промышленности примерно в 2—3 раза. Причем, если по данным промышленности, в основном, с увеличением взлетной массы происходит и увеличение удельной трудоемкости как оперативного, так и периодического ТО, то по данным эксплуатации такая картина справедлива лишь для периодического ТО.

В целом удельная трудоемкость ТО по данным эксплуатации в 2—2,5 раза превосходит удельную трудоемкость ТО, полученную по данным промышленности.

Обращает на себя внимание тот факт, что для самолета Ил-62, имеющего наибольшую величину продолжительности полета, соотношение удельных трудозатрат оперативного ТО по данным эксплуатации и промышленности минимально. Это можно объяснить тем, что при использовании самолета с большей продолжительностью полета за летные сутки на нем выполняется меньшее количество транзитных ТО. При этом работы с неопределенной периодичностью выполнения (о которых говорилось в подразделе 4.2), а именно: буксировка, мойка и уборка, дозаправка систем самолетов выполняются реже. Различия учета периодичности выполнения этих работ в эксплуатирующих предприятиях и в промышленности для самолета Ил-62 в меньшей степени сказываются при расчете удельной трудоемкости, чем для самолета, на-

пример Ту-134, продолжительность полета которого в 2,6 раза меньше.

Трудоемкости форм периодического ТО имеют тенденцию к снижению по времени эксплуатации. Так, у самолета Ан-24 удельная трудоемкость ТО за последние 15 лет эксплуатации снизилась более чем в 1,5 раза.

Анализ приведенных характеристик ТО отечественных типов самолетов, рассмотренных в данном разделе, показывает, что по удельным затратам труда и времени эти характеристики вполне могут быть доведены до уровня соответствующих зарубежных самолетов-аналогов, так как значительная часть этих затрат определяется организацией и планированием ТО, а не ЭТХ конкретных самолетов и их техническими и эксплуатационными качествами. Сокращение междурейсовых простоев даже при существующей организации ТО вполне может обеспечить годовой и суточный налет на уровне зарубежных авиакомпаний, что подтверждается достигнутой интенсивностью эксплуатации отдельных самолетов.

Расчет междурейсовых простоев самолетов ГА в транзитных аэропортах (конец 80-х годов)

Параметр	Обозначение и размерность	Значения параметров по типам самолетов и годам													
		Як-40		Ан-24		Ту-134		Як-42		Ту-154		Ил-62(М)		Ил-86	
		1984	1987	1984	1987	1984	1987	1984	1987	1984	1987	1984	1987	1984	1987
Годовой налет самолета	$T_{\text{год}}, \text{ч}$	1163	1071	1727	1604	1785	1728	918	1573	1670	1733	1874	2182	899	1482
Продолжительность полета	$T_{\text{п}}, \text{ч}$	1,18		1,29		1,60		1,54		2,25		4,91		2,51	
Число полетов за год	$n_{\text{пол}}$	986	908	1339	1243	1116	1080	596	1021	742	770	382	444	358	590
Число посадок на один парный рейс	$m_{\text{пос}}$	3,32		3,11		2,83		2,79		2,62		2,38		2,29	
Число вылетов с базового аэропорта	$n_{\text{баз}}$	297	273	431	400	394	381	213	366	284	294	160	186	156	258
Число транзитных вылетов	$n_{\text{тр}}$	689	635	908	843	722	699	383	655	459	476	383	258	202	332
Продолжительность транзитного обслуживания	$t_{\text{тр}}, \text{ч}$	0,55		0,58		0,62		0,83		0,90		1,05		1,10	
Суммарная годовая продолжительность транзитного обслуживания	$t_{\text{тр}}^{\text{сум}}, \text{ч}$	379,0	349,3	526,6	488,9	447,6	433,4	317,9	543,7	413,1	428,4	102,2	270,9	222,2	365,2
Доля простоев при транзитном обслуживании в годовом фонде времени	$\bar{t}_{\text{тр}}^{\text{сум}}, \%$	4,33	3,99	6,01	5,58	5,11	4,95	3,63	6,21	4,72	4,89	4,59	3,08	2,54	4,17

Доля годового налета в годовом фонде времени	$\bar{t}_{200}, \%$	13,28	12,23	19,71	18,31	20,38	19,73	10,48	17,96	19,06	19,78	21,39	24,91	10,26	16,92
Доля времени в рейсе в годовом фонде времени	$\bar{t}_p, \%$	28,5	27,5	38,6	37,7	41,0	39,0	27,2	36,0	37,5	38,8	34,7	36,2	18,6	29,1
Доля междурейсовых простоев в транзитных аэропортах	$\bar{t}_M, \%$	10,89	11,28	12,88	13,81	15,51	14,32	13,09	11,85	13,72	14,13	8,72	8,21	5,80	8,01
Междурейсовый простой самолета в транзитном аэропорту:															
на 1 час налета	$t_{м.р.ч}$	1,17	1,32	0,96	1,11	1,18	1,12	1,94	1,03	1,17	1,16	0,41	0,57	1,00	0,84
на 1 вылет	$t_{м.р.л.ч}$	1,39	1,00	1,24	1,44	1,88	1,79	2,99	1,58	2,62	2,60	1,99	2,79	2,52	2,11

Таблица 4.2

**Объем и показатели технического обслуживания самолетов местных  
воздушных линий**

Годы	Объем ТО в производственных единицах, тыс.			Доля оперативного ТО в общем объеме, %	Удельные показатели	
	Общий	Периодическое ТО	Оперативное ТО		$K_{т.то}$ , чел.-ч/ч нал.	$K_{с.то}$ , руб./ч нал.
Самолет Ан-2						
1983	1.650	451	1.199	72.7	4.53	15.51
1984	1.616	487	1.129	69.9	4.66	15.97
1985	1.672	467	1.165	70.9	5.16	17.44
Самолет Л-410						
1983	226.7	26.6	200.1	66.3	15.72	56.23
1984	320.6	32.1	266.5	90.0	16.20	59.76
1985	361.6	32.8	329.0	90.9	15.25	57.55
Самолет Як-40						
1983	691.9	100.4	591.5	65.46	9.66	37.45
1984	670.9	100.9	570.0	64.96	9.76	36.52
1985	631.3	94.9	536.4	64.97	9.29	35.96
Самолет Ан-24						
1983	1.020	169	651	63.4	10.2	39.8
1984	1.037	169	666	63.7	10.0	39.7
1985	970	172	796	62.2	9.6	39.4

Таблица 4.3

**Объем и показатели технического обслуживания самолетов ближних магистральных воздушных линий**

Годы	Объем ТО в производственных единицах, тыс.			Доля оперативного ТО в общем объеме, %	Удельные показатели	
	Общий	Периодическое ТО	Оперативное ТО		$K_{т.то}$ , чел.-ч/ч нал.	$K_{с.то}$ , руб./ч нал.
Самолет Ту-134						
1983	962	120	842	87.5	15.9	59.11
1984	937	115	822	87.7	14.97	60.84
1985	854*	114	740	86.7	12.73	52.95
Самолет Як-42						
1983	4.0	2.3	1.7	42.5	—	
1984	2.8	0.2	2.6	92.85	22.89	86.36
1985	51.0	8.3	42.7	83.72	19.06	72.88

\* Уменьшение объема ТО объясняется сокращением парка из-за списания самолетов старых серий.

Таблица 4.4

**Объем и показатели технического обслуживания дальних и средних магистральных пассажирских самолетов**

Годы	Объем ТО в производственных единицах, тыс.			Доля оперативного ТО в общем объеме, %	Удельные показатели	
	Общий	Периодическое ТО	Оперативное ТО		$K_{т.то}$ , чел.-ч/ч нал.	$K_{с.то}$ , руб./ч нал.
Самолет Ту-154						
1983	992	273	719	72.5	14.9	66.96
1984	1080	270	810	75.0	14.6	65.32
1985	1070	272	798	74.6	13.3	57.91

Годы	Объем ТО в производственных единицах, тыс.			Доля оперативного ТО в общем объеме, %	Удельные показатели	
	Общий	Периодическое ТО	Оперативное ТО		$K_{\text{ТО}}$ , чел.-ч/ч.нал.	$K_{\text{СТО}}$ , руб./ч.нал.
Самолет Ил-62(М)						
1983	241.8	90.5	151.3	62.6	11.30	55.7
1984	271.2	105.5	165.7	61.1	11.74	58.15
1985	234.1	87.4	146.7	62.7	9.83	49-95
Самолет Ил-86						
1983	113.3	29.2	84.1	74.2	53.7	268.4
1984	143.6	30.4	113.2	78.8	50.1	261.5
1985	193.6	49.6	144.0	74.4	43.0	222.8

Таблица 4.5

## Расчет удельной трудоемкости оперативного ТО

Характеристика		Значения параметров по типам самолетов						
		Як-40	Ан-24	Ту-134	Як-42	Ту-154	Ил-62	Ил-86
Трудоемкость работ, чел.-ч	ВС	0,15	0,18	0,30	0,84	0,34	0,49	2,00
	ОС	0,27	0,13	0,40	1,79	0,5		1,60
	ОВ	0,30	0,33	0,74	7,70	1,57	1,81	4,50
	$A_1$	0,62	1,06	1,07	4,66	1,21	8,95	6,70
	$A_2$	1,50	2,28	3,13	22,46	3,42	8,95	44,8
	Б	9,70	6,20	12,00	51,44	14,42	15,3	
Продолжительность полета, ч		1,0	1,0	1,5	2,0	2,2	4,0	2,5
Количество полетов		6	6	6	4	4	2	4
Периодичность базового ТО, ч		60,0	42,0	90,0	160	88,0	56,0	100
Удельная трудоемкость оперативного ТО, чел.-ч/ч.нал		1,40	1,89	1,78	4,66	1,97	3,5	3,52
Удельная трудоемкость уборки		1,00	1,00	1,33	0,80	0,91	—	2,03
Удельная трудоемкость восстановления		0,20	0,28	0,27	0,70	0,30	0,50	0,50
Суммарная удельная трудоемкость оперативного ТО		2,60	3,20	3,40	6,20	3,20	4,00	6,10

Таблица 4.6

## Расчет удельной трудоемкости периодического ТО

Характеристика		Значения параметров по типам самолетов						
		Як-40	Ан-24	Ту-134	Як-42	Ту-154	Ил-62	Ил-86
Трудоём- кость ра- бот, чел.-ч	Ф1 (300 ч)	87,00	159,60	237,90	295,50	350,60	451,70	571,9
	Ф2 (600 ч)	34,24	28,48	52,85	64,10	14,00	10,50	30,23
	Ф3 (900 ч)	55,18	78,90	149,9	229,70	182,04	263,00	410,86
	Ф4 (1200 ч)	53,75	11,70	—	65,10	—	—	—
	Ф5 (1500 ч)	8,87	—	—	—	—	—	—
	Ф6 (1800 ч)	44,79	113,14	160,8	665,60	269,90	400,20	1964,4
	Ф7 (2100 ч)	—	—	—	—	—	—	—
	Ф8 (2400 ч)	—	—	—	65,10	—	—	2,33
	Ф9 (2700 ч)	—	—	29,54	229,70	—	—	—
	Ф10 (3000 ч)	58,40	—	—	74,30	—	—	—
Ф12 (3600 ч)	17,90	1,10	5,70	475,20	89,44	278,43	—	
Удельная трудоёмкость периодического ТО		0,51	0,74	1,15	2,10	1,57	2,11	3,51

Таблица 4.7

## Удельная трудоёмкость технического обслуживания пассажирских самолетов

Тип самолета	Оперативное ТО, чел.-ч./ч нал.		Периодическое ТО, чел.-ч./ч нал.			ТО, чел.-ч./ч нал.		$\frac{K_{ТОП}}{K_{ТТО}}$ $\frac{K_{ТТО}}{K_{ТТО}}$	$\frac{K_{ТОП}}{K_{ТТО}}$ $\frac{K_{ТТО}}{K_{ТТО}}$
	по дан- ным АТБ	по дан- ным про- мышленно- сти	по дан- ным АТБ	по дан- ным ЦНОТ	по дан- ным совме- стной оценки	по дан- ным АТБ	по дан- ным про- мышленно- сти и ЦНОТ		
Ан-2	3,67	—	1,51	—	—	5,18	—	—	—
Л-410	13,86	—	1,39	—	—	15,25	—	—	—
Як-40	7,89	2,99	1,40	0,58	—	9,29	3,57	2,6	2,6
Ан-24	7,89	3,68	1,71	0,85	—	9,60	4,53	2,1	2,1
Ту-134	11,04	3,91	1,69	1,35	—	12,73	5,23	2,8	2,3
Як-42	16,41	5,36	3,19	2,41	4,72	19,60	7,77	3,1	2,5
Ту-154	9,92	3,80	3,38	1,81	—	13,30	5,61	2,6	2,4
Ил-62(М)	6,16	4,60	3,67	2,43	—	9,83	7,03	1,3	1,4
Ил-86	32,00	4,69	11,00	4,04	8,77	43,00	8,73	6,8	4,9

**Примечание.** Приведенные значения показателей учитывают затраты на неплановое ТО.