

А. А. Прейс

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ. ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПРОЦЕССА СТАРЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ САМОЛЕТА

Рассмотрены вопросы надежности авиационной техники. Проведено исследование и выполнен анализ процесса старения (отработки ресурса) функциональных систем самолета при длительной эксплуатации.

Ключевые слова: долговечность, системы, агрегаты, старение, ресурс, надежность.

Несмотря на то, что современный самолет представляет собой сложное конструкторское сооружение, при создании которого используются последние достижения в области радиоэлектроники, двигателестроения, аэродинамики, материаловедения, на сегодняшний день он является одним из самых безопасных видов транспорта для перевозки людей.

Согласно статистике, на дорогах России за 2007 г. погибло более 37 тыс. чел., в авиакатастрофах за этот же период погибло 465 чел.

Проведенные на западе исследования показали, что выгоднее вкладывать государственные деньги в разработку и развитие мероприятий, направленных на повышение безопасности полетов, чем выплачивать многомиллионные страховые выплаты и нести потери от поломки воздушных судов.

Что же такое безопасность полетов? В настоящее время в некоторых документах, учебной и методической литературе безопасность полетов определяется как совокупность свойств авиационной системы, обеспечивающих выполнение полетов без авиационных происшествий. Однако такое определение недостаточно корректно. Очевидно, что никакие свойства или совокупность свойств авиационной системы не могут обеспечивать выполнение полетов без авиационных происшествий. Свойства могут только выражать какие-либо качества системы или каким-либо образом характеризовать ее свойства. Например, у авиационной системы обычно определяют следующие основные свойства: надежность; живучесть; всепогодность.

По аналогии с представленными выше свойствами для авиационной системы можно выделить и такое ее свойство, как *безопасность*. При этом под безопасностью следует понимать отсутствие угрозы для жизни экипажа и пассажиров при эксплуатации авиационной системы. Поскольку основную угрозу для жизни экипажа и пассажиров несут авиационные происшествия, то *безопасность* авиационной системы можно определить как ее способность к функционированию (выполнению полетов) без авиационных происшествий.

Учитывая все эти замечания, можно дать следующее определение термину «*безопасность полетов*»

Безопасность полетов – это совокупность свойств авиационной системы, характеризующих ее способность к функционированию (выполнению полетов) без авиационных происшествий.

При разработке и проектировании самолета, к нему предъявляют самые разнообразные требования, которые зависят от его назначения. К ним можно отнести:

– высокие летные качества: большие скорости, высоты и дальности полета;

– хорошие экономические показатели, а именно малая стоимость производства, низкие эксплуатационные расходы, продолжительный срок службы;

– удобство и простоту обслуживания.

Но все перечисленные выше требования не могут быть реализованы в полной мере, если самолет и его системы не обеспечивают необходимый уровень надежности, который является одним из решающих факторов безопасности полета и успешного выполнения полетного задания.

Статистикой зафиксировано немало случаев, когда отказы или сбои в работе авиационной техники приводили к возникновению в полете особых ситуаций и завершению их авиационными происшествиями. Поэтому решением основной задачи надежности является создание безотказного элемента, агрегата, системы, то есть разработка и исследование способов повышения надежности технических устройств. Для этого необходимо на основании теоретических закономерностей, специальных испытаний и измерений разработать критерии и количественные показатели надежности оборудования, а также методы анализа надежности устройств.

Надежность авиационной техники заключается в ее способности сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонта, хранения и транспортировки. Иными словами, надежность – это свойство объекта выполнять требуемые функции в процессе эксплуатации. Надежность является комплексным свойством, и для ее оценки используются специальные характеристики – *показатели надежности*. Они позволяют оценивать надежность объекта в различных условиях и на разных этапах эксплуатации. На надежность объекта оказывают влияние многочисленные факторы, поэтому количество показателей надежности велико. Показатели надежности по количеству свойств подразделяются на *единичные и комплексные*.

Комплексный показатель относится к нескольким свойствам, определяющим надежность объекта.

Единичный показатель надежности относится к одному из свойств, которые определяют надежность объекта.

Единичные показатели оценивают частные свойства надежности и к ним можно отнести безотказность; долговечность; ремонтпригодность; сохраняемость.

В рамках данной статьи, более подробно будет рассмотрен единичный показатель – *долговечность*. Выполнено

исследование и проведен анализ процесса старения (отработки ресурса) агрегатов и систем самолета в целом.

Авиационная техника должна быть надежна в течение всего срока службы, т. е. в течение календарной продолжительности от начала ее эксплуатации или возобновления после ремонта определенного вида до перехода в предельное состояние.

Долговечность. Время нормального функционирования всякого объекта ограничено неизбежным изменением свойств материалов и деталей, из которых он изготовлен. Длительность этого промежутка времени для разнородных объектов в общем случае различна.

Долговечность – это свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта. Показателями долговечности являются ресурс и срок службы.

В авиационной технике устанавливаются следующие назначенные показатели долговечности:

– назначенный ресурс до первого ремонта (установленная в нормативной документации суммарная наработка от ввода образца авиационной техники в эксплуатацию до его направления в первый ремонт, независимо от технического состояния);

– назначенный межремонтный ресурс (установленная в нормативной документации суммарная наработка от окончания ремонта образца авиационной техники до направления его в очередной ремонт, независимо от технического состояния);

– назначенный ресурс до списания или полный ресурс (установленная в нормативной документации суммарная наработка от ввода образца авиационной техники в эксплуатацию до окончательного снятия его с эксплуатации, независимо от технического состояния);

– гарантийный ресурс, обычно по величине составляет 15–30 % от межремонтного ресурса. Если на образце авиационной техники в течение гарантийного ресурса, не по вине эксплуатирующей организации, происходит отказ или повреждение, то на этот образец составляется рекламационный акт, на основании которого образец восстанавливается силами и за счет предприятия-изготовителя (АПЗ);

– назначенный срок службы до первого ремонта (установленная в нормативной документации календарная продолжительность эксплуатации от ввода образца авиационной техники в эксплуатацию до его направления в первый ремонт, независимо от технического состояния);

– назначенный межремонтный срок службы (установленная в нормативной документации календарная продолжительность эксплуатации образца авиационной техники от окончания ремонта до его направления в очередной ремонт, независимо от технического состояния);

– назначенный срок службы до списания или полный срок службы (установленная в нормативной документации календарная продолжительность эксплуатации от ввода образца авиационной техники в эксплуатацию до окончательного снятия его с эксплуатации независимо от технического состояния).

Вместо наработки (в часах), для некоторых образцов авиационной техники ресурс устанавливается по числу

срабатываний, включений, посадок, запусков. Для авиационных двигателей ресурс устанавливается по нескольким характерным режимам: количество запусков, циклов, суммарная наработка на «форсаже», «максимале», земле и в воздухе.

Все виды ресурсов для авиационной техники используются одновременно и, кроме того, равнозначны, т. е. эксплуатация образца авиационной техники прекращается, если полностью закончился хотя бы один из этих ресурсов.

По мере эксплуатации заложенные запасы уменьшаются («расходуются»), изделие «старее». Чем больше ресурс (срок службы) объекта до наступления предельного состояния, тем больше его долговечность. Наступление предельного состояния можно «отодвинуть» за счет рационально организованного технического обслуживания объекта в процессе его эксплуатации.

При проведении исследования процесса старения самолета использована статистическая информация одной из строевых частей, эксплуатирующей данный тип авиационной техники.

Исследовался процесс старения гидropневматической системы, системы управления самолетом, системы жидкостного охлаждения и наддува блоков РЭО, шасси.

В качестве показателя, характеризующего отработку ресурса (срока службы) агрегатов системы, использована относительная наработка (срок службы) агрегата t_i , определенная как отношение фактической наработки (срока службы) агрегата t_i к его установленному ресурсу (сроку службы) до первого ремонта, межремонтному либо назначенному T_i :

$$\bar{t}_i = \frac{t_i}{T_i}.$$

Для определения отработки ресурса (срока службы) системы в целом, применяется относительная средняя наработка агрегатов \bar{t}_{cp} , т. е. отношение суммы удельных наработок t_i агрегатов, входящих в систему, к их количеству n в исследуемой системе:

$$\bar{t}_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{t}_i}{n}.$$

Расчеты производились как по отработке ресурса в часах (для гидropневматической системы, системы управления самолетом, системы жидкостного охлаждения и наддува блоков РЭО), в посадках (для шасси), так и по отработке срока службы в годах. Для самолетов, не прошедших плановый ремонт, расчеты выполнялись с начала эксплуатации до первого ремонта и с начала эксплуатации до назначенного полного ресурса (срока службы). Для самолетов, прошедших плановый ремонт – с момента окончания ремонта до очередного ремонта и с начала эксплуатации до назначенного полного ресурса (срока службы).

Значения относительной отработки ресурсов функциональных систем в функции налета самолетов, находящихся в эксплуатации, представлены в табл. 1 – для самолетов, не прошедших плановый ремонт по ресурсу, а в табл. 2 – прошедших плановый ремонт по ресурсу.

После выполнения расчетов построены графические зависимости относительной наработки \bar{t}_{cp} агрегатов

функциональных систем в функции наработки (налета, посадок) самолетов по ресурсу.

Гидравлическая система обеспечивает питание гидрориводов самолета гидравлической энергией. Предусмотрено дублирование подачи гидравлической энергии на наиболее важные органы самолета – гидроусилители системы управления. По функциональному назначению гидросистема подразделяется на общую и бустерную.

Пневматическая (газовая) система предназначена для обеспечения сжатым газом (азотом) всех агрегатов, приводимых в действие энергией давления газа, а также для наддува гидробаков и блоков радиооборудования. По своему функциональному назначению газовая система подразделяется на автономные: основную; аварийную; систему наддува блоков радиооборудования; систему наддува гидробаков.

Процессы старения (отработки ресурса) агрегатами гидропневматической системы приведены: рис. 1, 2 – для самолетов не прошедших плановый ремонт; рис. 3, 4 – прошедших первый плановый ремонт.

Характер изменения относительных отработок ресурсов для системы управления самолетом, жидкостного охлаждения и наддува блоков радиоэлектронного оборудования и шасси подобны графическим зависимостям, изображенным на рис. 1–4, здесь не приводятся.

Как было сказано выше, при исследовании процесса старения функциональных систем, расчеты выполнялись как по отработке ресурса, так и по отработке срока служ-

бы в годах с момента выпуска самолетов и до назначенного полного срока службы.

Значения относительной отработки сроков службы функциональных систем в функции времени нахождения в эксплуатации самолетов с момента их выпуска представлены: табл. 3 – для самолетов, не прошедших плановый ремонт, по сроку службы, табл. 4 – прошедших плановый ремонт, по сроку службы.

После выполнения расчетов строим графические зависимости относительной наработки агрегатов функциональных систем в функции календарной продолжительности эксплуатации самолета в годах.

Процесс старения (отработки срока службы) агрегатами гидропневматической системы приведен: рис. 5 – для самолетов, не прошедших плановый ремонт; рис. 6 – прошедших первый плановый ремонт.

Для остальных рассмотренных систем процессы отработки сроков службы протекают аналогично.

Проведенное исследование процесса старения (отработки ресурса и срока службы) агрегатов функциональных систем самолета показывает, что с увеличением наработки (налета, посадок, срока службы) планера происходит увеличение средней относительной наработки агрегатов рассматриваемых систем, т. е. системы стареют. Наибольшему процессу старения, при одних и тех же значениях налета самолета, подвержены агрегаты гидропневматической системы, шасси и системы управления самолета. Наименьшие значения относительной наработки у агрегатов системы жидкостного

Таблица 1

Относительные отработки ресурсов систем самолетов с начала эксплуатации до 1-го ремонта

№ борта	Налет, час	Посадки	Гидропневматическая система (до 1 ремонта /назначенный)	Система управления самолетом (до 1 ремонта /назначенный)	Система жидкостного охлаждения и наддува блоков РЭО (до 1 ремонта /назначенный)	Шасси (до 1ремонта /назначенный)
1	369	475	0,456/0,168	0,402/0,167	0,349/0,124	0,477/0,255
2	255	314	0,315/0,116	0,278/0,115	0,241/0,086	0,315/0,149
3	386	513	0,477/0,176	0,421/0,175	0,365/0,130	0,515/0,243
4	364	436	0,450/0,166	0,397/0,165	0,344/0,123	0,438/0,207
5	441	541	0,545/0,201	0,481/0,200	0,417/0,149	0,543/0,256
6	391	454	0,483/0,178	0,427/0,177	0,369/0,132	0,456/0,215
7	396	455	0,490/0,180	0,432/0,179	0,374/0,134	0,456/0,216
8	406	496	0,502/0,185	0,443/0,184	0,384/0,137	0,498/0,235
9	361	448	0,447/0,165	0,394/0,163	0,341/0,122	0,450/0,212
10	372	486	0,460/0,169	0,406/0,168	0,351/0,125	0,488/0,230
11	209	259	0,258/0,095	0,228/0,094	0,197/0,070	0,260/0,122
12	384	465	0,475/0,175	0,419/0,174	0,363/0,130	0,467/0,220
14	418	525	0,517/0,191	0,456/0,189	0,395/0,141	0,527/0,249
15	410	532	0,507/0,187	0,447/0,186	0,387/0,138	0,534/0,252
16	305	374	0,377/0,139	0,333/0,138	0,288/0,103	0,357/0,177

Таблица 2

Относительные отработки ресурсов систем самолетов, прошедших ремонт

№ борта	Налет/час СНЭ/ ППР	Посадки СНЭ/ ППР	Гидропневматическая система (межремонтный /назначенный)	Система управления самолетом (межремонтный /назначенный)	Система жидкостного охлаждения и наддува блоков РЭО (межремонтный /назначенный)	Шасси (межремонтный /назначенный)
22	704/107	741/136	0,151/0,339	0,145/0,319	0,112/0,236	0,177/0,358
33	784/183	879/251	0,257/0,363	0,245/0,355	0,191/0,263	0,327/0,425
44	852/178	974/239	0,250/0,384	0,239/0,386	0,186/0,286	0,311/0,471

охлаждения и надува блоков РЭО. Это связано с различными установленными ресурсами агрегатов систем.

Но данный факт не может служить фактором, ограничивающим ресурс самолета в целом, так как ресурс агрегатов систем как до первого ремонта, так и до назначенного полного ресурса, приравнен к ресурсу планера, а у некоторых агрегатов значительно больше ресурса самолета.

И заменяются они в процессе эксплуатации только по причине отказа, неисправности, либо до предотказного состояния. За все время эксплуатации не было выявлено ни одного отказа или неисправности агрегатов рассматриваемых систем. Самым важным критерием, ограничивающим долговечность самолета, является усталость конструкции планера. К другим критериям относятся износ пар трения,

Таблица 3

Значения отработки сроков службы систем самолетов, не прошедших ремонт

№ борта	Срок службы	Гидропневматическая система	Система управления самолетом	Система жидкостного охлаждения и надува блоков РЭО	Шасси
1	16 лет 10 мес.	0,755	0,788	0,640	0,760
2	17 лет 2 мес.	0,765	0,798	0,649	0,769
3	17 лет 3 мес.	0,769	0,802	0,653	0,773
4	17 лет 3 мес.	0,769	0,802	0,653	0,773
5	17 лет 2 мес.	0,765	0,798	0,649	0,769
6	17 лет 4 мес.	0,774	0,807	0,656	0,778
7	17 лет 2 мес.	0,765	0,768	0,649	0,769
8	16 лет 11 мес.	0,758	0,790	0,641	0,764
9	16 лет 11 мес.	0,758	0,790	0,641	0,764
10	16 лет 11 мес.	0,758	0,790	0,641	0,764
11	16 лет 9 мес.	0,751	0,784	0,673	0,756
12	16 лет 9 мес.	0,751	0,784	0,673	0,756
14	15 лет 6 мес.	0,693	0,723	0,588	0,697
15	15 лет 6 мес.	0,693	0,723	0,588	0,697
16	15 лет 6 мес.	0,693	0,723	0,588	0,697

Таблица 4

Значения отработки сроков службы систем после ремонта самолетов

№ борта	Срок службы	Гидропневматическая система	Система управления самолетом	Система жидкостного охлаждения и надува блоков РЭО	Шасси
22	20 лет 1 мес.	0,7668	0,7939	0,6984	0,7977
33	20 лет 2 мес.	0,7699	0,7971	0,7013	0,8008
44	20 лет 6 мес.	0,7828	0,8105	0,7130	0,8143

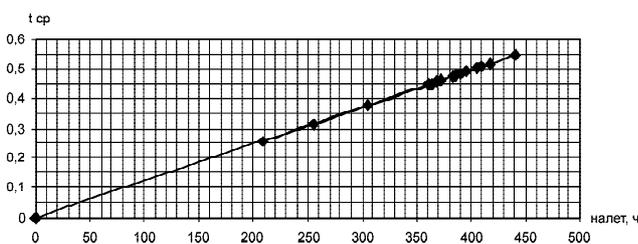


Рис. 1. Зависимость относительной наработки агрегатов гидропневматической системы самолета с начала эксплуатации до 1 ремонта по ресурсу от налета

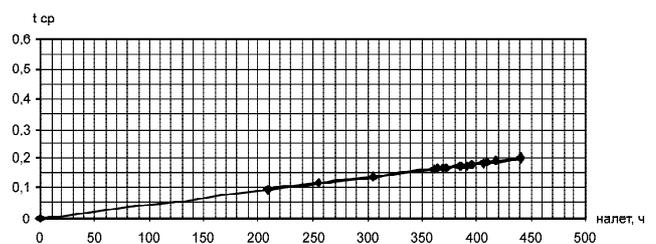


Рис. 2. Зависимость относительной наработки агрегатов гидропневматической системы самолета с начала эксплуатации до назначенного ресурса от налета

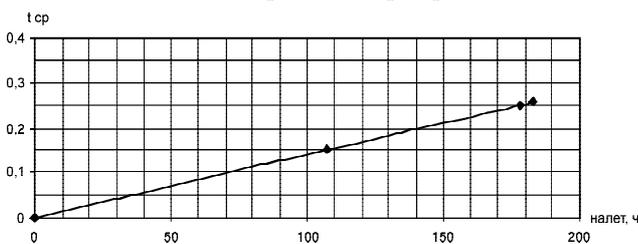


Рис. 3. Зависимость относительной наработки агрегатов гидропневматической системы самолета (прошедших ремонт) с момента окончания ремонта до очередного ремонта по ресурсу от налета

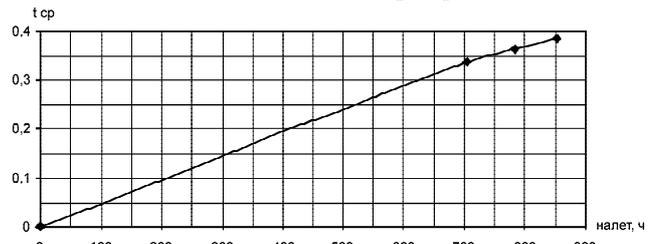


Рис. 4. Зависимость относительной наработки агрегатов гидропневматической системы самолета (прошедших ремонт) с начала эксплуатации до назначенного ресурса от налета

коррозия металлов и деструкция неметаллических материалов. При большой календарной продолжительности эксплуатации самолета происходит «охрупчивание» и растрескивание резиновых деталей и покрытий из герметика, потеря прозрачности остекления, нарушение изоляции электрических проводов. Вот почему долговечность является двухпараметрическим свойством и выражается двумя типами количественных показателей – ресурсами и сроками службы. И если ресурсы характеризуют способность конструкции самолета в процессе длительной эксплуатации нормально воспринимать действующие нагрузки и предельное состояние самолета, при этом определяются износом и усталостной повреждаемостью, то сроки службы выражают свойство конструкции – не стареть.

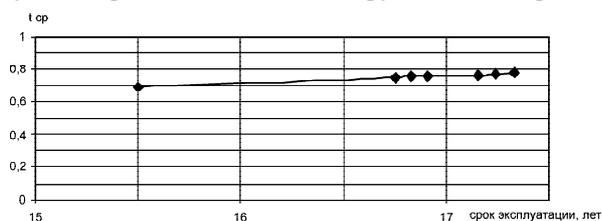


Рис. 5. Зависимость относительной наработки агрегатов гидropневматической системы самолета до назначенного полного срока службы от срока эксплуатации

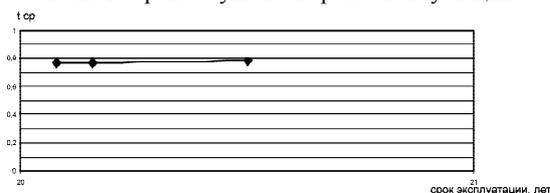


Рис. 6. Зависимость относительной наработки агрегатов гидropневматической системы самолета (прошедших ремонт) до назначенного полного срока службы от срока эксплуатации

При разработке нового самолета конструктор задает расчетные показатели долговечности агрегатов и предусматривает их замену в процессе эксплуатации по выработке ресурса и срока службы, таким образом, задавая верхнюю границу процесса старения, которая не учитывает досрочной замены по отказам и неисправностям (рис. 7). Представляется интерес рассмотреть верхние границы процесса старения систем и сравнить их с эксплуатационными.

График ступенчатого процесса старения системы (рис. 7), заданный конструктором, допускают в определенный период наработки самолета как увеличение относительной наработки ресурсов агрегатов систем до 1, так и уменьшение значения менее 0,1. Увеличение относительной отработки ресурсов агрегатов систем до значений, близких к 1, означает окончание ресурса (до

первого ремонта, межремонтного, либо назначенного полного), а уменьшение – наличие запаса ресурса для выполнения заданных функций.

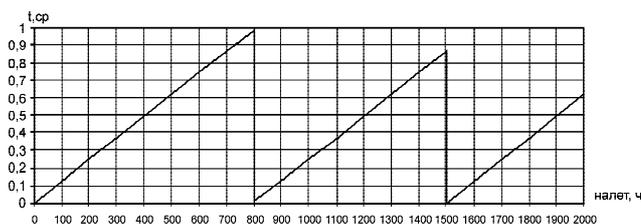


Рис. 7. Заданная конструктором зависимость относительной наработки агрегатов гидropневматической системы самолета до назначенного полного ресурса от налета

Отличительной особенностью самолета является то, что ресурс агрегатов функциональных систем как до первого ремонта, межремонтного так и назначенного полного ремонта, приравнены к ресурсу планера, а у некоторых агрегатов – значительно превышают его.

Пики относительной наработки агрегатов систем приходятся как раз на первый, второй ремонт и на полную выработку ресурса. Агрегаты систем отработывают ресурс до первого ремонта, проходят ремонт на авиаремонтном заводе и продолжают дальнейшую эксплуатацию до второго ремонта. После выполнения второго ремонта агрегаты систем эксплуатируются до полной выработки назначенного полного ресурса.

Максимальные значения отработки ресурса агрегатами рассматриваемых систем приходятся на первый ремонт и это логично, т. к. ресурс до первого ремонта обычно назначается несколько больше, чем межремонтный, поскольку новый самолет обладает большей долговечностью, чем самолет, прошедший первый ремонт.

Конструктор самолета приравнял полный ресурс и полный срок службы агрегатов к назначенному ресурсу и сроку службы самолета, и тем самым исключил замену агрегатов систем по выработке ресурса раньше, чем закончится ресурс планера, что повышает эффективность самолета.

Библиографический список

1. Тихий, И. И. Теоретические основы эксплуатации авиационного оборудования / И. И. Тихий. Иркутск : ИВАИИ, 2004.
2. Когте, Ю. К. Основы надежности авиационной техники / Ю. К. Когте, Р. А. Майский. М. : Машиностроение, 1993.
3. Анцелиович, Л. Л. Надежность, безопасность и живучесть самолета / Л. Л. Анцелиович. М. : Машиностроение, 1985.

А. А. Preis

LONGEVITY. RESEARCH AND ANALYSIS OF AIRPLANE FUNCTIONAL SYSTEM EXHAUST PROCESS

The questions of aviation technique reliability are viewed. The research and analysis of the airplane functional systems exhaust processes during long exploitation is done.

Keywords: longevity, systems, aggregates, aging process, resource, reliability.