

УДК 629.735.3

К ЗАДАЧАМ ПОДДЕРЖАНИЯ ЛЕТНОЙ ГОДНОСТИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ НА ОСНОВЕ МОНИТОРИНГА ИХ РЕСУРСНОГО СОСТОЯНИЯ

Ю.М. ЧИНЮЧИН¹, Н. ОЙДОВ¹

¹*Московский государственный технический университет гражданской авиации,
г. Москва, Россия*

Излагаются основные положения по результатам научных исследований, проведенных в сфере поддержания летной годности воздушных судов и направленных на построение системы мониторинга ресурсного состояния авиационной техники с целью управления ее ресурсными и возрастными параметрами.

В статье под мониторингом понимается последовательный процесс сбора, обработки и анализа информации о ресурсах и сроках службы авиационной техники (самолетов, вертолетов, авиадвигателей и комплектующих изделий) с последующим использованием данной информации для решения задач управления составом и структурой приписного парка воздушных судов авиакомпаний, его обновлением и прогнозированием показателей эффективности процессов эксплуатации.

Отмечаются наиболее важные и сложные компоненты системы мониторинга и ресурсного состояния авиационной техники, в частности: персонифицированный подход к определению рациональных ресурсов и сроков службы авиационной техники; модели прогнозирования и управления отработкой ресурсов воздушных судов; модели принятия решений по увеличению ресурса изделий воздушных судов с учетом стоимости технического обслуживания; обоснование целесообразности доработок авиационных изделий с целью увеличения их ресурсных характеристик; методы определения потребного количества ресурсных изделий с использованием статистической модели; методы оценки аутентичности авиационных компонентов; модели оценки технико-экономической эффективности работ по увеличению индивидуальных ресурсов съемных изделий.

Отдельные компоненты системы мониторинга рассмотрены более подробно с указанием литературных источников.

Ключевые слова: воздушное судно, поддержание летной годности, ресурсы и сроки службы, мониторинг ресурсного состояния, методы и модели установления ресурсов, технико-экономическая оценка.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Высокая стоимость воздушных судов (ВС) приводит к необходимости их эксплуатации в течение 25...30 лет с увеличивающейся интенсивностью до 4000 летных часов (л. ч) в год. Поэтому требуемый назначенный ресурс ВС непрерывно возрастает. В 70-х годах требуемые и достигнутые в эксплуатации ресурсы составляли 25...30 тыс. л. ч. В настоящее время ресурсы длительно эксплуатируемых ВС составляют 50...60 тыс. л. ч (20000...30000 полетов), а проектируемые рассчитываются на 60...80 тыс. л. ч. Как показывает зарубежный опыт, потребный назначенный ресурс конструкции как основной параметр ее долговечности уже достигает 80...100 тыс. л. ч.

Под долговечностью объекта эксплуатации понимают его свойство сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе ТОиР. При этом предельным считается такое состояние объекта, при котором его дальнейшее применение по назначению недопустимо или нецелесообразно.

Долговечность ВС ограничивается предельным состоянием, которое наступает рано или поздно вследствие действующих нагрузок и факторов, ухудшающих его техническое состояние.

Предельное состояние оценивается по соответствующим признакам или критериям, которые устанавливаются главным конструктором и нормами летной годности. Для различных типов ВС, двигателей, агрегатов, устройств они могут быть различными и оговариваются в соответствующей нормативно-технической документации (НТД). Требования НТД

являются обязательными и должны неукоснительно выполняться эксплуатирующими организациями.

Отечественная система контроля за обеспечением безопасной эксплуатации ВС основана на поэтапном установлении ресурса и срока службы, что является принципиальным отличием отечественного подхода к данной проблеме от американского и европейского [1].

Поэтапное установление ресурса и срока службы означает, что эксплуатация ВС по мере их наработки и старения разделяется на этапы. Длительность этапа обычно соответствует межремонтному ресурсу. При вводе парка ВС в эксплуатацию этот ресурс составлял 5000...6000 л. ч, что соответствовало 3...4 годам службы. Для ВС без капитального ремонта этап установления ресурса и срока службы – это те же 3...4 года эксплуатации.

Для каждого этапа на основе опыта эксплуатации, результатов лабораторных испытаний натурной конструкции и прогноза ожидаемых условий эксплуатации ВС устанавливаются величина ресурса и срок службы, а также условия их отработки, при которых гарантируется безопасность полетов. В процессе эксплуатации парка ВС на каждом этапе накапливается новая информация об условиях эксплуатации, о вновь выявленных дефектах, проводятся дополнительные испытания натурной конструкции и разрабатываются технические мероприятия в виде дополнительных условий (либо подтверждение существующих условий) продления ресурса и срока службы для последующего этапа эксплуатации. В пределах очередного этапа установления ресурса и срока службы выявляются практически все недостатки проектирования, изготовления, технического обслуживания и ремонта. Дальнейшее продолжение эксплуатации возможно только после устранения обнаруженных недостатков.

Практика показала, что на каждом из этапов обнаруживался какой-либо новый дефект, причем при малых наработках (начало эксплуатации парка ВС) – это результат просчета при конструировании или при изготовлении. На более поздних этапах появление конструктивно-производственных дефектов становится редкостью, и основную долю составляют дефекты, связанные с дополнительными нагрузками в процессе функционирования, коррозией и другими усложненными условиями эксплуатации ВС.

В соответствии с нормами летной годности конструкция ВС должна быть такой, чтобы под воздействием спектра термомеханических нагрузок в течение назначенного ресурса ее повреждения, которые могут непосредственно привести к катастрофической ситуации, были бы практически невероятными.

Ресурс конструкции ВС устанавливается исходя из ресурсных возможностей отдельных конструктивных элементов, разрушения или появления повреждений в которых могут привести к катастрофической ситуации. Разрушения или повреждения в элементах конструкции, непосредственно не угрожающие безопасности полета, могут не приниматься во внимание при установлении ресурса всей конструкции.

Если для отдельных элементов конструкции, которые могут быть заменены в процессе эксплуатации, имеется свой ресурс, то для конструкции в целом ресурс устанавливают без учета ресурса этих элементов.

По результатам мониторинга ресурсного состояния ВС и их комплектующих изделий, в рамках программы исследований, проводимых учеными и ведущими специалистами в сфере технической эксплуатации отечественной авиационной техники, успешно решен ряд задач, направленных на поддержание летной годности гражданских ВС. Далее рассмотрено содержание наиболее важных решенных задач в данной области исследований.

Назначенный ресурс конструкции ВС, выражаемый количеством летных часов и числом полетов или количеством циклов функционирования, не должен превышать либо допустимую наработку в эксплуатации по условиям выносливости конструкции, либо допустимую наработку в эксплуатации с учетом живучести (безопасного повреждения) конструкции [2].

УСТАНОВЛЕНИЕ ДОПУСТИМОЙ НАРАБОТКИ В ЭКСПЛУАТАЦИИ ПО УСЛОВИЯМ ВЫНОСЛИВОСТИ КОНСТРУКЦИИ

Допустимая наработка в эксплуатации по условиям выносливости конструкции определяется на основе результатов лабораторных испытаний на выносливость конструкции в целом и (или) таких испытаний на выносливость, которые по условиям нагружения приближаются к условиям испытаний конструкции в целом [3].

Допустимая наработка в эксплуатации, соответствующая характеристикам выносливости, определяется делением ее значения на суммарный коэффициент надежности η . Величина суммарного коэффициента надежности η должна определяться как

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4. \quad (1)$$

Числовые значения коэффициентов, входящих в это произведение, принимаются в соответствии с приведенными ниже ограничениями.

1. Величина коэффициента η_1 , учитывающего уровень соответствия структуры программы испытаний на выносливость характеру реальных нагрузок в эксплуатации, принимается равной:

$\eta_1 = 1,0$ при программе испытаний, достаточно полно отражающей совокупность повторяющихся в эксплуатации нагрузок как по величине, так и по последовательности их действия;

$\eta_1 = 1,5$, когда вся совокупность повторяющихся в эксплуатации нагрузок сведена в программе испытаний к последовательности условных циклов с постоянной амплитудой нагрузки.

2. Величина коэффициента η_2 , учитывающего степень опасности разрушения, принимается равной:

$\eta_2 = 1,0$, если испытаниями и (или) расчетом показано, что усталостное повреждение в начале своего развития может быть надежно обнаружено при послеполетных осмотрах и (или) при проведении технического обслуживания наименьшей периодичности;

$\eta_2 = 1,2$ во всех остальных случаях.

3. Величина коэффициента η_3 , учитывающего достоверность данных о повторяемости нагрузок, действующих на ВС, принимается равной:

$\eta_3 = 1,0$, если используются надежные экспериментальные данные о повторяемости нагрузок;

$\eta_3 = 1,5$, если используются усредненные экспериментальные материалы о повторяемости нагрузок без анализа возможных различий в нагружении отдельных групп или экземпляров ВС. С учетом возможных различий в нагруженности η_3 может быть в пределах $1,0 < \eta_3 < 1,5$;

$\eta_3 = 2,0$, если используются материалы о повторяемости нагрузок, полученные на основе приемлемого расчетного метода. При использовании способа оценки повторяемости нагрузок, возможно снижение значения коэффициента вплоть до $\eta_3 = 1,0$.

4. Величина коэффициента η_4 , учитывающего разброс свойств выносливости, принимается в соответствии с табл. 1 и 2 в зависимости от числа испытанных идентичных конструкций.

Таблица 1
Table 1

Число конструкций	1	2	3	4	5	6
η_4	5,0	4,0	3,5	3,2	3,1	3,0

Таблица 2
Table 2

Число конструкций	2	3	4	5	6
N_{max}/N_{min}	1,4	1,7	1,9	2,1	2,3

При испытании на выносливость правый и левый конструктивные элементы считаются идентичными.

Если при испытаниях идентичных конструкций отношение максимального числа циклов (блоков) N_{max} к минимальному N_{min} при достижении одинакового состояния (до образования усталостного повреждения, до возникновения повреждения определенной величины, до полного или частичного разрушения отдельных конструктивных элементов) превышает значения, приведенные в табл. 2, число испытываемых конструкций должно быть увеличено. При возможности увеличения числа конструкций требуемая величина коэффициента надежности определяется по формуле

$$\eta_4 = (\eta_{4\text{табл}})^{\frac{N_{max}/N_{min}}{(N_{max}/N_{min})_{\text{табл}}}}, \quad (2)$$

где $\eta_{4\text{табл}}$ принимается по табл. 1, а (N_{max}/N_{min}) – по табл. 2.

При числе испытанных конструкций больше шести величина η_4 и нормируемое значение N_{max}/N_{min} устанавливаются на основании специального анализа.

УСТАНОВЛЕНИЕ ДОПУСТИМОЙ НАРАБОТКИ В ЭКСПЛУАТАЦИИ С УЧЕТОМ ЖИВУЧЕСТИ (БЕЗОПАСНОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ) КОНСТРУКЦИИ

Допустимая наработка конструкции в эксплуатации с учетом живучести (безотказного повреждения) определяется на основе лабораторных испытаний на выносливость и живучесть конструкции в целом, соответствующих расчетов выносливости, а также таких лабораторных испытаний на живучесть, которые приближаются к условиям испытания конструкции в целом. Лабораторные испытания на живучесть (безопасность повреждения) проводят с целью подтверждения того, что остаточная прочность конструкции при возможном ее усталостном повреждении или частичном (полном) разрушении отдельных конструктивных элементов сохраняет величину, необходимую для обеспечения безопасности полета. Места и степень повреждений, создаваемых при лабораторных испытаниях на живучесть, определяются в зависимости от конкретного типа конструкции, возможности обнаружения повреждения в эксплуатации с учетом контролепригодности конструкции и скорости развития повреждений под действием переменных нагрузок, ожидаемых в эксплуатации [3].

Минимальная допустимая остаточная прочность при наиболее неблагоприятном возможном расположении повреждения (разрушения) по отношению к неповрежденной части конструкции должна соответствовать нагрузке в диапазоне от $0,67P_p$, где P_p – расчетная нагрузка соответствующего случая нагружения, определяющая необходимую прочность рассматриваемого места неповрежденной конструкции. Величина нагрузки в каждом конкретном случае определяется на основе специального анализа.

Допустимая наработка в эксплуатации до начала осмотра и между осмотрами определяется делением ее значения на суммарный коэффициент надежности среднего числа циклов (блоков) испытаний, которые конструкция выдержала, соответственно, до достижения усталостным повреждением его критической величины, и, на стадии развития усталостного повреждения, от его максимального необнаруживаемого в эксплуатации размера до критической величины.

Величина максимального необнаруживаемого в эксплуатации размера усталостного повреждения устанавливается конкретно для каждой рассматриваемой зоны конструкции с учетом разрешающих способностей и методов контроля, применяемых при осмотрах.

Для конструкции, удовлетворяющей требованиям живучести (безопасности повреждения), общая допустимая наработка в эксплуатации может определяться по результатам лабораторных испытаний на выносливость с пониженным суммарным коэффициентом надежности η , однако значение этого коэффициента меньше чем $\eta = 2$ не принимается. При наличии дополнительного анализа возможного взаимного расположения мест возникновения усталостных повреждений, скорости развития повреждений и надежности их обнаружения в эксплуатации, показывающего допустимость эксплуатации по техническому состоянию, как исключение может быть принято значение коэффициента надежности меньше чем $\eta = 2$.

МЕТОДЫ ПРОДЛЕНИЯ РЕСУРСОВ И СРОКОВ СЛУЖБЫ

Проведение работ по продлению ресурсов и сроков службы авиационной техники (АТ) регламентировано в гражданской авиации действующими нормативно-техническими документами [4] и осуществляется:

а) на ВС (самолетах и вертолетах), имеющих Аттестат о годности ВС к эксплуатации и зарегистрированных в Государственном реестре гражданских ВС РФ;

б) на несертифицированных (но имеющих документ, удостоверяющий летную годность их типовой конструкции) авиационных маршевых двигателях, а также воздушных винтах, главных редукторах и вспомогательных двигателях, применяемых на ВС, которые соответствуют пункту (а);

в) на несертифицированных комплектующих изделиях (но имеющих документ, удостоверяющий летную годность их типовой конструкции), которые применяются на изделиях АТ, перечисленных в пунктах (а) и (б).

По вопросам продления ресурсов (сроков службы) изделиям АТ в общем случае предусматривается:

1) подготовка и утверждение Уполномоченными органами ГА и авиационной промышленности директивного документа (Решения) о порядке установления (продления) ресурса, срока службы;

2) подготовка Перечня доказательной документации, обосновывающей необходимость изменения (увеличения) ресурса (срока службы);

3) подготовка и утверждение Уполномоченными органами ГА и авиационной промышленности Решения по установлению для парка, группы и отдельных изделий ресурса (срока службы);

4) разработка и ввод в действие в установленном порядке необходимой эксплуатационной документации (бюллетеней).

Назначенные ресурсы (сроки службы) ВС должны устанавливаться (продляться) исходя из требования обеспечения безопасной летной эксплуатации с учетом экономической эффективности. В свою очередь, ресурсы и сроки службы до первого капитального ремонта, а также межремонтные ресурсы и сроки службы в пределах, установленных назначенных ресурсов и сроков службы ВС, увеличиваются (продляются) исходя из технического состояния изделий, обеспечения безопасности и экономичности эксплуатации.

В зависимости от технического состояния, условий эксплуатации, выбранной стратегии ТОиР ресурсы и сроки службы (назначенные, до первого капитального ремонта и межремонтные) могут устанавливаться (продляться) на парк (группу) или отдельное ВС.

Установление (изменение) ресурса (срока службы) ВС сопровождается одновременным проведением работ по конструкции ВС, несъемному оборудованию, комплектующим изделиям.

Доказательная документация, обосновывающая увеличение ресурсов и сроков службы ВС, должна быть подготовлена на базе натурных (в том числе и летных) испытаний ВС, анализа технического состояния парка ВС (групп, экземпляра), данных по условиям их эксплуатации и нагруженности, а также других необходимых расчетных и экспериментальных исследований.

Доказательная документация должна включать:

а) по назначенному ресурсу и сроку службы – Заключение разработчика ВС, согласованное с соответствующими НИИ авиационной промышленности и ГА. В данном Заключении должны быть определены условия установления и реализации ресурса и срока службы: для парка (группы) или отдельных ВС;

б) по межремонтному ресурсу и сроку службы – Заключение разработчика ВС, согласованное с соответствующими НИИ ГА;

в) Заключение разработчика ВС и соответствующего НИИ ГА по ресурсу и сроку службы (или летной годности) систем ВС;

г) Заключение разработчика комплектующего изделия (при необходимости), согласованное с разработчиком ВС и соответствующими НИИ ГА;

д) научно-технический отчет (техническая справка) соответствующих НИИ ГА, содержащий обобщение опыта эксплуатации парка ВС (изделий);

е) перечень комплектующих изделий с ограниченными ресурсами и сроками службы;

ж) анализ отказобезопасности основных систем, выполненный разработчиком ВС;

з) при необходимости – предложения по корректировке эксплуатационной документации (проект бюллетеня);

и) для агрегатов несущей системы и трансмиссии вертолета – Заключение разработчика ВС, согласованное с соответствующими НИИ авиапромышленности и ГА, об установлении ресурсов (сроков службы) по условиям прочности.

Решение по установлению ресурса и срока службы для парка ВС готовится разработчиком ВС совместно с соответствующим НИИ ГА, согласовывается с Уполномоченным органом авиационной промышленности и утверждается в ГА.

Решение по установлению (изменению) ресурса и срока службы ВС должно включать:

а) назначение ресурса и срока службы парку ВС в целом, группе или отдельным ВС;

б) величины назначаемых ресурсов и сроков службы;

в) условия отработки назначаемых ресурсов и сроков службы.

Данное Решение является основанием для разработки необходимой эксплуатационной документации по установлению ресурса и срока службы для парка (группы) ВС.

Изменения ресурсов и сроков службы, условия их отработки, а также требования по доработкам, ремонтам и заменам элементов для поддержания летной годности ВС в процессе эксплуатации должны доводиться до Эксплуатантов специальными бюллетенями в установленном порядке.

При условии обеспечения безопасности полетов на основании Решения допускается изменение ресурсов или сроков службы на парк (группу) ВС производить введением эксплуатационных указаний (Решений) Уполномоченным органом ГА с последующим выпуском бюллетеня.

Индивидуальному установлению (продлению) ресурса и срока службы ВС должно предшествовать Решение по установлению ресурса (срока службы) для парка ВС соответствующего типа.

В индивидуальном порядке ресурсы и сроки службы устанавливаются:

а) для ВС, на которое распространяется право в части назначения ресурса и срока службы отдельным ВС;

б) для ВС государственной авиации России, имеющего Аттестат о годности ВС к эксплуатации, перед его регистрацией в Государственном реестре гражданских ВС РФ;

в) для ВС, получившего повреждения силовых элементов конструкции;

г) для ВС, имеющего Аттестат о годности ВС к эксплуатации и находящегося в реестре другого государства, перед его регистрацией в Государственном реестре гражданских ВС РФ;

д) для ВС, которое базировалось за пределами РФ свыше одного месяца или в случае планирования такого базирования;

е) при необходимости – для других ВС по указанию Уполномоченного органа ГА.

При индивидуальном установлении (продлении) ресурса (срока службы) ВС на основе периодического анализа опыта эксплуатации парка ВС необходимы:

а) Заявление эксплуатанта в Уполномоченный орган ГА РФ о намерении продлить в индивидуальном порядке ресурс (срок службы) ВС. Заявление принимается к рассмотрению только при наличии у эксплуатанта Сертификата на выполнение работ по установлению ресурсов и сроков службы гражданской АТ или договора с сертифицированной на данный вид деятельности организацией по техническому обслуживанию АТ;

б) программа исследования технического состояния ВС, составленная разработчиком ВС и согласованная с соответствующими НИИ ГА.

Программа должна определять:

- объем, последовательность выполнения работ по оценке технического состояния ВС;
- перечень требуемых сведений об условиях эксплуатации ВС;
- участников работ;
- места конструкции, подлежащие объективному документированию результатов визуального и инструментального неразрушающего контроля;
- при необходимости (по указанию разработчика ВС или соответствующего НИИ ГА) программу облета ВС;
- при необходимости (по указанию разработчика ВС или соответствующего НИИ ГА) рекомендуемые приборы и методики исследования технического состояния, а также другую информацию;
- Акт оценки технического состояния ВС, подготовленный по результатам выполнения программы исследования технического состояния. В качестве приложения к Акту оценки технического состояния ВС прилагаются материалы объективного документирования мест конструкции.

Акт оценки технического состояния ВС утверждается эксплуатантом данного ВС и согласовывается с руководителями организаций, участвовавших в исследовании по программе:

- результаты анализа эффективности мероприятий по устранению причин инцидентов, связанных с конструктивно-производственными недостатками;
- комплексное заключение группы экспертов о возможности (невозможности) индивидуального продления ресурса (срока службы) ВС.

Ресурсы и сроки службы ВС при индивидуальном продлении устанавливаются и доводятся до эксплуатантов соответствующим решением, которое подготавливается разработчиком ВС совместно с соответствующими НИИ ГА и утверждается Уполномоченным органом ГА.

МОДЕЛИ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ПРОДЛЕНИЯ РЕСУРСОВ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Существующая в России система обеспечения безопасной эксплуатации гражданских ВС была создана около 50 лет назад. Одним из главных компонентов этой системы, как было указано выше, является поэтапное продление ресурсов и сроков службы ВС. Как правило, поэтапное продление ресурсов сопровождается проведением различных по назначению и объему работ, в том числе связанных с доработками и модификацией как элементов конструкции планера, так и различных изделий функциональных систем (ФС) ВС.

Особенностями конструкции отечественных типов ВС является наличие на них отдельных компонентов и съемных изделий, ресурсы и календарные сроки которых не совпадают с

ресурсами и сроками службы планера ВС, а применительно к двигателю не совпадают с его ресурсами и сроками службы. Возникает необходимость снижения числа таких компонентов, которые сдерживают отработку ресурсов и календарных сроков службы в целом ВС (двигателя). Их снижение может быть достигнуто за счет увеличения ресурсов и сроков службы деталей и узлов конструкции планера или изделий ФС (в дальнейшем – элементов).

Целесообразность увеличения ресурса (срока службы) элемента в общем случае не должна вызывать сомнение при соблюдении определенных ограничений, накладываемых стоимостью доработок (модификаций), проводимых Разработчиком по согласованию с Заказчиком. При этом основные требования Заказчика сводятся прежде всего к минимизации затрат как по реализации доработок непосредственно на всем парке ВС данного типа, так и по последующему техническому обслуживанию (ТО) доработанной конструкции, ФС или агрегату [5].

Для построения математической модели, с учетом поставленной задачи, вводятся следующие параметры:

$R_{\text{Э}}^I$ – ресурс элемента до его доработки, ч;

$R_{\text{Э}}^{II}$ – ресурс элемента после его доработки, ч;

C_D – стоимость доработки, планируемой разработчиком, руб.;

C_3 – стоимость работ по замене элемента на доработанный с последующей регулировкой и ТО, руб.;

N_C – количество ВС данного типа в парке, подлежащих доработке;

$H_{\text{СУМ.С}}$ – суммарный налет парка дорабатываемых ВС (ч) на момент начала проведения доработки;

$R_{H.C}$ – назначенный ресурс ВС данного типа, ч.

Очевидными являются следующие требования, которые можно выразить неравенствами вида

$$R_{\text{Э}}^{II} \geq R_{\text{Э}}^I; \quad (3)$$

$$\frac{C_D}{C_3} \leq 1. \quad (4)$$

Для парка ВС N_C выражение (4) с учетом суммарного остатка назначенного ресурса $(N_C \cdot R_{H.C} - H_{\text{СУМ.С}})$ будет иметь вид

$$\frac{C_D}{C_3 (N_C \cdot R_{H.C} - H_{\text{СУМ.С}})} \leq 1. \quad (5)$$

Выражение (5) следует считать количественной мерой, определяющей целесообразность проведения доработки с учетом относительных материальных затрат C_D / C_3 , приходящихся на один час остатка назначенного ресурса ВС, при условии соблюдения требования (3).

Тогда в общем случае неравенство (3) приобретает следующий вид:

$$R_{\text{Э}}^{II} \geq \frac{1}{\frac{1}{R^I} - \frac{C_D}{C_3} (N_C \cdot R_{H.C} - H_{\text{СУМ.С}})}. \quad (6)$$

Таким образом, выражение (6) позволяет оценить целесообразность проведения доработок конструкции ВС в любой текущий момент времени на любом этапе эксплуатации с учетом

приемлемого уровня материальных затрат, направленных на совершенствование конструкции серийных ВС.

Технико-экономическая эффективность (ТЭЭ) повышения характеристик долговечности авиационных изделий (технических ресурсов, календарных сроков службы) достигается в результате проведения комплекса конструкторских и технологических мер, направленных на обеспечение долговечности при создании ВС и их компонентов, с одной стороны, и реализации полученных (повышенных) свойств конструкции в процессе длительной эксплуатации ВС, с другой стороны.

Проведение работ первой группы связано с дополнительными затратами, необходимыми для формирования потребных информационных ресурсов, разработки программ обеспечения повышенной долговечности дорабатываемых изделий, повышения их контролепригодности в целях снятия ограничений по ресурсам и перевода изделий на эксплуатацию по состоянию, программ и методик дополнительных ресурсных испытаний, разработки необходимой нормативно-технической документации и поддержанию долговечности изделий на этапах эксплуатации.

Реализация второй группы мер позволяет обеспечить на практике в процессе эксплуатации ВС снижение затрат времени, труда и материальных средств на техническое обслуживание, ремонт и замену съемных авиационных изделий, ТО и ремонт ВС в целом.

Целесообразность повышения долговечности изделий в этом случае определяется исходя из условия достижения наибольшего народнохозяйственного эффекта на межведомственном уровне (разработчик – эксплуатант).

Рассмотрим задачу оценки ТЭЭ повышения ресурсных характеристик авиационных изделий и связанного с ним снижения удельной стоимости запасных частей и материалов $K_{O\text{ изд}}$, расходуемых при ТО и ремонте, руб./ч налета.

Общий годовой экономический эффект $\mathcal{E}_{Г\text{ изд}}$ за счет снижения $K_{O\text{ изд}}$ определяется по выражению

$$\mathcal{E}_{Г\text{ изд}} = \mathcal{E}_{\text{изд } 1} + \mathcal{E}_{\text{изд } 2} + \mathcal{E}_{\text{изд } 3}, \quad (7)$$

где $\mathcal{E}_{\text{изд } 1}$ – экономический эффект, достигаемый от снижения стоимости расходуемых запасных частей за счет снижения числа изделий, заменяемых после отработки своих индивидуальных ресурсов, не совпадающих с ресурсами планера (двигателя), на которых они устанавливаются, тыс. руб.;

$\mathcal{E}_{\text{изд } 2}$ – экономический эффект, достигаемый от снижения стоимости расходуемых запасных частей (авиационных изделий) за счет перевода их на ТОиР по состоянию (со снятием ограничений по ресурсам, если они имели значения, не совпадающие со значениями ресурсов планера или двигателя), тыс. руб.;

$\mathcal{E}_{\text{изд } 3}$ – экономический эффект, достигаемый за счет уменьшения материальных затрат на хранение и транспортировку запасных частей в условиях снижения потребности в них, тыс. руб.

Экономический эффект $\mathcal{E}_{\text{изд}}$ за счет увеличения числа расходуемых авиационных изделий с повышенными ресурсными характеристиками определяется по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{изд } 1} = \sum_{i=1}^k \Delta K_{O\text{ изд}} \cdot T_{ГСС} = \sum_{i=1}^k \Delta n_i \cdot c_i, \quad (8)$$

где $T_{ГСС}$ – годовой налет на списочное ВС, ч;

Δn_i – количество сэкономленных изделий i -го типа за счет эксплуатации изделий с повышенными индивидуальными ресурсами (ед.), при этом

$$\Delta n_i = n_{i \text{ НД}} - n_{i \text{ Д}}, \quad (9)$$

где $n_{i \text{ НД}}$ и $n_{i \text{ Д}}$ – количество изделий, потребных при ресурсных характеристиках до доработок и после доработок соответственно, ед.;

c_i – цена изделия i -го типа, тыс. руб.;

k – количество рассматриваемых типов изделий, ед.

Потребное количество заменяемых изделий сокращается за счет увеличения средних значений ресурсов доработанных изделий по сравнению с ресурсами недоработанных изделий

$$n_{i \text{ НД}} = T_{\text{ГСС}} / t_{\text{РНД } i}, \quad (10)$$

где $t_{\text{РНД } i}$ – среднее значение ресурсов недоработанных изделий i -го типа, ч;

$$n_{i \text{ Д}} = T_{\text{ГСС}} / t_{\text{РД } i}, \quad (11)$$

где $t_{\text{РД } i}$ – среднее значение ресурсов доработанных изделий i -го типа, ч.

Тогда с учетом (8) и (9) экономический эффект

$$\mathcal{E}_{\text{изд } i} = \sum_{i=1}^k \Delta n_i \cdot c_i = \sum_{i=1}^k [n_{i \text{ НД}} - n_{i \text{ Д}}] \cdot c_i = \sum_{i=1}^k \left[\frac{T_{\text{ГСС}}}{t_{\text{РНД } i}} - \frac{T_{\text{ГСС}}}{t_{\text{РД } i}} \right] \cdot c_i. \quad (12)$$

Кроме того, научно-практическую ценность представляют такие результаты исследования, как метод персонифицированного определения рациональных ресурсов и сроков службы авиационной техники [6], обеспечивающих повышение эффективности процесса технической эксплуатации ВС по безопасности и регулярности полетов, интенсивности использования и экономичности, стохастическая модель управления отработкой межремонтных ресурсов ВС [7] с учетом требований по обеспечению заданного уровня исправности парка ВС авиакомпаний и загрузки авиаремонтных заводов, модель принятия решений по увеличению ресурса изделий ВС путем их доработки с учетом стоимости их технического обслуживания [8], методы формирования потребного количества запасных ресурсных изделий [9, 10] по критерию обеспечения работоспособности функциональных систем ВС на длительный период эксплуатации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, по результатам мониторинга ресурсного состояния ВС и их комплектующих изделий в рамках программы исследований, проводимых учеными и ведущими специалистами в сфере технической эксплуатации отечественной авиационной техники, успешно решен ряд задач, направленных на поддержание летной годности гражданских воздушных судов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Громов М.С., Полторанин Г.Я., Шапкин В.С. Поддержание летной годности – основа безопасной эксплуатации воздушных судов. М.: ГосНИИ ГА, 2002. 333 с.
2. Нормы летной годности самолетов транспортной категории (АП-25): авиационные правила: утв. Приказом Минтранса России от 05.07.1994 №48/МАК. М.: Авиаиздат, 2009. 144 с.
3. Бутушин С.В. Обеспечение летной годности воздушных судов гражданской авиации по условиям прочности / С.В. Бутушин, В.В. Никонов, Ю.М. Фейгенбаум, В.С. Шапкин. М.: МГТУ ГА, 2013. 772 с.

4. Кирпичев И.Г., Шапкин В.С. Вопросы государственного контроля и регулирования процессов сервисного сопровождения эксплуатации авиационной техники в задачах поддержания летной годности. М.: НЦ ПЛГВС, 2005. 448 с.
5. Кирдюшкин В.С. Модель оценки технико-экономической эффективности работ по увеличению индивидуальных ресурсов съемных авиационных изделий // Научный Вестник МГТУ ГА. 2009. № 147. С. 44–47.
6. Чинючин Ю.М., Кирдюшкин В.С. Персонифицированный подход к определению рациональных ресурсов и сроков службы авиационной техники // Сборник научных трудов 4-й Международной научно-технической конференции «Современные научно-технические проблемы транспорта». Ульяновск: УлГТУ, 2007. С. 83.
7. Далецкий С.В. Проектирование системы технического обслуживания и ремонта воздушных судов гражданской авиации. М.: Изд-во МАИ, 2001. 364 с.
8. Далецкий С.В. Формирование эксплуатационно-технических характеристик воздушных судов гражданской авиации. М.: Воздушный транспорт, 2005. 416 с.
9. Герасимова Е.Д. Определение потребного количества запасных ресурсных изделий летательных аппаратов с использованием статистической модели / Е.Д. Герасимова, И.Ф. Полякова, В.С. Кирдюшкин, Н. Ойдов // Научный Вестник МГТУ ГА. 2015. № 219. С. 65–70.
10. Кирпичев И.Г., Кулешов А.А., Шапкин В.С. Основы стратегии формирования конкурентных преимуществ российской авиационной техники на современном этапе. М.: Воздушный транспорт, 2007. 336 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Чинючин Юрий Михайлович, профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой технической эксплуатации летательных аппаратов и авиадвигателей МГТУ ГА, yu.chinyuchin@mstuca.aero.

Ойдов Намбат, соискатель МГТУ ГА, nambat.oidov@gmail.com.

THE TASK OF CONTINUING AIRWORTHINESS ON THE BASIS OF MONITORING RESOURCE STATUS

Yuriy M. Chinynchin¹, Nambat Oidov¹

¹*Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia*

ABSTRACT

This article is devoted to basic statements according to scientific researches carried out in the area of airworthiness maintenance and aimed at creation of monitoring system of the aircraft equipment resource condition for the purpose of its resource and service life parameters control.

The term monitoring is used here as consecutive process of obtaining, processing and analyzing the information on resources and aircraft equipment service life (planes, helicopters, aircraft engines and their accessories) with the further use of this information for the problems solution of its own air fleet structure management, its updating and forecasting indicators of its operation processes efficiency.

The most important and complex components of monitoring system and aircraft equipment resource condition, in particular are noted: the personified approach to the definition of aircraft equipment rational resources and service life; models of forecasting and aircraft resources processing management; decision-making models on increase of long life aircraft parameters taking into account maintenance cost; justification of expediency of aeronautical products retrofit by way of increasing their resource characteristics; definition methods of resource products necessary quantity by using of statistical model; assessment methods of aviation components authenticity value; models of technical and economic efficiency of works on increase in individual resources of removable parts.

Certain components of monitoring system are considered in more detail with the references indication.

Key words: aircraft, continuing airworthiness, resources and service life, monitoring of resource condition, methods and models of resources establishment, technical and economic assessment.

REFERENCES

1. **Gromov M.S., Poltoranin G.Ya., Shapkin V.S.** *Podderzhanie letnoy godnosti – osnova bezopasnoy ekspluatatsii vozdukhnykh sudov* [Maintaining airworthiness is the basis of the safe operation of aircraft]. Moscow, GosNII GA, 2002, 333 p. (in Russian)
2. **Normy letnoy godnosti samoletov transportnoy kategorii (AP-25)** [Standards of Airworthiness transport category airplanes]: *aviatsionnyye pravila: utv. Prikazom Mintransa Rossii ot 05.07.1994 № 48/MAK* [Aviation rules: approved by the Order of the Ministry of Transport of Russia from 05.07.1994 № 48 / MAC]. Moscow: Aviaizdat. 2009. 144 p. (in Russian)
3. **Butushin S.V., Nikonov V.V., Fejgenbaum Yu.M., Shapkin V.S.** *Obespechenie letnoy godnosti vozdukhnykh sudov grazhdanskoy aviatsii po usloviyam prochnosti*. [Collection of scientific papers of the 4th International scientific-technical conference "Modern scientific-technical transport problems"]. M., MGTU GA, 2013, 772 p. (in Russian)
4. **Kirpichev I.G., Shapkin V.S.** *Voprosy gosudarstvennogo kontrolya i regulirovaniya processov servisnogo soprovozhdeniya ekspluatatsii aviacionnoy tekhniki v zadachah podderzhaniya letnoy godnosti*. [The issues of state control and regulation of the processes of services support of aircraft operation in the tasks of continuing airworthiness]. M., NC PLGVS, 2005, 448 p. (in Russian)
5. **Kirdyushkin V.S.** *Model otsenki tekhniko-ekonomicheskoy effektivnosti rabot po uvelicheniyu individualnykh resursov s'emnykh aviatsionnykh izdeliy* [Models of technical-economical procedures effectiveness estimation directed to increase individual in-service lifetime of removable aviation]. Scientific Bulletin MSTUCA, 2009, no. 147, pp. 44–47. (in Russian)
6. **Chinyuchin Yu.M., Kirdyushkin V.S.** *Personificirovanny podhod k opredeleniyu racional'nykh resursov i srokov sluzhby aviacionnoy tekhniki* [Personified approach to defining rational resources and aerotechnics life time]. *Sbornik nauchnykh trudov 4-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Sovremennye nauchno-tekhnicheskie problemy transporta»*. [Ensuring the airworthiness of civil aircraft under the terms of strength] Ul'yanovsk, UIGTU, 2007, pp. 83. (in Russian)
7. **Daleckiy S.V.** *Proektirovaniye sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta vozdukhnykh sudov grazhdanskoy aviatsii* [Designing maintenance and repair system of civil aviation aircraft]. M., Izd-vo MAI, 2001, 364 p. (in Russian)
8. **Daleckiy S.V.** *Formirovaniye ekspluatatsionno-tekhnicheskikh harakteristik vozdukhnykh sudov grazhdanskoy aviatsii* [Formation of operational and technical characteristics of civil aviation aircraft]. M., Vozdushnyy transport, 2005, 416 p. (in Russian)
9. **Gerasimova E.D., Polyakova I.F., Kirdyushkin V.S., Oidov N.** *Opredeleniye potrebnogo kolichestva zapasnykh resursnykh izdeliy letatel'nykh apparatov s ispol'zovaniem statisticheskoy modeli* [The effect of reliability of functional systems on the efficiency of the technical operation of the aircraft]. Scientific Bulletin MSTUCA, 2015, no. 219, pp. 65–70. (in Russian)
10. **Kirpichev I.G., Kuleshov A.A., Shapkin V.S.** *Osnovy strategii formirovaniya konkurentnykh preimushchestv rossiyskoy aviacionnoy tekhniki na sovremennom etape* [The fundamentals of the strategy of the formation of the competitive advantages of Russian aviation equipment at the present stage]. M., Vozdushnyy transport, 2007, 336 p. (in Russian)

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yuriy M. Chinyuchin, Professor, Doctor of Technical Science, Head of the Aircraft and Aircraft Engines Maintenance Chair, Moscow State Technical University of Civil Aviation, yu.chinyuchin@mstuca.aero.

Oidov Nambat, Externa PhD student, Moscow State Technical University of Civil Aviation, nambat.oidov@gmail.com.

Поступила в редакцию 07.02.2017
Принята в печать 27.04.2017

Received 07.02.2017
Accepted for publication 27.04.2017