

Опыт анализа логистической поддержки самолетов семейства Ту-204/214

Петров А.В., Бороздин Д.Н. (НИЦ CALS-технологий)

Анализ практики работы ведущих отечественных и мировых авиапроизводителей показывает, что технологии гражданского авиастроения достигли той стадии развития, в которой затруднительно создание конкурентоспособного продукта исключительно за счет применения революционных конструкторских решений. Действительно, в современных воздушных судах применяются отработанные десятилетиями решения в области аэродинамики, используемых материалов, номенклатуры и компоновки оборудования, отлажена проектная и производственная кооперация. Среди специалистов уже давно как аксиома воспринимается ироничный тезис, что в XXI веке спроектировать и построить «нелетающий» самолет практически невозможно. Не преуменьшая значимости «традиционных» задач проектирования отметим, что основное внимание разработчиков перемещается к проблеме создания экономически эффективной и привлекательной для заказчика системы послепродажного обслуживания воздушных судов.

Под системой послепродажного обслуживания понимается организационно-техническая система поставщика воздушных судов, нацеленная на обеспечение высокого уровня готовности поставляемой техники путем предоставления заказчику набора необходимых ему сервисных услуг. К этим услугам относятся: материально-техническое обеспечение эксплуатации, выполнение технического обслуживания и ремонта, модернизация оборудования, обучение специалистов, управленческий и инженерный консалтинг и т.п.

Очевидно, что ключевую роль в планировании и предоставлении сервисных услуг, как и жизнеспособности всего бизнеса по послепродажному обслуживанию, будут играть характеристики конструкции и системы технического обслуживания спроектированного воздушного судна. К таким характеристикам относятся: номенклатура и надежность комплектующих изделий, состав и структура ЗИП, периодичность и трудоемкость выполнения планового технического обслуживания, трудоемкость и продолжительность поиска и устранения неисправностей и т.п.

В свою очередь, конструкция и система технического обслуживания (ТО), начиная с ранних этапов проектирования воздушного судна, должны подвергаться тщательному анализу на предмет соответствия заданным требованиям в отношении уровня готовности и затрат на обеспечение этого уровня готовности. В мировой практике этот вид инженерной деятельности, нацеленный на обеспечение рационального баланса между уровнем (коэффициентом) готовности и величиной прямых затрат на техническое

обслуживание, называется анализом логистической поддержки (АЛП). Методически, АЛП представляет собой совокупность следующих задач [1]:

1. Функциональный анализ изделия, формирование физической и функциональной логистических структур изделия;
2. Анализ видов, последствий и критичности отказов;
3. Разработка плана технического обслуживания по методике MSG-3;
4. Оценка потребностей в запасных частях, расходных материалах средствах наземного обслуживания и контроля, инструментах и принадлежностях для планового и непланового обслуживания;
5. Подготовка исходных материалов для разработки эксплуатационной документации и каталогов предметов снабжения.
6. Оценка затрат на техническое обслуживание и коэффициента готовности изделия.

Исходные данные и результаты АЛП должны храниться в специализированной базе данных – базе данных АЛП (БД АЛП). Функции создания и ведения БД АЛП обычно выполняет разработчик изделия. Результаты АЛП являются основой для создания эксплуатационной документации на воздушное судно, регламентирующей порядок выполнения планового и непланового технического обслуживания и, в силу обязательности ее применения авиакомпаниями, непосредственно влияющей на потребительские свойства самолета.

Теоретические положения и практические методы решения задач АЛП в настоящее время достаточно хорошо описаны в отечественных и зарубежных нормативных документах [2,3]. На рынке программных продуктов, также, существует достаточное количество решений для выполнения АЛП подразделениями конструкторского бюро и формирования БД АЛП. Но, несмотря на это, при попытке практического использования всего этого инструментария возникают сложности, связанные с наличием и достоверностью исходных данных для анализа. Действительно, ключевыми параметрами при выполнении АЛП являются показатели надежности комплектующих изделий, трудоемкости и продолжительности поиска и устранения неисправностей разных компонентов, аналогичные параметры работ планового ТО. Если при проектировании совершенно нового типа воздушного судна не остается ничего другого, как воспользоваться расчетными или экспертными оценками, то для уже эксплуатируемых воздушных судов целесообразно воспользоваться накопленной эксплуатационной статистикой, намного более достоверно отражающей действительную картину. В связи с этим в качестве еще одной важнейшей задачи, напрямую связанной с созданием эффективной системы ППО, следует выделить задачу мониторинга технического

состояния самолетов в эксплуатации. Суммируя вышесказанное, в качестве основных направлений деятельности конструкторского бюро, нацеленных на создание конкурентоспособной системы ППО, можно выделить:

- анализ логистической поддержки,
- подготовку на основе результатов АЛП эксплуатационной документации,
- мониторинг технического состояния воздушных судов в эксплуатации.

Логическую последовательность решения перечисленных задач можно представить на схеме:

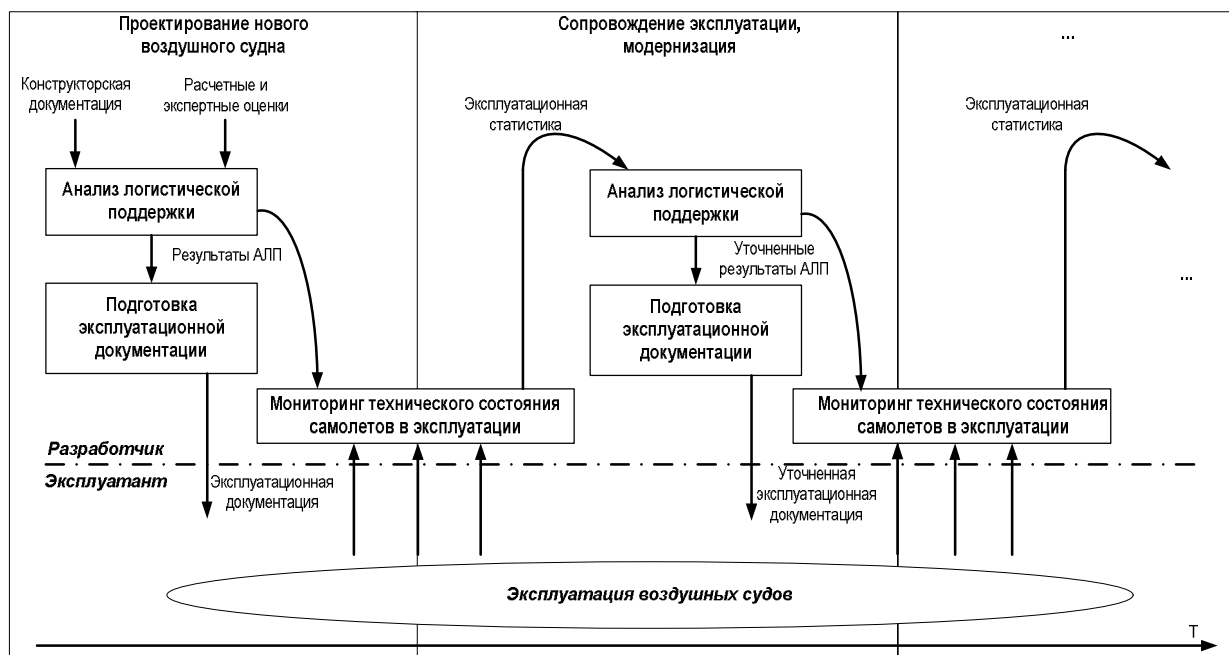


Рис 1. Последовательность решения задач

Как следует из рисунка, при проектировании нового воздушного судна исходными данными для создания эффективной системы технического обслуживания являются экспертные оценки и расчеты. На последующих этапах (в процессе модернизации воздушного судна, разработке нового типа на базе существующего) исходными данными являются результаты анализа накопленной эксплуатационной статистики.

Рассмотрим опыт практического применения описанных технологий в проектах Ту-204СМ, Ту-214.

Самолет Ту-204СМ разрабатывался как глубокая модернизация базового типа воздушного судна – самолета Ту-204. Основной задачей, стоящей перед ОАО «Туполев», являлось снижение величины прямых затрат на техническое обслуживание в самолете Ту-204СМ относительно модели Ту-204. Другой важной задачей, выполняемой службами ОАО «Туполев» параллельно с первой, являлось обеспечение приемлемого уровня готовности самолетов Ту-214 за счет оптимизации материально-технического обеспечения эксплуатации (уточнения номенклатуры и объемов запасных частей).

Для решения этих задач необходимо было сформировать БД АЛП, а также структурировать и уточнить исходные данные, к которым относились:

- накопленная эксплуатационная статистика по самолетам типа Ту-214,
- действующая эксплуатационная документация,
- сведения от авиакомпаний и операторов сервисных услуг.

Формирование БД АЛП производилось в программном обеспечении LSA Suite путем последовательной загрузки в него и последующего уточнения сведений о составе воздушного судна, характеристиках надежности комплектующих изделий, работах планового и непланового ТО, трудоемкостях и продолжительностях работ и др.

Важную роль в этой работе сыграло наличие в конструкторском бюро развернутых ранее системы мониторинга технического состояния (в программном обеспечении ATLAS) и базы данных электронной эксплуатационной документации (в программном обеспечении TG Builder). Информационная интеграция этих трех программных систем позволила существенно сократить как сроки выполнения работ, так и количество ошибок в БД АЛП, а именно:

- типовой состав самолета был автоматически загружен из системы мониторинга,
- программа технического обслуживания была автоматически загружена из базы данных эксплуатационной документации,
- фактические наработки на отказ (до отказа) и продолжительности выполнения форм технического обслуживания были рассчитаны по данным системы мониторинга и автоматически загружены в БД АЛП.

Уточнение сведений в БД АЛП производилось по данным организаций, практически задействованных в эксплуатации воздушных судов. Благодаря координации проекта Объединенной Авиастроительной Корпорацией, к уточнению исходных данных удалось привлечь как ведущие авиакомпании, так и поставщиков комплектующих изделий и операторов материально-технического обеспечения. В результате работы совместной рабочей группы были уточнены:

- стоимость основных компонентов для конечного покупателя,
- сроки и стоимость ремонта компонентов,
- средние наработки на отказ (до отказа) основных комплектующих изделий,
- длительности ремонта и поставки новых комплектующих изделий,
- текущий (рис. 2) и желаемый сценарий эксплуатации воздушных судов (средняя длительность полета, среднегодовой налет).

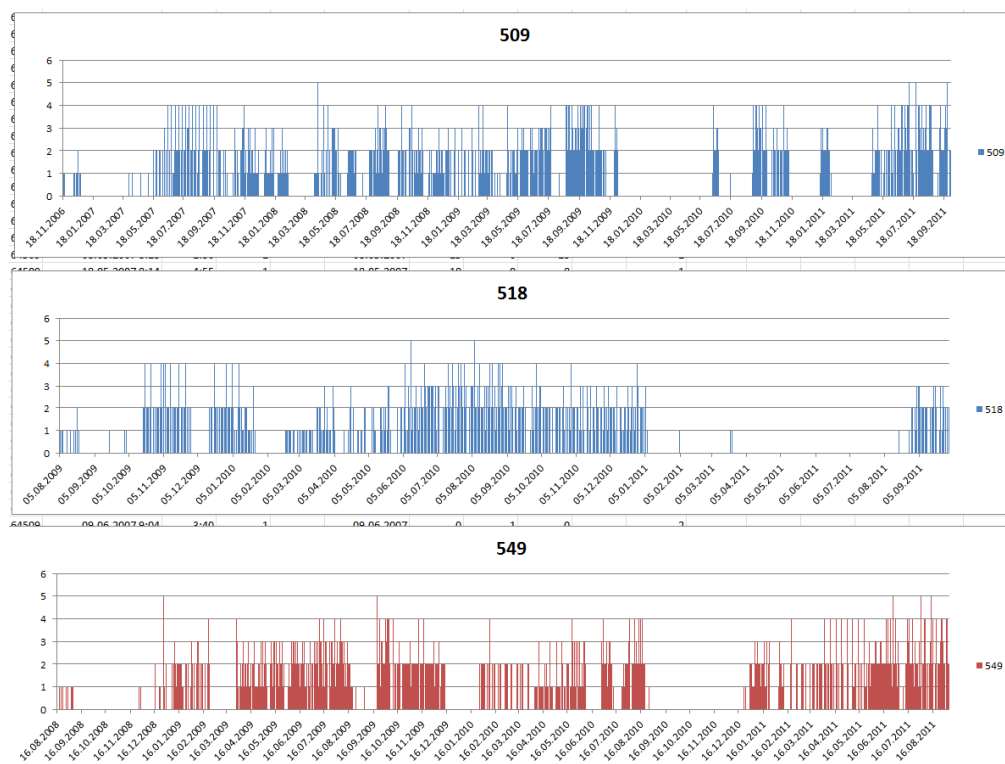


Рис. 2 Фактический налет трех Tu-214 в АК «Трансаэро» по данным ПО ATLAS

Сформированная таким образом «исходная» БД АЛП позволила оценить фактический коэффициент готовности парка самолетов Ту-204 и Ту-214 и величину затрат на их техническое обслуживание. Далее, используя полученные из БД АЛП отчеты в качестве «отправной точки», был проведен их последовательный анализ с целью выработки решений по сокращению затрат на ТО и повышению готовности парка.

Рассмотрим более подробно основные этапы проведенного анализа. Затраты на ТО обычно классифицируют следующим образом:

- общие затраты на владение (Life Cycle Costs of Ownership),
- прямые операционные затраты (Direct Operating Costs) – составляют часть общих затрат на владение,
- прямые затраты на техническое обслуживание (Direct Maintenance Costs - DMC) – составляют часть прямых операционных затрат.

Подробное соотношение перечисленных категорий затрат и входящие в них составляющие описаны в [4]. Видно, что DMC – лишь одна из составляющих. Но важность этой составляющей для разработчика воздушного судна в том, что он реально может влиять на ее величину, что существенно отражается на общей стоимости владения.

В общем случае, анализ показателей DMC для разработчика воздушного судна помогает решить несколько задач, к основным из которых можно отнести:

- сравнение воздушного судна с аналогами;

- анализ статей затрат на эксплуатацию и выявление «кост-драйверов» (от англ. “cost-drivers” – статьи затрат, вносящие наибольший вклад в стоимость);
- оценка эффекта модификации воздушного судна с точки зрения затрат, моделирование различных сценариев эксплуатации и программы ТОиР.

В данной статье описан опыт анализа статей затрат на основе БД LSA Suite для выявления «кост-драйверов» ДМС парка Ту-214.

Основные расчетные показатели ДМС рассматриваемого сценария эксплуатации показаны на Рис. 3.

Видно, что основной статьей затрат является неплановое ТО, если точнее – неплановый ремонт компонентов. Затраты на замены (плановые и неплановые) запасных частей на втором месте, а затраты на персонал (проведение оперативного и периодического ТО, собственно демонтажа-монтажа отказавших компонентов ВС) составляют только 8% всех затрат.

Чтобы найти наиболее эффективный способ снижения затрат на ТО, в данном случае нужно определить, какие компоненты или системы вносят наибольший вклад (т.е. являются «кост-драйверами»). Для этого необходимо проанализировать более подробные отчеты из LSA Suite для непланового ТО и плановых замен (Рис. 4, Рис. 5).

Анализ затрат на техническую эксплуатацию

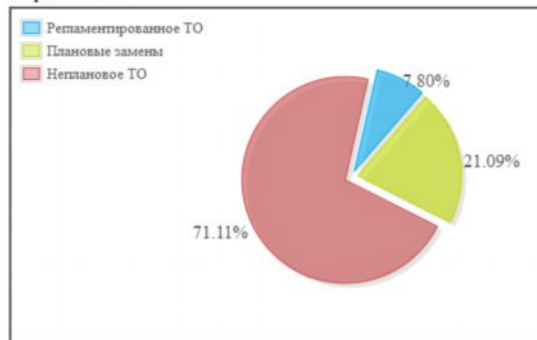
Параметры расчета

Среднегодовой налет на 1 ВС, лет. час	2 750	Средняя стоимость чел-часа	50
Среднее количество полетов в год	550	Период эксплуатации:	
Средняя продолжительность полета, лет. час	5	летн. час.	55 000
Валюта расчета	USD : Доллар США	лет	20

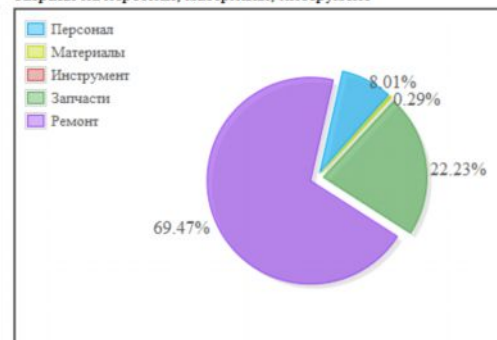
Основные показатели

Наименование показателя	Одно изделие	Весь парк	Расчетное значение
Суммарные затраты на ТЭ, USD	95 924 235.1	1 918 484 702.09	
Коэффициент готовности			0.58
Коэффициент планируемого применения			0.82
Вероятность вылета ВС по расписанию			0.70
Суммарная удельная трудоемкость ТЭ, чел-час/л.ч.			2.8
Суммарная трудоемкость ТЭ, чел-час	153 879.6	3 077 592.1	

Затраты на ТО



Затраты на персонал, материалы, инструмент



Затраты

Тип обслуживания/Категория затрат	Персонал	Материалы	Запчасти	Ремонт	Итого на весь парк	Итого на 1 ВС	Доля затрат
Плановое ТО	145 823 368	5 441 557	227 667 549	175 298 886	554 231 360	27 711 568	28.89%
Репартированное ТО	144 278 368.3	5 389 993.6			149 668 361.9	7 483 418.1	7.8%
Плановые замены	1 545 000	51 563.3	227 667 549.2	175 298 885.9	404 562 998.4	20 228 149.9	21.09%
Неплановое ТО	7 871 037	133 086	198 840 105	1 157 409 114	1 364 253 342	68 212 667	71.11%
Итого на весь парк	153 694 405	5 574 643	426 507 655	1 332 708 000	1 918 484 702		
Итого на 1 ВС	7 684 720	278 732	21 325 383	66 635 400		95 924 235	
Доля затрат	8.01%	0.29%	22.23%	69.47%			

Рис. 3 Основные показатели DMC Tu-214 по результатам расчета в LSA Suite

Анализ затрат на **неплановое ТО** по компонентам рассмотрим на примере первых семи позиций, затраты на которые превышают 50 млн. долларов за расчетный период на парк из 20 ВС. На основе показателей, приведенных в таблице, можно сделать следующие выводы о причинах высокой стоимости обслуживания выделенных компонентов:

1) Не очень высокие показатели надежности (наработка на отказ (MTBF) или наработка на внеплановый съём (MTBUR)) в сочетании с большим количеством установленных компонентов в ВС приводит к необходимости частого выполнения их ремонта или замены. К таким компонентам относятся, прежде всего, агрегаты системы управления, шасси и системы кондиционирования воздуха.

Затраты на неплановое ТО

КАФН: 214 : Среднемагистральный самолет
Количество ВС (шт.): 20

Конфигурация: Базовая
Период расчета: 20 лет

Система: -
Наработка в год: 2 750 летн. час

Пользователь: Administrator
Средняя продолжительность миссии: 5 летн. час

Валюта: USD : Доллар США
Характеристики надежности: Назначенные

Обозначение	Наименование	Кол-во в ВС, шт	MTBF / MTBUR, летн. час	Ремонто-пригодное	Исп. в системах	Ремонт			Демонтаж-монтаж (с учетом расх.мат-ов и СНО)			Запчасти			Суммарн. затраты (20 лет)
						Кол-во ремонтов	Стоим. 1 рем.	Суммарн. затраты (20 лет)	Кол-во замен	Стоим. 1 зам.	Суммарн. затраты (20 лет)	Расч. потребность в з/ч	Цена за ед.	Суммарн. затраты (20 лет)	
3408	Заслонка запорная с электроприводом	11	1 200	да	21	10 087	12 287	123 938 969	10 087	36.37	366 859.6		22 340		124 305 828
ГП26	Привод – генератор	2	4 090	да	24	538	156 468	84 179 784	538	625.11	336 310.79		260 780		84 516 094
КТ196М.300	Диск тормозной из углерод-углеродного материала ТЕРМАР-АДФ-ОС	48	2 500	нет	32				21 120			21 120	3 689.47	77 921 536	77 921 536
РП95	Рулевой привод	29	4 850	да	27	6 583	10 832.8	71 312 322.4	6 583				19 696		71 312 322
КТ196М.290	Диск тормозной из углерод-углеродного материала ТЕРМАР-АДФ-ОС	40	2 500	нет	32				17 600			17 600	3 162.4	55 658 240	55 658 240
6Ц.261-01_5С	Блок управления	4	7 200	да	27	612	90 750	55 539 000	612	50	30 600		165 000		55 569 600
6702Б	Установка охлаждения воздуха	2	7 050	да	21	314	171 713.6	53 918 070.4	314	125.01	39 254.08		429 284		53 957 324
3407	Заслонка запорно-регулирующая с электроприводом	4	1 250	да	21	3 520	12 806.75	45 079 760	3 520				23 285		45 079 760
БУК17	Блок управления и контроля	16	6 400	да	27	2 752	14 325.85	39 424 739.2	2 752	340.5	937 056		26 047		40 361 795
ИМ-8	Индикатор multifunctional	6	5 020	да	31	1 320	28 709.25	37 896 210	1 320	25	33 000		114 837		37 929 210
МТТГ-500/5-3с	Агрегат электромагнитный	16	2 040	да	32	8 634	3 171.2	27 380 140.8	8 634	50.01	431 812.24		7 928		27 811 953
ВВС-3000	Блок вычислительных систем	2	2 250	да	34	978	27 118.5	26 521 893	978				108 474		26 521 893
НП123	Насос гидравлический	4	5 800	да	29	760	33 040.2	25 110 552	760	101.11	76 845.88		55 067		25 187 397
АПРС-30-2	Аппарат пуска регулирующей самолетный для люминисцентных ламп	60	6 000	да	33	11 000	2 223.6	24 459 600	11 000	12.5	137 500		3 706		24 597 100
РА86	Рулевой агрегат	16	8 700	да	27	2 032	11 072.05	22 498 405.6	2 032	565.61	1 149 314.82		20 131		23 647 720
3410	Заслонка запорно-регулирующая с электроприводом	7	4 000	да	21, 49	1 925	12 232.55	23 547 658.75	1 925				22 241		23 547 658
2-8-2М	Огнегаситель	4	1 500	нет	26				2 936	300	880 800	2 934	6 059	17 777 106	18 657 906

Рис. 4 Наиболее затратные компоненты ВС в части непланового ТО
Затраты на плановые замены

КАФН: 214 : Среднемагистральный самолет
Количество ВС (шт.): 20

Конфигурация: Базовая
Период расчета: 20 лет

Система: -
Наработка в год: 2 750 летн. час

Пользователь: Administrator
Средняя продолжительность миссии: 5 летн. час

Валюта: USD : Доллар США

Обозначение	Наименование	Кол-во в ВС, шт	Ресурс (назн.), летн. час	Ресурс (межр.), летн. час	Ресурс, лет	Ремонто-пригодное	Исп. в системах	Ремонт			Демонтаж-монтаж (с учетом расх.мат-ов и СНО)			Запчасти			Суммарн. затраты (20 лет)
								Кол-во ремонтов	Стоим. 1 рем.	Суммарн. затраты (20 лет)	Кол-во замен	Стоим. 1 зам.	Суммарн. затраты (20 лет)	Расч. потребность в з/ч	Цена за ед.	Суммарн. затраты (20 лет)	
ГП26	Привод – генератор	2	10 000	2 000	25	да	24	880	156 468	137 691 840	1 080	625.11	675 122	200	260 780	52 156 000	190 522 962
СТ-117	Электростартер	1	10 000		20	да	49				100			100	600 833	60 083 333	60 083 333
РП95	Рулевой привод	29	30 000	15 000	25	да	27	1 160	10 832	12 566 048	1 740			580	19 696	11 423 680	23 989 728
КТ196М.110.	Колесо основного шасси	8	15 000		10	да	32				480			480	32 096	15 406 080	15 406 080
ГП27	Привод-генератор	4	15 000		12	да	24				240	800.11	192 027	240	62 933	15 103 920	15 295 947
РА86	Рулевой агрегат	16	30 000	15 000	25	да	27	640	11 072	7 086 112	960	425.11	408 103	320	20 131	6 441 920	13 936 135
ПТС-250БМ	Преобразователь трехфазный статический	1	10 000	3 000	20	да	24	340	17 336	5 894 410	440			100	34 673	3 467 300	9 361 710
ЗВН-1-3 сер2	Накопитель защищенный бортовой	1	5 000		7	да	31				220			220	40 654	8 944 085	8 944 085
ТЭМ5	Тормоз (027.50)	4	25 000		20	да	27				160			160	35 695	5 711 200	5 711 200
РП84-01	Рулевой привод	1	30 000	15 000	20	да	27	40	54 797	2 191 882	60			20	99 631	1 992 620	4 184 502
ВД-004В	Аварийная турбонасосная установка	2	60 000	20 000	30	да	29	40	100 878	4 035 120	40				144 111		4 035 120
74.00.4103.600.002	Цилиндр резервного выпуска	1	4 000		20	да	32				260			260	15 206	3 953 762	3 953 762
74.00.4107.100.000	Амортизатор стабилизирующий	5	20 000		20	да	32				200			200	15 149	3 029 878	3 029 878
АО2	Агрегат отклонения	4	30 000	15 000	25	да	27	160	9 900	1 584 000	240			80	18 000	1 440 000	3 024 000
БУОС-01	Блок усиления и обработки сиг-налов	3	15 000		12	да	26				180	25	4 500	180	16 551	2 979 180	2 983 680
43863001	Коввертор озоновый	2	10 000			нет	21				200			200	14 661	2 932 300	2 932 300

Рис. 5 Наиболее затратные компоненты ВС, обслуживаемые по назначенному/межремонтному ресурсу

Возможным решением проблемы снижения затрат в данном случае может быть повышение надежности этих компонентов, либо использование их аналогов. Возможно также использование ремонтнопригодных комплектующих, за счет которых снизятся затраты на покупку новых запасных частей «в сборе».

2) Другой причиной больших затрат на неплановое ТО для выделенных компонентов является значительная стоимость выполнения их ремонта. Это относится к компонентам системы управления и кондиционирования воздуха.

Часть наиболее «дорогостоящих» комплектующих уже давно известна разработчику. В модификации ВС Ту-204СМ они заменены аналогичными по функциям, но более надежными. Для прочих затратных компонентов ВС, которые остались в составе новой модификации ВС, специалистами ОАО «Туполев» проводится более тщательная выверка исходных статистических и стоимостных данных, и рассматриваются пути снижения затрат.

Анализ затрат на **плановые замены** (Рис. 5) также решено начать с первых шести позиций в перечне, затраты на которые за расчетный период превышают 10 млн. долларов. Выделенные компоненты, также, можно условно разделить на две группы:

1. Назначенный и/или межремонтный ресурс компонентов не достаточен для выбранного расчетного периода, либо количество используемых агрегатов ВС значительно (более 1-2 штук).

К таким компонентам относятся блоки системы электроснабжения и ВСУ, а также агрегаты системы управления.

2. Стоимость плановой замены и/или ремонта значительна.

Согласно приведенным выше таблицам, к таким компонентам относятся агрегаты системы электроснабжения и ВСУ.

Еще одним аспектом эксплуатации большого числа компонентов ВС по ресурсу является резкий скачок затрат на эксплуатацию в определенные моменты времени. На Рис. 6 явно виден резкий рост затрат на отметке в 30 тыс. летных часов, когда планово заменяется большое число компонентов системы управления (рулевые привода и агрегаты).

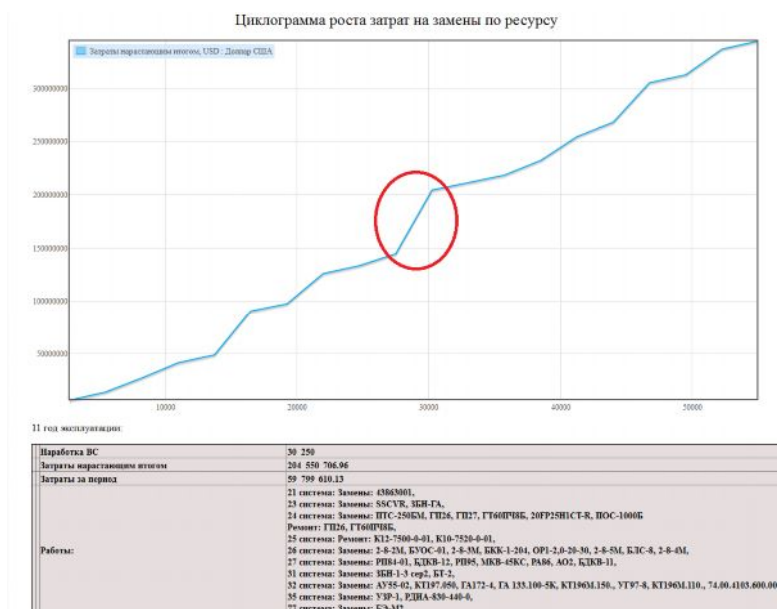


Рис. 6 Распределение затрат на плановые замены во времени

Проблема высоких затрат на плановые замены также учтена в модификации Ту-204СМ, где подавляющее большинство компонентов, ранее эксплуатировавшихся по ресурсу, переведены на эксплуатацию по состоянию.

На основе полученного специалистами ОАО «Туполев» практического опыта можно сформулировать следующие выводы и рекомендации:

1) Создание конкурентоспособной системы послепродажного обслуживания невозможно без выполнения на всех этапах проектирования самолета анализа его конструкции и системы технического обслуживания, нацеленного на повышение эффективности эксплуатации.

2) Как показала практика, технологии анализа логистической поддержки позволяют решать задачи повышения экономической эффективности эксплуатации авиационной техники путем сокращения затрат на техническое обслуживание и повышения коэффициента готовности парка при проектировании и модернизации воздушных судов.

3) Необходимым условием для решения задач АЛП является полнота и достоверность исходных данных. В связи с этим необходимо осуществлять мониторинг технического состояния воздушных судов в эксплуатации при помощи автоматизированных систем, информационно интегрированных с системами анализа логистической поддержки.

4) Перспективным направлением развития технологий мониторинга является создание порталов, обеспечивающих на регулярной основе обмен данными между

головным разработчиком, поставщиками компонентов, авиакомпаниями и сервисными предприятиями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Судов Е.В., Левин А.И., Петров А.В., Чубарова Е.В. Технологии интегрированной логистической поддержки изделий машиностроения. – М.: ООО Издательский дом «ИнформБюро», 2006.
2. AeroSpace and Defense Industries Association of Europe: International procedure specification for Logistics Support Analysis S3000L, 2010.
3. ГОСТ Р 53392-2009. Интегрированная логистическая поддержка. Анализ логистической поддержки. Основные положения.
4. А.В.Петров, Е.В.Судов Технология расчета затрат на техническую эксплуатацию ПВН. 2012