

УДК 629.735.33.017

doi: 10.32620/aktt.2018.6.09

Т. С. БОЙКО

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

## ФОРМИРОВАНИЕ ТИПОВЫХ ПРОФИЛЕЙ ПОЛЕТОВ САМОЛЕТА ТРАНСПОРТНОЙ КАТЕГОРИИ С УЧЕТОМ ИСТОРИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПАРКА

Проектный ресурс конструкции планера самолета назначают в количестве обобщенных типовых полетов или часов налета для всех самолетов парка. Как при проектировании, так и на этапах эксплуатации, исходными данными для обоснования проектного, накопленного или остаточного ресурсов элементов конструкции служат параметры профилей типовых полетов. Анализ условий нагружения самолетов транспортной категории показывает, что даже самолеты одного типа могут иметь абсолютно разную историю эксплуатации. Предполагаемые при проектировании профили типовых полетов не всегда соответствуют реально выполняемым заданиям конкретного воздушного судна. Кроме того, для эксплуатанта не имеет явного определения понятие обобщенного типового полета. Особенно актуальным вопрос об истинных нагрузках на самолет становится на этапе принятия решения о возможном продлении ресурса или списании экземпляра воздушного судна. Создание модификаций также требует уточнения ресурсных характеристик конструкции на этапе проектирования. Однозначно такие задачи решают системы мониторинга нагрузок на самолет и бортовые счетчики ресурса. Таким оборудованием укомплектованы лишь новейшие экземпляры авиационной техники. В работе дана оценка объема стареющего парка самолетов транспортной категории, эксплуатирующихся на Украине в текущем году. Впервые предложена методика определения параметров профилей типовых полетов по данным формуляров самолетов и двигателей, а также с учетом требований руководства летной эксплуатации рассматриваемого типа самолетов транспортной категории. Разработан алгоритм расчета характеристик эксплуатации парка самолетов. Проведен статистический анализ данных формуляров самолетов Ил-76Т(ТД) с целью выявления корреляционных зависимостей по длительности выполненных полетов и относительным наработкам между отдельными экземплярами парка. Даны рекомендации для оценки истории эксплуатации конкретного воздушного судна и парка самолетов рассматриваемого типа. Полученные результаты в дальнейшем служат исходными данными для расчета нагрузок, действующих на самолет в период его эксплуатации, а также накопленного и остаточного ресурса конструкции самолета транспортной категории.

**Ключевые слова:** профиль типового полета; формуляр; относительный налет; эксплуатация

### Введение

Мировые объемы пассажирских и транспортных авиaperевозок ежегодно увеличиваются. Одновременно с этим, не смотря на растущие темпы производства авиационной техники, парки самолетов стареют. К категории стареющих относят самолеты, срок службы которых превышает 15 лет [1]. Парк самолетов транспортной категории, допущенных к эксплуатации на территории Украины, по состоянию на июль 2018г., приведен в табл. 1. В таблице указано общее количество воздушных судов (ВС) каждого типа. Отдельно отмечены ВС, которые следует отнести к стареющим. Из всего парка эксплуатирующихся на Украине самолетов (212 экземпляров) более 75 % следует считать стареющими, а более 50 % (116 экземпляров) практически выработали свой проектный ресурс. Аналогичная ситуация отмечена и в других странах [1, 2]. Вопрос продления

ресурса или списания стареющих самолетов стоит очень остро.

В современной практике эксплуатации самолетов неоднократно отмечается целесообразность индивидуального учета выработки ресурса конструкции. Так, например, согласно данным НЦПЛГ ВС ГосНИИ ГА [3] выявлено, что полеты самолетов, эксплуатирующихся в одной авиакомпании, выполняются, как правило, по различным трассам, что приводит к значительному разбросу параметров типового полета как каждого самолета одной авиакомпании, так и между самолетами различных авиакомпаний. Кроме того, имеется существенное различие между параметрами типового полета (ТП), принятого при проектировании в начальный период эксплуатации парка самолетов и параметрами наиболее тяжелого полета различных авиакомпаний. Отличия в условиях эксплуатации самолетов требуют индивидуального установления и условий отра-

ботки ресурсов и сроков службы не только в целом по парку, но и даже самолетам одной авиакомпании.

Таблица 1  
Реестр гражданских воздушных судов Украины [4]

Тип ВС	Кол-во ВС	Количество ВС стареющего парка		
		Более 15 лет	Более 20 лет	Более 25 лет
Airbus A320	16	5	5	-
Boeing 737	57	13	5	12
Boeing 767	5	-	1	4
Boeing 777	3	2	-	-
DC-9	12	2	2	8
Dornier 328-300	1	1	-	-
Embraer ERJ145	7	6	-	-
Embraer ERJ190	5	-	-	-
Hawker 800XP/850XP	4	-	-	-
Ил-76Т	3	-	-	3
Ил-76ТД	18	-	1	17
Ан-12	20	-	-	20
Ан-22	1	-	-	1
Ан-24/26/28/32	25	-	-	25
Ан-74	4	1	-	3
Ан-124	8	-	2	5
Ан-132D	1	-	-	-
Ан-140	1	-	-	-
Ан-148/158/178	3	-	-	-
Ан-225	1	-	-	1
Л-410	11	-	-	11
Як-40/42	6	-	-	6

К аналогичным выводам пришли и другие ведущие мировые эксплуатанты [5, 6]. Для максимально точных расчетов индивидуального накопленного усталостного повреждения и израсходованного ресурса на создаваемых самолетах устанавливаются системы мониторинга нагрузок. Однако такие системы, в большинстве своем, находятся на стадии разработки или опытной эксплуатации [7]. На стареющих самолетах системы мониторинга нагрузок и ресурса практически отсутствуют. В статье [8] сотрудник ФГУП ГосНИИ ГА отмечает, что для надежной оценки параметров полета конкретного самолета с целью дальнейшего расчета усталостного повреждения конструкции необходима обработка не менее 600 полетов в условиях устоявшегося характера эксплуатации. Но для того, чтобы отследить

изменение характеристик нагруженности самолета в связи с возможными изменениями условий эксплуатации (продажа, передача самолета в лизинг в другой регион, открытие новых трасс и т.д.), мониторинг самолета должен вестись непрерывно, в максимально возможном объеме.

В случае обоснования продления ресурса самолета в соответствие с назначенным Разработчиком ресурсом по парку, необходимо установить усталостное повреждение конструкции за один обобщенный по парку полет. При этом Бюллетень Разработчика, например [3], не регламентирует параметры обобщенного типового полета, с учетом которого назначен ресурс.

Целью данной работы является разработка методики оценки нагрузок за всю историю эксплуатации конкретного борта, а также формирование профилей типовых полетов и расчет относительной наработки парка самолетов.

### Постановка задачи

Основная информация о выполненных полетах зафиксирована в формулярах самолета и двигателей. Формуляр самолета содержит информацию о количестве полетов и их суммарной продолжительности за каждый календарный месяц и с начала эксплуатации. В формулярах двигателей указано количество запусков и время работы двигателя за каждый календарный месяц и с начала эксплуатации. Выборочно для единичных полетов (1 раз в месяц) отмечают высоту полета и приборную скорость полета на крейсерском режиме. Для восстановления всех параметров профиля полета этих данных недостаточно. Логично предположить, что полеты выполняются согласно требованиям Руководства летной эксплуатации (РЛЭ) конкретного типа самолета.

Рассмотрим последовательность формирования типовых профилей полетов на примере самолетов Ил-76Т (ТД), находящихся в эксплуатации в Украине. В формулярах самолетов Ил-76Т (ТД) отмечены два типа выполняемых полетов – тренировочные и рейсовые. Рейсовые полеты в РЛЭ-76 [9] подразделяются еще на два типа. При полетах на дальность до 3000 км (~ 4ч) используется режим скоростного крейсерования, а на дальность более 3000 км – режим дальнего крейсерования. Целесообразно рассматривать эксплуатацию самолета Ил-76Т (ТД) по трем профилям типовых полетов – учебно-тренировочному, транспортному (скоростное крейсерование) и полету на перегоночную дальность (дальнее крейсерование). В дальнейшем характеристики атмосферы приняты стандартные. Требуемые параметры профиля полета самолета Ил-76Т (ТД) на соответствующих этапах приведены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры профиля типового полета самолета Ил-76Т (ТД)

Этапы	Вес в начале этапа, тонн	Высота, км	Скорость, км/ч (воздушная)	Время, час	Дальность, км
Взлет	$G_{max}$	0 – 0,4	$V_{взл}$	$t_{взл}$	-
Набор высоты:	$G_{взл}$	0,4 – 3 3 – 8,7 8,7 – $H_{кр}$	$V_{наб}$ (см. Табл. 3)	$t_{наб}$	$L_{наб}$
Крейсирование	$G_{наб}$	$H_{кр}$	$V_{кр}$	$t_{кр}$	$L_{кр}$
Снижение:	$G_{кр}$	$H_{кр} - 8$ 8 – 3 3 – 0,4	$V_{сн}$ (см. Табл. 4)	$t_{сн}$	$L_{сн}$
Заход на посадку	$G_{сн}$	0,4 – 0	$V_{пос}$	$t_{пос}$	-
	$G_{пос}$			$t_{пол}$	$L_{пол}$

**Алгоритм восстановления параметров профилей типовых полетов транспортного самолета с учетом истории его эксплуатации**

1. В формуляре двигателей в разделе «Контроль параметров» указаны крейсерская высота полета  $H_{кр}$  и приборная крейсерская скорость полета  $V_{кр}$  самолета. По РЛЭ-76 [9] определяем максимально возможный взлетный вес самолета  $G_{max}$  в зависимости от  $H_{кр}$ .

2. В [9] указан максимальный вес самолета типа Ил-76Т(ТД) без топлива и максимальный посадочный вес. При планировании полета в топливных баках должен находиться аэронавигационный запас топлива (АНЗ). Исходя из этих условий взлетный вес самолета выбран так, чтобы с учетом выработки топлива посадочный вес  $G_{пос}$  находился в заданном диапазоне.

3. Взлет. Расход топлива  $G_{твзл}$  на этапе взлета зависит от  $G_{max}$  и определен таблично в [9]. Масса самолета в конце взлета  $G_{взл}$  будет равна

$$G_{взл} = G_{max} - G_{твзл} \tag{1}$$

4. Безопасная скорость в начале и в конце взлета  $V_{взлн}$ ,  $V_{взлк}$  (приборная) указана в [9] и зависит от  $G_{max}$ .

5. Время взлета  $t_{взл}$  не регламентировано. Однако в [9], Раздел 5.6.2 «Примеры планирования полета» независимо от веса самолета указано  $t_{взл} = 0,05$  часа.

6. Набор высоты. Изменение скоростей в полете при наборе высоты  $V_{наб}$  описано в [9]. Рекомен-

дации сведены в табл. 3 в виде диапазонов скоростей на разных высотах

Таблица 3

Скорости самолета Ил-76Т (ТД) при наборе высоты

Высота, км	Скорость $V_{наб}$ (приборная), км/ч
0,4 – 3	$V_{взлк} \div 500$
3 – 8,7	500
8,7 – $H_{кр}$	$0,7 M \div V_{кр}$

где  $M$  – число Маха на высоте полета.

7. Расход топлива  $G_{тнаб}$  на этапе набора высоты зависит от  $G_{max}$  и  $H_{кр}$ . Масса самолета в конце набора высоты  $G_{наб}$  будет равна

$$G_{наб} = G_{взл} - G_{тнаб} \tag{2}$$

8. Время набора  $t_{наб}$  и дальность при наборе высоты  $L_{наб}$  зависит от  $G_{max}$  и  $H_{кр}$ .

9. Снижение. Изменение скоростей в полете при снижении  $V_{сн}$  описано в [9]. Рекомендации сведены в табл. 4 в зависимости от высоты полета.

Таблица 4

Скорости самолета Ил-76Т (ТД) при снижении

Высота, км	Скорость $V_{сн}$ (приборная), км/ч
$H_{кр} - 8$	$0,75M$
8 – 3	570
3 – 0,4	$570 \div V_{посн}$

10. Время снижения  $t_{сн}$ , дальность полета  $L_{сн}$  и расход топлива  $G_{тсн}$  зависят от  $G_{max}$  и  $H_{кр}$ .

11. Заход на посадку. Скорости в начале и в конце захода на посадку  $V_{посн}$ ,  $V_{поск}$  (приборные)

указаны в [9] в зависимости от текущего веса самолета  $G_{сн}$ . Скорость в конце захода на посадку  $V_{поск}$  (минимальная скорость приземления) зависит от  $G_{max}$ .

12. Время и расход топлива при заходе на посадку и посадке  $t_{пос}$  и  $G_{тпос}$  не регламентированы. Однако в [9], Раздел 5.6.2 «Примеры планирования полета», независимо от веса самолета указано  $t_{пос} = 0,2$  часа,  $G_{тпос} = 1,2$  т.

13. *Крейсирование.* По данным формуляра самолета определяем среднюю продолжительность полета  $t_{пол}$  в течение месяца. Время полета на крейсерском режиме  $t_{кр}$  найдем как

$$t_{кр} = t_{пол} - t_{взл} - t_{наб} - t_{сн} - t_{пос}. \quad (3)$$

14. Закон расхода топлива на этапе крейсерского полета  $G_{ткр}$  указан в [9]. Приведенные номограммы многопараметричны, носят довольно сложный характер и трудно аппроксимируемы. С достаточной точностью допустимо определять  $G_{ткр}$  в зависимости от  $H_{кр}$  согласно [9]. Тогда вес самолета в конце крейсерского полета будет равен

$$G_{кр} = G_{наб} - G_{ткр}. \quad (4)$$

15. Вес самолета в конце снижения составит

$$G_{сн} = G_{кр} - G_{тсн}, \quad (5)$$

а вес самолета при посадке вычислим как

$$G_{пос} = G_{сн} - G_{тпос}. \quad (6)$$

16. Крейсерская скорость  $V_{кр}$  для самолета Ил-76Т(ТД) указана в [9]. Режим скоростного крейсирования следует выполнять на  $M=0,74...0,77$ . Числа  $M$  крейсерского полета для режима дальнего крейсирования приведены в [9] таблично в зависимости от полетной массы самолета и высоты крейсерского полета.

17. По рекомендациям [9] в целях экономии топлива профиль полета следует выполнять ступенчатым. Поэтому предусмотрена смена высоты крейсерского полета при уменьшении полетной массы самолета в связи с выработкой топлива до необходимого уровня.

18. Дальность полета на крейсерском этапе вычислим через воздушную крейсерскую скорость по формуле

$$L_{кр} = t_{кр} \cdot V_{кр}. \quad (7)$$

19. Суммарную дальность полета определим как

$$L_{пол} = L_{наб} + L_{кр} + L_{пос}. \quad (8)$$

По предложенному алгоритму можно восстановить любой профиль полета самолетов Ил-

76Т(ТД) в зависимости от длительности полета. Целесообразно формировать такие типовые полеты, длительность которых максимально часто зафиксирована в формулярах. Для этого необходимо определить среднее время одного полета с одной посадкой  $t_{ср}$ , выполнить сортировку всех полетов по  $t_{ср}$  от минимального до максимального значения. Затем следует просуммировать количество полетов, попадающих в интервал продолжительности  $t_{ср} = 0...0,5$  часа,  $0,5...1$  час,  $1...1,5$  часа и т.д. до 9 часов.

### Анализ параметров эксплуатации парка самолетов

Рассмотрим формуляр самолета с наибольшей из имеющихся наработкой. При оценке наработки парка такие самолеты принято обозначать «лидер». На рис. 1, 2 показано сопоставление распределения продолжительности полетов самолета-лидера Ил-76Т, а также аналогичная информация по данным формуляров его четырех двигателей. Для сравнения на всех графиках приведена информация из статьи А. В. Алакоза [11] – статистика по 699 полетам 9 самолетов Ил-76. Для сопоставления данных между собой наработка в каждом интервале длительности полетов показана относительно общего числа посадок (запусков двигателя) рассматриваемого формуляра.

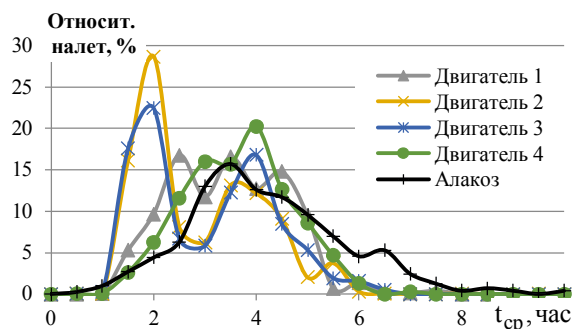


Рис. 1. Распределение продолжительности полетов по формулярам четырех двигателей

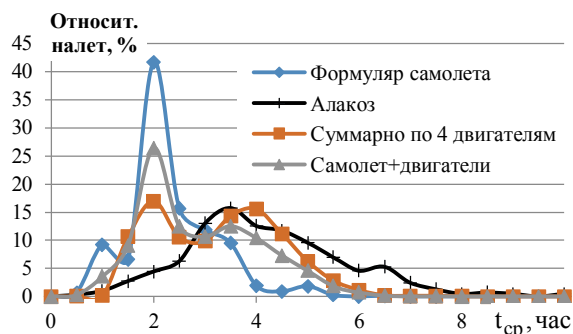


Рис. 2. Продолжительность полетов по формулярам самолета-лидера Ил-76Т и его двигателей

Четкой корреляции по наработке самолета-лидера, двигателям и данным [11] не наблюдается, но также нет и явного противоречия между ними. Кроме того, следует отметить, что двигатели за период своей эксплуатации могут быть установлены на различных бортах, поэтому данные формуляров двигателей стоит рассматривать как статистическую информацию по парку самолетов данного типа.

На рис. 3 показана относительная наработка парка самолетов Ил-76Т по данным [11] и парка самолетов Ил-76ТД по результатам статистической обработки 4 формуляров. Шаг дискретизации по длительности полета равен 0,5 часа. Распределения достаточно близки, за исключением полетов большой продолжительности для Ил-76ТД. Среднее время полета по парку Ил-76Т – 4,2 часа, по парку Ил-76ТД – 2,93 часа.

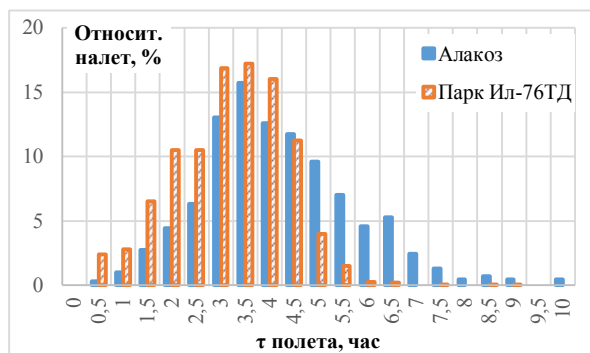


Рис. 3. Распределение продолжительности полетов парка самолетов Ил-76Т(ТД)

На рис. 4 приведено сопоставление длительности полетов парка самолетов Ил-76ТД и каждого самолета в отдельности.

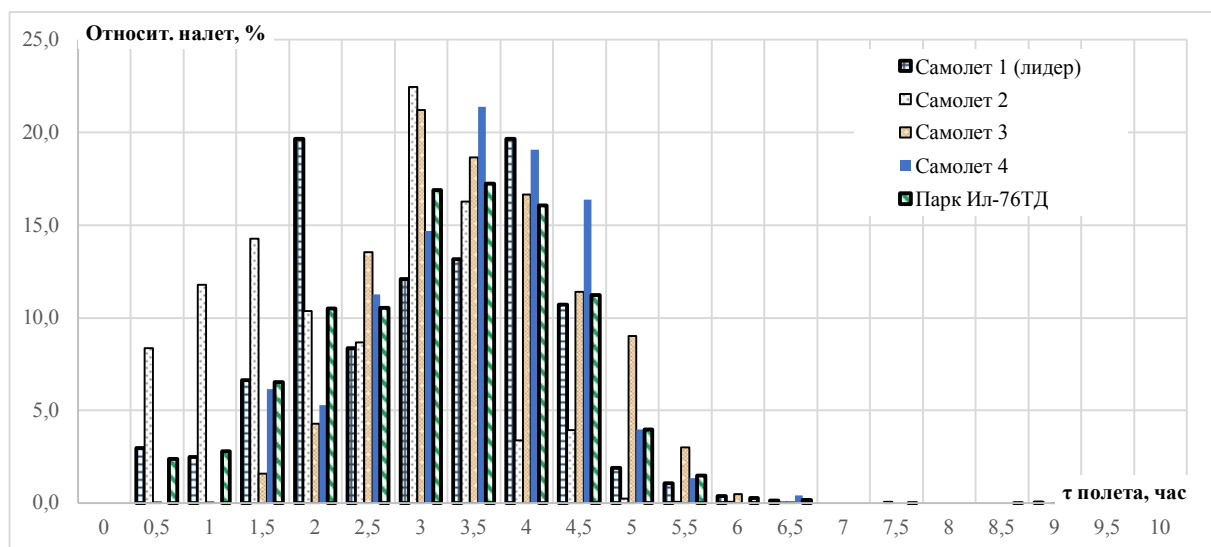


Рис. 4. Распределение продолжительности полетов экземпляров самолетов Ил-76ТД

Рис. 4 показывает, что корреляция по длительности полетов между самолетами парка отсутствует. Также следует отметить существенно большее количество полетов малой продолжительности у некоторых самолетов парка Ил-76ТД. Согласно выполненным ранее расчетам [12] такие полеты, не смотря на их малую длительность, вносят максимальное усталостное повреждение в конструкцию. Поэтому распространять параметры наработки какого-то одного борта на весь парк будет ошибочно.

На рис. 5 дано распределение длительности полетов самолетов парка Ил-76Т по годам эксплуатации.

Среднегодовая длительность полета самолетов парка Ил-76Т может изменяться от 0,64 часа до 4,82 часа. При этом нет четкой зависимости среднегодового времени полета от годов эксплуатации.

В формуляре самолета-лидера Ил-76Т наиболее продолжительный полет типа «тренировка» имеет  $t_{cp} = 1,17$  часа. Выделим в группу учебно-тренировочных полетов все полеты продолжительностью  $t_{cp} = 0,3...1,17$  часа. Количество таких полетов составляет 10,1 % из общего числа полетов самолета. Профиль типового полета дальнего крейсирования охватывает полеты с  $t_{cp} = 4,01...9$  часов.

По данным формуляра самолета в этот диапазон попадают 3,1 % полетов. Наиболее представительной является группа полетов скоростного крейсирования с  $t_{cp} = 1,18...4$  часа. Для достижения большей точности при расчете долговечности и ресурса самолета целесообразно разделить каждую группу полетов на три подгруппы. Таким образом, сформированы девять профилей типовых полетов со следующими характеристиками (см. табл. 5).

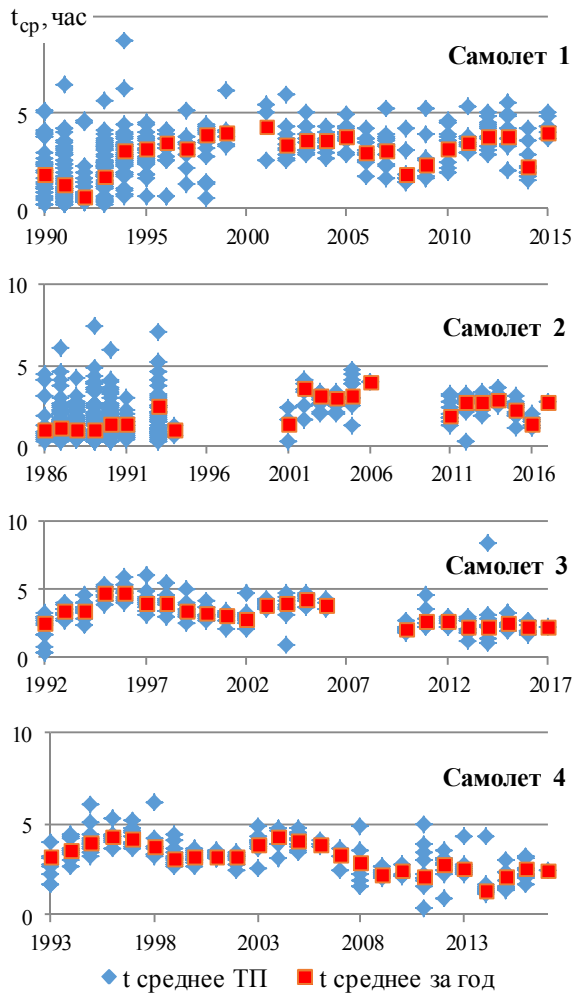


Рис. 5. Средняя длительность полетов самолетов Ил-76Т по годам эксплуатации

На рис. 6 показан выбор диапазонов длительности 9 профилей типовых полетов по наработке парка самолетов Ил-76ТД. Сплошными линиями отмечены границы между учебно-тренировочной группой и группами полетов скоростного и дальнего крейсерования. Пунктирные линии соответствуют

дополнительной разбивке каждой группы типовых полетов на 3 подгруппы для повышения точности дальнейших расчетов усталостного повреждения и ресурса конструкции.

На рис. 7 приведено сопоставление 9 типовых полетов самолета-лидера и парка самолетов Ил-76ТД по времени и относительному налету на каждом профиле.

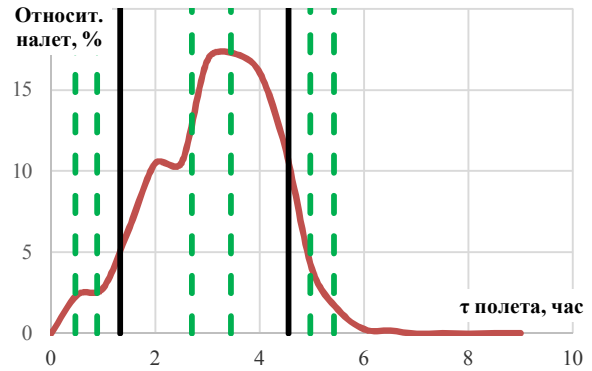


Рис. 6. Диапазоны длительности типовых полетов с учетом наработки парка самолетов Ил-76ТД

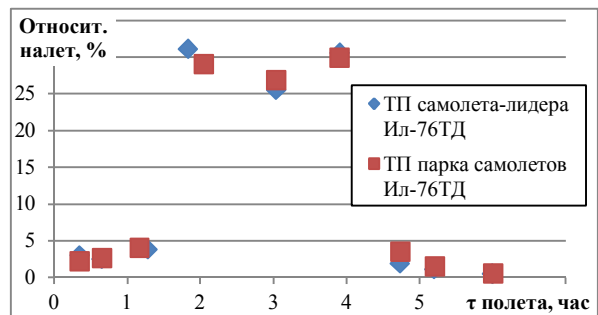


Рис. 7. Сопоставление девяти типовых полетов самолета-лидера и парка самолетов Ил-76ТД

В табл. 6 даны статистические характеристики девяти профилей типовых полетов парка самолетов Ил-76ТД с учетом их относительной наработки.

Таблица 5

Статистические характеристики профилей типовых полетов самолета-лидера Ил-76Т

Профиль ТП	% экспл.	Время полета, $t_{пол}$ , час	Крейсерская высота, $H_{кр}$ , км	Крейсерская скорость, $V_{кр}$ , км/ч
Учебно-тренировочный А	0,7	0,33	0,5	370
Учебно-тренировочный Б	9,25	0,84	3,0	570
Учебно-тренировочный В	0,15	1,13	5,0	630
Скоростное крейсерование А	40,3	1,60	10,6	800
Скоростное крейсерование Б	26,8	2,21	10,0	800
Скоростное крейсерование В	19,7	3,14	9,6 – 10,6	810 – 800
Дальнее крейсерование А	0,9	4,33	9,6 – 10,6	790 – 785
Дальнее крейсерование Б	1,8	4,78	9,6 – 10,6	790 – 785
Дальнее крейсерование В	0,4	5,63	9,6 – 11,6	790 – 780

Таблица 6

Статистические характеристики девяти профилей типовых полетов парка самолетов Ил-76ТД

Профиль ТП	% эксплуатации	Среднее время полета, $t_{cp}$ , час	Границы группы типового полета по времени, $t_{пол}$ , час
Учебно-тренировочный А	2,2	0,35	0,23...0,46
Учебно-тренировочный Б	2,6	0,66	0,47...0,88
Учебно-тренировочный В	4,0	1,17	0,89...1,32
Скоростное крейсерование А	29,0	2,05	1,33...2,69
Скоростное крейсерование Б	26,8	3,04	2,70...3,44
Скоростное крейсерование В	29,9	3,91	3,45...4,54
Дальнее крейсерование А	3,5	4,74	4,55...4,96
Дальнее крейсерование Б	1,5	5,21	4,97...5,41
Дальнее крейсерование В	0,5	6,01	5,42...9,00

### Заключение

Предложена методика формирования типового полета самолета транспортной категории с учетом истории его эксплуатации. Данные формуляров самолета и двигателей позволяют, с учетом требований РЛЭ, определить все характеристики типового полета и величину наработки по каждому из профилей. При обработке результатов полета парка самолетов одного типа возможно использовать профили типовых полетов самолета-лидера. Однако длительность типовых полетов и относительный налет по каждому из них необходимо устанавливать по парку ВС. Полученные данные в дальнейшем в полной мере могут быть использованы при оценке накапливаемого за типовой полет усталостного повреждения конструкции, а также израсходованного и остаточного ресурса планера.

### Литература

1. Nesterenko, B. G. *Fatigue and Damage Tolerance of Aging Airplane Structures [Text]* / B. G. Nesterenko, G. I. Nesterenko // *Advanced Materials Research*. – 2014. – Vol. 891-892. – P. 1669-1674. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.891-892.1669>

2. Ойдов, Н. *Мониторинг ресурсного состояния парка магистральных самолетов в задачах поддержания их летной годности в условиях российских и монгольских авиакомпаний [Текст]* : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.14 : защищена 13.12.2017 / Ойдов Намбат. – М., 2017. – 159 с.

3. *Установление ресурсов и сроков службы самолетам Ил-76ТД [Текст]* // Бюллетень № 76-2170-БЭ-Б от 21.04.2016 г.

4. *Реєстр цивільних повітряних суден України [Електронний ресурс]* // Державна авіаційна служба України. – Режим доступу: <https://avia.gov.ua/reystyr-tsyvilynih-povitryanih-suden-ukrayini>. – 10.08.2018.

5. Bos, M. J. *Lockheed C-130H(-30) Fleet Life Management within the Royal Netherlands Air Force. [Text]* / M. J. Bos // *NLR-Report TP-2012-415*, 2012. – 415 p.

6. Groenenboom, J. *Aircraft health monitoring. The True Value of Aircraft Health Monitoring and Data Management [Text]* / J. Groenenboom // *Proceedings of the 13th Maintenance Cost Conference*. – Panama City, Panama, September 13-15, 2017. – P. 172 – 179.

7. Фейгенбаум, Ю. М. *Анализ современного состояния и перспектив развития отечественной системы мониторинга эксплуатации силовой конструкции гражданских ВС [Текст]* / Ю. М. Фейгенбаум, Ю. С. Соколов // *Науч. вестн. ГосНИИ ГА*. – 2015. – № 7 (318). – С. 14 – 23.

8. Фейгенбаум, Ю. М. *Минимально необходимый объем обработки полетной информации для оценки типовых условий эксплуатации и нагруженности экземпляра самолета [Текст]* / Ю. М. Фейгенбаум // *Науч. вестн. МГТУ ГА*. – 2012. – № 175. – С. 25 – 29.

9. *Ил-76Т (ТД). Руководство по летной эксплуатации. Книга 1 [Текст]* : утв. нач. управления летной службы Мин-ва ГА СССР 28.03.84 ; введ. в действие с 1.01.85. – М., 1984. – 801 с.

10. Бехтир, П. Т. *Практическая аэродинамика самолета Ил-76Т [Текст]* / П. Т. Бехтир, В. П. Бехтир. – М. : «Машиностроение», 1979. – 151 с.

11. Алакоз, А. В. *Результаты работы автоматизированной системы дифференцированной оценки расходования долговечности конструкции самолетов типа Ил-76 [Текст]* / А. В. Алакоз // *Науч. вестн. МГТУ ГА. Сер. Аэромеханика и прочность, поддержание лётной годности ВС*. – 2008. – № 130. – С. 208 – 214.

12. Бойко, Т. С. *Методика расчета долговечности регулярных зон конструкции самолета с жестким крылом при полете в турбулентной атмосфере [Текст]* / Т. С. Бойко // *Повреждение материалов во время эксплуатации, методы его диагностирования и прогнозирования: Тр. Междунар. науч.-техн. конф., Тернополь, 21 – 24 сент. 2009 г.* – С. 227 – 232.

## References

1. Nesterenko, B. G., Nesterenko, G. I. Fatigue and Damage Tolerance of Aging Airplane Structures. *Advanced Materials Research*, 2014, vol. 891-892, pp. 1669-1674. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.891-892.1669>.
2. Ojdov, N. *Monytoryng resursnogo sostojanyja parka magystral'nyh samoletov v zadachah podderzhanyja yh letnoj godnosti v uslovyjah rossijskych y mongol'skych avyakompanyj*. Dys. ... kand. tehn. nauk [Monitoring the resource status of the main airplanes fleet in the tasks of maintaining their airworthiness in the Russian and Mongolian airlines. Diss. ... cand. tech. sci.]. 2017. 159 p.
3. Ustanovlenie resursov i srokov sluzhby samoletam Il-76TD [The establishment of resources and service life of the aircraft IL-76TD]. *Bjulleten' – Bulletin. Moscow*, 21.04.2016, no. 76-2170-BE-B.
4. Rejestr cyvil'nyh povitryanj suden Ukrai'ny [Register of Civil Aircraft of Ukraine]. *Derzhavna aviacijna sluzhba Ukrai'ny – State Aviation Service of Ukraine*. Available at: <https://avia.gov.ua/rejestr-tsvivilnih-povitryanj-suden-ukrayini> (accessed 10.08.2018).
5. Bos, M. J. Lockheed C-130H(-30) Fleet Life Management within the Royal Netherlands Air Force. *NLR-Report TP-2012-415*, 2012. 415 p.
6. Groenenboom, J. Aircraft health monitoring. The True Value of Aircraft Health Monitoring and Data Management. *Proceedings of the 13th Maintenance Cost Conference*, Panama, 13-15 September 2017, Panama City, 2017, pp. 172 – 179.
7. Fejgenbaum, Ju. M., Sokolov, Ju. S. Analiz sovremennogo sostojanija i perspektiv razvitija otechestvennoj sistemy monitoringa jekspluatacii silovoj konstrukcii grazhdanskih VS [Analysis of the current state and development prospects of the domestic system for monitoring the operation of the civilian aircraft bearing structure]. *Nauchnyj vestnik GosNII GA – Scientific Bulletin of GosNII GA. Moscow*, 2015, no. 7 (318), pp. 14 – 23.
8. Fejgenbaum, Ju. M. Minimal'no neobhodimyj ob'em obrabotki poletnoj informacii dlja ocenki tipovyh uslovij jekspluatacii i nagruzhennosti jekzempljara samoleta [The minimum required amount of processing flight information for the evaluation of typical operating conditions and the loading of the aircraft instance]. *Nauchnyj vestnik MGTU GA – Scientific Bulletin of MGTU GA. Moscow*, 2012, no. 175, pp. 25 – 29.
9. *Il-76T (TD). Rukovodstvo po letnoj jekspluatacii. Kniga 1* [IL-76T (TD). Flight manual. Book 1]. Utv. nach. upravlenija letnoj sluzhby Min-va GA SSSR – 28.03.84, vved. v dejstvie s 1.01.85, Moscow, 1984. 801 p.
10. Behtir, P. T., Behtir, V. P. *Prakticheskaja ajerodinamika samoleta Il-76T* [Practical aerodynamics of the IL-76T]. Moscow, “Mashinostroenie” Publ., 1979. 151 p.
11. Alakoz, A. V. Rezul'taty raboty avtomatizirovannoj sistemy differencirovannoj ocenki rashodovanija dolgovechnosti konstrukcii samoletov tipa Il-76 [The results of the automated system for differential evaluation expenditure durability of the aircraft design type IL-76]. *Nauchnyj vestnik MGTU GA. Ser. Ajeromehanika i prochnost', podderzhanie ljetnoj godnosti VS. – Scientific Bulletin of MGTU GA. Ser. Aeromechanics and durability, maintaining airworthiness of the aircraft. Moscow*, 2008, no. 130, pp. 208 – 214.
12. Bojko, T. S. Metodika rascheta dolgovechnosti reguljarnyh zon konstrukcii samoleta s zhestkim krylom pri polete v turbulentnoj atmosfere [The method of calculating the durability of the design regular areas of an aircraft with a rigid wing when flying in a turbulent atmosphere]. *Povrezhdenie materialov vo vremja jekspluatacii, metody ego diagnostirovanija i prognozirovanija: Tr. Mezhdunar. nauch.-tehn. konf.* [Proc. Int. Scientific and Technical Conference “Damage to materials during operation, methods of its diagnosis and prediction”]. Ternopol', 21-24 sent. 2009, pp. 227 – 232. (In Ukraine)

Поступила в редакцию 11.10.2018, рассмотрена на редколлегии 12.12.2018

## ФОРМУВАННЯ ТИПОВИХ ПРОФІЛЕЙ ПОЛЬОТІВ ЛІТАКА ТРАНСПОРТНОЇ КАТЕГОРІЇ З УРАХУВАННЯМ ІСТОРІЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПАРКУ

Т. С. Бойко

Проектний ресурс конструкції планера літака призначають в кількості узагальнених типових польотів або годин нальоту для всіх літаків парку. Як при проектуванні, так і на етапах експлуатації, вихідними даними для обґрунтування проектного, накопиченого або залишкового ресурсів елементів конструкції служать параметри профілів типових польотів. Аналіз умов навантаження літаків транспортної категорії показує, що навіть літаки одного типу можуть мати абсолютно різну історію експлуатації. Передбачувані при проектуванні профілі типових польотів не завжди відповідають реально виконуваним завдань конкретного повітряного судна. Крім того, для експлуатанта не має явного визначення поняття узагальненого типового польоту. Особливо актуальним питання про справжні навантаження на літак стає на етапі прийняття рішення про можливе продовження ресурсу або списання екземпляра повітряного судна. Створення модифікацій також



вимагає уточнення ресурсних характеристик конструкції на етапі проектування. Однозначно такі завдання вирішують системи моніторингу навантажень на літак і бортові лічильники ресурсу. Таким обладнанням укомплектовані тільки новостворені екземпляри авіаційної техніки.

В роботі дана оцінка обсягу старіючого парку літаків транспортної категорії, що експлуатуються на Україні в поточному році. Вперше запропоновано методика визначення параметрів профілів типових польотів за даними формулярів літаків і двигунів, а також з урахуванням вимог керівництва льотної експлуатації даного типу літаків транспортної категорії. Розроблено алгоритм розрахунку характеристик експлуатації парку літаків. Проведено статистичний аналіз даних формулярів літаків Іл-76Т (ТД) з метою виявлення кореляційних залежностей по тривалості виконаних польотів і відносним напрацювань між окремими екземплярами парку. Дано рекомендації для оцінки історії експлуатації конкретного повітряного судна і парку літаків даного типу. Отримані результати в подальшому служать вихідними даними для розрахунку навантажень, що діють на літак в період його експлуатації, а також накопиченого і залишкового ресурсу конструкції літака транспортної категорії.

**Ключові слова:** профіль типового польоту; формуляр; відносний наліт; експлуатація.

## THE TYPICAL FLIGHTS PROFILES' CREATION OF A TRANSPORT CATEGORY AIRPLANE CONSIDER THE HISTORY OF PARK OPERATION

*T. S. Boiko*

The design resource of the airframe structure is assigned in the number of generalized typical flights or flight hours for all aircraft of the park. Both in the design and in the operational phases, the parameters of typical flight profiles serve as initial data for substantiating the design, accumulated or residual resources of the structural elements. An analysis of the load conditions of the transport category airplanes shows that even airplanes of the same type can have a completely different operating history. The projected typical flight profiles do not always correspond to the actual tasks performed by a particular aircraft. In addition, the operator does not have an explicit definition of the concept of a generalized type of flight. The question of the actual loads on the aircraft becomes particularly relevant at the stage of making a decision on the possible extension of the resource or the cancellation of the aircraft. The creation of modifications also requires the specification of the resource characteristics of the structure at the design stage. Definitely, such tasks are solved by the systems for monitoring the loads on the aircraft and onboard resource counters. The modern airplanes are equipped with this equipment.

This study gives an estimation to the outmode park of transport category aircraft operating in Ukraine this year. It is proposed for the first time the method of determining the parameters of typical flight profiles according to the aircraft log-books and engines, as well considering the requirements of the flight manual of the considered type of transport aircraft. The algorithm for calculating the operation characteristics of the aircraft park was developed. The statistical analysis of the data of the Il-76T (TD) aircraft log-books was carried out in order to identify correlative dependencies on the duration of performed flights and relative operating time between some aircraft of the park. Recommendations are given for estimation the operating history of a specific aircraft and aircraft park. The obtained results in the future will serve as initial data for calculating the loads' influence on the aircraft during its operation, as well as for evaluating the accumulated and residual life of the transport category aircraft structure.

**Keywords:** type flight profile; form; relative flight time; operation

**Бойко Татьяна Сергеевна** – канд. техн. наук, доцент кафедры прочности летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

**Boiko Tetiana Serhiyivna** – PhD, Assistant Professor of Dept. of Aircraft Strength, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkov, Ukraine, e-mail: t.boiko@khai.edu.  
ORCID Author ID: 0000-0002-3383-0129.