

УДК 629.138.6.001.12

Ю.В. БАБЕНКО

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»

УПРАВЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ОБОБЩЕННОЙ МОДИФИКАЦИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ САМОЛЕТОВ НА ЭТАПЕ ЕЕ РАЗРАБОТКИ

Предложена обобщенная модификация отечественных серийных транспортных самолетов Ан-26, Ан-32 и Ан-32Б. Отличительная особенность предложенной модификации состоит в увеличенной величине полезной нагрузке (при сохранении дальности на уровне базовых вариантов), а также в замене силовой установки путем постановки в обобщенную модификацию отечественных двигателей ТВЗ-117ВМА. Так, путем увеличения коммерческой нагрузки обеспечен рост рейсовой производительности обобщенной модификации, а вследствие замены силовой установки улучшилось ее топливная эффективность. Оценка стоимостной эффективности модификационных изменений произведена на основе впервые введенных авторами интегральных показателей таких как стоимость жизненного цикла и критерий удельных затрат за жизненный цикл. Установлено что по принятому критерию обобщенная модификация превосходит базовые самолеты в 1,5...3 раза.

Ключевые слова: модификации самолетов транспортной категории, эффективность, удельные затраты за жизненный цикл.

Введение

В настоящее время в нашей стране и других странах мира успешно эксплуатируется ряд отечественных региональных самолетов. Так, на авиатрассах Украины, Индии, Китая, Ирана нашли свое эффективное применение такие региональные самолеты (с ТВД), как Ан-26, Ан-32 и Ан-32Б. Однако их календарный ресурс уже заканчивается, и актуальным становится вопрос их замены.

Одним из вариантов решения такой проблемы является разработка обобщенной модификации, сохраняющей их положительные качества и соответствующей всем современным требованиям.

Для такого подхода есть все необходимые предпосылки:

– значительный суммарный парк указанных самолетов различного назначения в эксплуатации;

– возможность замены разных МДУ на двигатель ТВЗ-117ВМА-СБМЗ (совместное предложение АО «Мотор Сич» и ГП «Ивченко-Прогресс»), новая электронная система управления, диагностики и контроля, повышенные ресурсы и улучшение климатических характеристик по мощности;

– использование вспомогательной силовой установки АИ9-3Б (г. Запорожье, Украина);

– переоборудование кабины для пилотирования двумя членами экипажа с установкой современного БРЭО;

– усиление противокоррозионной защиты.

Кроме того, названные региональные транспортные самолеты имеют:

– одинаковые емкости крыльевых топливных баков, вмещающих возможно максимальный запас топлива;

– практически равные крейсерские высоты полета;

– развернутую инфраструктуру их обслуживания, текущего и капитального ремонтов как у нас в стране, так и тех странах, где в настоящее время эксплуатируются самолеты Ан-26, Ан-32 и Ан-32Б.

Постановка задач исследований

1. Сформировать основные параметры обобщенной модификации на базе серийных самолетов Ан-26, Ан-32 и Ан-32Б.

2. Произвести сравнительную оценку эффективности обобщенной модификации с базовыми самолетами на основе интегрального критерия затрат за жизненный цикл.

Формирование основных параметров обобщенной модификации

Взлетную массу единой модификации под- считаем как сумму весов:

$$m_{\text{взл}} = m_{\text{сн}} + (m_{\text{п.н max}} + m_{\text{т max}})_{\text{Ан-26}}$$

где $m_{\text{сн}}$ – масса снаряженного самолета единой модификации, равная 15000 кг;

$m_{\text{п.н max}}$ – максимальная полезная нагрузка самолетов Ан-26 и Ан-32, равная 5500 кг.

В целях повышения рейсовой производительности обобщенной модификации ее максимальную полезную нагрузку увеличим до 8 тонн.

Практическую дальность полета с различными полезными нагрузками единой модификации определим, не выполняя аэродинамических расчетов, на основе использования

данных диаграмм «груз – дальность» серийных самолетов Ан-26, Ан-32 и Ан-32Б в условиях базирования: $H = 0$, $CA+15^\circ C$.

Такой подход к изменению $m_{п.н}$ и L позволяет сформировать диаграмму «груз – дальность» как основной отличительный признак модификационных изменений (рис. 1).

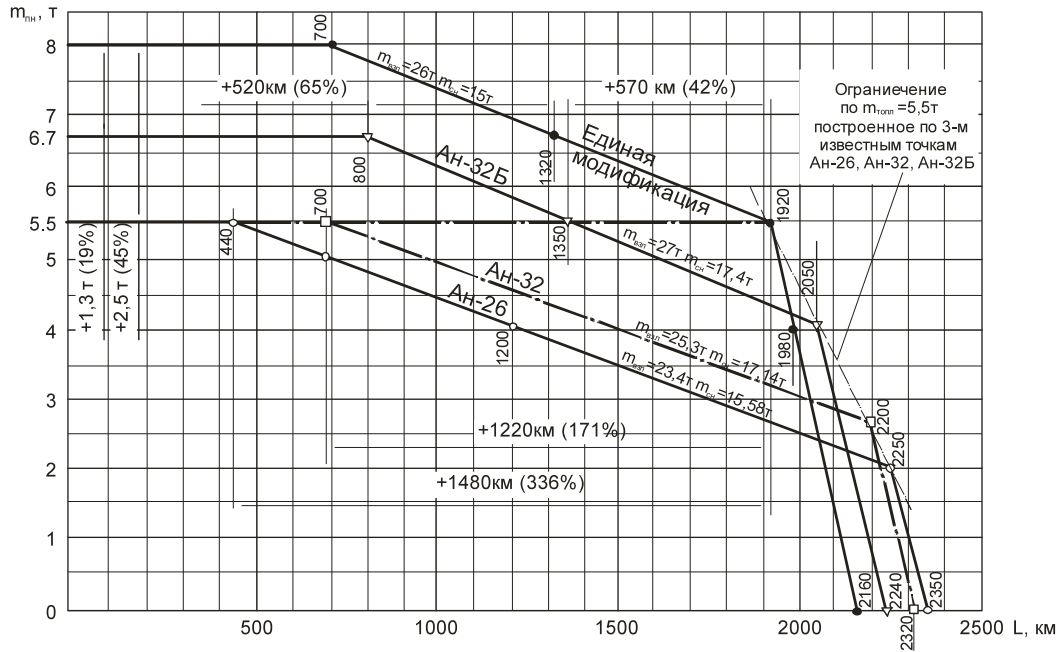


Рис. 1. Диаграмма «груз – дальность» обобщенной модификации на основе семейства самолетов Ан-26, Ан-32 и Ан-32Б

Построение диаграммы «груз – дальность» единой модификации осуществлено следующим образом: горизонтальную прямую $m_{п.н} = 5500$ кг проводим до пересечения с линией ограничения максимального количества топлива ($m_{T\max} = 5500$ кг). Через полученную точку перелома проведены параллельно наклонным участкам любой из диаграмм «груз – дальность» серийных самолетов Ан-26,

Ан-32 или Ан-32Б наклонные участки единой модификации $L = f(m_{п.н} \geq 5,5 \text{ т})$ и $L = f(m_{п.н} \leq 5,5 \text{ т})$.

С учетом параметров характеристики «груз – дальность», а также на основе уравнения существования и требования замены силовой установки получены и другие параметры обобщенной модификации, которые приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры обобщенной модификации самолетов Ан-26, Ан-32 и Ан-32Б

№ п/п	Самолеты				Обобщенная модификация
	Параметры	Ан-32Б	Ан-32	Ан-26	
1	Двигатели: тип, $N_{взл}/N_{чр}$, э.л.с. Срезка по t_H °C на $H = 0$ Ресурс в часах (назначенный)	АИ-20Д, 5 ^й сер. 5180x2 15 6 000	АИ-20М 4250x2 22 18 000	АИ-24РВ 2 820x2 22 15 000	ТВЗ-117ВМА-СБМЗ 2 750x2/3 200x1 30/45 (взл/чр) 20 000
2	ТГ, РУ или ВСУ	ТГ-16		РУ-19А	АИ9-3Б или ТА-14
3	ВВ, тип, $d_{вв}$, м × кол. лоп.	АВ-68ДМ, 4,7x4		АВ-72, 3,9x4	АВ-140Х, 3,96x6
4	Экипаж, чел.	3		4	2

5	$m_{взл. Т. Н=0 \text{ и } CA+15^\circ}$	27	25,3	23,4	26
6	$m_{с.н}/\bar{m}_{с.н,Т}$	17,4/0,644	17,14/0,677	15,85/0,77	15/0,577
7	$m_{п.н. \text{ max}}^{\circ} \text{ Т}$	6,7		5,5	8
8	$m_{Т \text{ max}}^{\circ} \text{ Т}$	5,5			
9	$m_{Т \text{ анз}}^{\circ} \text{ Т}$	1,1		1	0,92
10. Дальность, км	$m_{п.н} = 8,0, \text{ Т}$	—			700
	$m_{п.н} = 6,7, \text{ Т}$	800	—		1400
	$m_{п.н} = 5,5, \text{ Т}$	1350	700	440	1920
	$m_{п.н} = 4,0, \text{ Т}$	2060	1450	1200	2070
	$C_{п.н}$ при ограничении $m_{Т}$	2050, (4,3 т)	2200, (2,5 т)	2250, (2 т)	1920, (5,5 т)
	Перегоночная при $m_{п.н} = 0$	2240	2320	2350	2160
11	$N_{\text{крейс}}^{\circ} \text{ э. л. с.}$	2750		1650	2000
12	$C_{е, \text{ кг/э.л.с.} \cdot \text{ ч, } CA$	0,199		0,239	0,195
13	$M_{\text{крейс}}, N_{\text{крейс}}, V_{\text{крейс. max}}$	0,48, 8000 м, 532 км/час		0,38/6000/433	0,45/6000/520
14	$L_{\text{впп}}$ для взлета, м	1890	1990	1970	Не определялись
15	$L_{\text{впп}}$ для посадки, м	2220	2320	2070	

Анализируя представленные данные, прежде всего следует обратить внимание на существенное изменение рейсовой производительности обобщенной модификации, определяемой как произведение $m_{п.н} \cdot L$ за один рейс. На основании пункта 10 (табл. 1) построено значение $m_{п.н} \cdot L$ (рис. 2) для рассматриваемых самолетов.

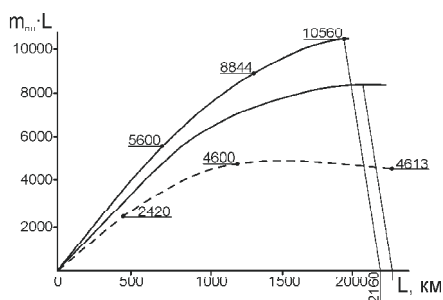


Рис. 2. Рейсовая производительность самолетов Ан-26, Ан-32, Ан-32Б и их единой модификации

Наиболее рейсовой производительностью и базовые самолеты Ан-26, Ан-32, Ан-32Б и их обобщенная модификация обладают при перевозке грузов на расстояние примерно в 2000 километров, причем у обобщенной модификации это наиболее ярко выражено.

Кроме того, обобщенная модификация обладает существенно большей рейсовой производительностью по отношению ко всем базовым вариантам.

С новой силовой установкой (см. табл. 1) единая модификация обеспечивает экономию по расходу топлива. В табл. 2 представлен сравнительный с Ан-26 расчет экономии топлива на 1000 км дальности на крейсерском режиме полета.

Таблица 2

Сравнительная оценка основных параметров обобщенной модификации и самолета Ан-26 по топливной эффективности

Характеристики	$C_{е \text{ крейс}}$, кг/л. с. ч	$N_{\text{крейс}}$, л. с.	$C_{ч. \text{ крейс}}$, кг/ч	$V_{\text{крейс. ср.}}$, км/ч	$T_{\text{час}}$, на 1000 км	$m_{Т}$, на 1000 км, кг	Экономия $m_{Т}$, на 1000 км, кг, (%)
Ан-26	239	1650	394	435	2,30	900×2	—
Единая модификация	195	2000	390	520	1,92	750×2	300, (17%)

Таким образом, топливная эффективность обобщенной модификации улучшится примерно на 17%.

Кроме того, обобщенная модификация имеет и другие существенные преимущества по сравнению с заменяемыми самолетами:

- более низкие обороты воздушного винта $n_{\text{ВВ}} = 8501200$ об/мин;
- «тихое руление» при $n_{\text{ВВ}} = 850$ об/мин в пределах аэродрома;
- значительно лучшие экологические показатели по вредным выбросам маршевого двигателя и шума на местности.

Сравнительная оценка эффективности обобщенной модификации на основе критерия затрат за жизненный цикл

Изменение приведенных выше технических параметров, естественно, требует определенных затрат при разработке и на этапе изготовления модификации, хотя следует ожидать их снижения на этапе эксплуатации.

Поскольку стоимостные изменения охватывают все этапы жизненного цикла, эффективность обобщенной модификации оценим с привлечением интегральных показателей критерия затрат за жизненный цикл, приведенных в работе [2].

По данным этой работы стоимость жизненного цикла оценивают выражением

$$C_{\text{ж.ц}} = A^P(m_{\text{к.н}} \cdot L)N_p, \quad (1)$$

где A^P – полные затраты на один рейс; N_p – число рейсов за весь период эксплуатации.

Другой формой идентификации стоимости жизненного цикла модификаций является ее выражение через заявленный ресурс T_q :

$$C_{\text{ж.ц}} = A^q(m_{\text{к.н}} \cdot L)T_q, \quad (2)$$

где A^q – приведенные расходы, приходящиеся на один час полета; T_q – заявленный ресурс в часах.

Если же амортизационный срок задан в календарном времени, то

$$C_{\text{ж.ц}} = A^q(m_{\text{к.н}} \cdot L)V_{\Gamma}T_{\Gamma}, \quad (3)$$

где V_{Γ} – годовой налет самолета в часах; T_{Γ} – календарный срок службы самолета в годах; V_{Γ} – для среднемагистрального самолета $V_{\Gamma} = 455 \ln(L_p) - 1884$; V_{Γ} – для ближнемагистрального самолета $V_{\Gamma} = 656 \ln(L_p) - 2800$; V_{Γ} – для регионального самолета $V_{\Gamma} = 481 \ln(L_p) - 1687$; L_p – средне-взвешенная дальность перевозок за год.

Кроме того, в этой же работе предложен новый критерий удельных затрат за жизненный цикл ($\bar{C}_{\text{ж.ц}}$), выражающий собой отношение полных затрат за жизненный цикл к полезной работе за весь период эксплуатации:

$$\bar{C}_{\text{ж.ц}} = \frac{A^q(A_{\text{ас}}, A_{\text{ад}}, A_{\text{тос}}, A_{\text{тод}}, A_{\text{топ}}, A_3, V_{\text{ап}})T_q}{m_{\text{к.н}} \cdot L \cdot N_{\text{рейс}}}, \quad (4)$$

где $A_{\text{ас}}$, $A_{\text{ад}}$ – расходы на амортизацию самолета и двигателя;

$A_{\text{тос}}$, $A_{\text{тод}}$ – расходы на техническое обслуживание самолета и двигателя;

$A_{\text{топ}}$ – расходы на топливо; A_3 – расходы на заработную плату; $V_{\text{ап}}$ – аэропортовые расходы, на час полета.

Используя параметры соотношений «груз – дальность», приведенные в табл. 1, несложно провести оценку эффективности единой модификации по показателю величины стоимости жизненного цикла и по вновь введенному критерию удельных затрат за жизненный цикл (табл. 3).

Таблица 3

Экономические характеристики самолетов Ан-26, Ан-32, Ан-32Б и их обобщенной модификации

Параметры	Модификации			Обобщенная модификация
	Ан-32Б	Ан-32	Ан-26	
Дальность, км	1350	700	440	1920
Крейсерская скорость, км/ч	532	532	433	520
Рейсовая производительность, т·км/рейс	7425	3850	2420	10500
Заявленный ресурс, л. ч	35000	35000	30000	50000
Стоимость самолето-часа, дол.	2100	2100	2250	2000
Стоимость жизненного цикла, дол.	$735 \cdot 10^5$	$735 \cdot 10^5$	$675 \cdot 10^5$	$100 \cdot 10^6$
Критерий удельных затрат за жизненный цикл, дол/т·км/р	0,59	0,59	1,55	0,39

Анализируя стоимостные показатели, приведенные в табл. 3, необходимо отметить следующее:

1. Стоимость жизненного цикла обобщенной модификации несколько возросла вследствие

того, что ее ресурс увеличился почти в полтора раза.

2. Стоимость самолето-часа несколько снизилась, а критерий удельных затрат за жизненный цикл (0,39) почти в 4 раза ниже,

чем у Ан-26, и в 1,5 раза ниже, чем у самолетов Ан-32 и Ан-32Б.

Из полученных результатов, приведенных в табл. 3, вытекает ряд направлений развития модификаций транспортных самолетов рассмотренных типов на момент их создания. Предложенный критерий удельных затрат за жизненный цикл позволяет оценить эффективность модификаций с учетом величины заявленного ресурса, рейсовой производительности, числа рейсов на этапе эксплуатации.

Таким образом, и абсолютная величина стоимости жизненного цикла, и вновь предложенный критерий удельных затрат, являясь интегральными экономическими величинами, позволяют на самой ранней стадии создания модификаций самолетов транспортной категории оценить их эффективность.

Так путем увеличенных затрат при разработке обобщенной модификации создается практически новый самолет, унаследовавший все лучшие качества предшественников Ан-26, Ан-32 и Ан-32Б, но обладающий большей рейсовой производительностью, меньшей себестоимостью самолето-часа, а значит, и меньшими удельными затратами за жизненный цикл.

Выводы

1. Вместо эффективно используемых в течение нескольких десятков лет отечественных региональных транспортных самолетов Ан-26, Ан-32 и Ан-32Б предложена их обобщенная модификация с новой отечественной силовой установкой.

2. Рейсовая производительность обобщенной модификации возросла из-за увеличения полезной нагрузки до 8 т при сохранении дальности на уровне базовых вариантов, при этом (вследствие замены силовой установки) топливная эффективность увеличена на 17 %.

3. Эффективность модификационных изменений технических параметров оценена по интегральным показателям – стоимости жизненного цикла и критерию удельных затрат за жизненный цикл. Установлено, что по критерию удельных затрат за жизненный цикл предложенная обобщенная модификация превосходит базовые варианты в 1,5...3 раза.

4. На основе проведенных исследований предложен практически новый самолет в виде

обобщенной модификации, унаследовавшей все лучшие качества базовых самолетов Ан-26, Ан-32 и Ан-32Б, но обладающей большей производительностью, меньшей себестоимостью самолето-часа и меньшими удельными затратами за жизненный цикл.

Литература

1. Андриенко Ю. Г. Особенности расчета топливной эффективности самолетов гражданского назначения как одного из критериев оценки принимаемых решений [Текст] /Ю. Г. Андриенко// Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: Сб. науч. тр. – НАКУ. Вып. 14 «ХАИ». – Вып. 14. – Х.: 2002. – С. 41–47.

2. Бабенко Ю. В. Метод управления основными технико-экономическими параметрами самолета на этапе разработки его модификаций [Текст] /Ю. В. Бабенко// Вісті академії інженерних наук України. – Х.: – 2006. №3(30) – С. 121–125.

3. Бабенко Ю. В. Экономические причины разработки самолетных модификаций [Текст] /Ю. В. Бабенко// Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. Сб. науч. тр. – НАКУ. Вып. 14 «ХАИ». – Вып. 19. – Х.: 2003. – С. 142–148.

4. Бабенко Ю. В. Концептуальные положения оценки экономической эффективности самолетов в условиях рыночных отношений [Текст] /Ю. В. Бабенко// Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. Сб. науч. тр. – НАКУ. Вып. 14 «ХАИ». – Вып. 22. – Х.: 2004. – С. 124–130.

5. Бадягин А. А. Проектирование пассажирских самолетов с учетом экономики эксплуатации [Текст] /А. А. Бадягин, Е. А. Овруцкий. – М.: Машиностроение, 1964. – 295 с.

6. Дружинін Є. А. Оцінка вартості проектів складних технічних систем на початкових етапах розробки [Текст] /Є. А. Дружинін, О. С. Яшина// Вісник Нац. техн. ун-ту ХПІ. – 2002. – №3. – С. 87-91.

7. Шейнин В. М. Роль модификаций в развитии авиационной техники [Текст] /В. М. Шейнин, В. М. Макаров//. – М.: Наука. – 1983. – 226 с.

Поступила в редакцию 29.05.2015

Ю. В. Бабенко. Управління ефективністю узагальненої модифікації регіональних транспортних літаків на етапі її розробки

Запропоновано узагальнена модифікація вітчизняних серійних транспортних літаків Ан-26, Ан-32 і Ан-32Б. Відмінна особливість запропонованої модифікації полягає в збільшеній величині корисного навантаження (при збереженні дальності на рівні базових варіантів), а також в заміні силової установки шляхом постановки в узагальнену модифікацію вітчизняних двигунів ТВ3-117ВМА. Так, шляхом збільшення комерційного навантаження забезпечено зростання рейсової продуктивності узагальненої модифікації, а внаслідок заміни силової установки покращалася її паливна ефективність. Оцінка вартісної ефективності модифікаційних змін проведена на основі вперше введених авторами інтегральних показників таких як вартість життєвого циклу і критерій питомих витрат за життєвий цикл. Встановлено що за прийнятим критерієм узагальнена модифікація перевершує базові літаки в 1,5 ... 3 рази.

Ключові слова: модифікації літаків транспортної категорії, ефективність, питомі затрати за життєвий цикл.

Babenko Julia. Management of the effectiveness of a generational transport aircraft modification at the stage of its development

A generalized modification of domestic production of transport the An-26, An-32 and An-32B aircraft is proposed. The distinctive features of proposed modification are: the increase in the value of the payload at maintaining the flight range at the base options, and in the replacement of the power plant by setting domestic TB3-117BMA engines into the generalized modification as well. Thus, by increasing the commercial load capacity the growth of flight productivity of the generalized modification is achieved, and as a result of the replacement of the power plant its fuel efficiency has improved. The evaluation of cost effectiveness of the modification changes is based on for-the-first-time introduced by the authors' integral indicators such as the life-cycle cost and the criterion of specific cost within the life-cycle. It was found that on the basis of the adopted criterion the generalized modification exceeds the base airplanes in 1.5 ... 3 times.

Key words: modifications of transport category aircraft, the effectiveness, the specific expenses within the life-cycle.