

УДК 629.735.33

Л. В. КАПІТАНОВА, В. Є. ЗАЙЦЕВ

*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Україна***ТЕНДЕНЦІЇ ЗМІНЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИ СТВОРЕННІ МОДИФІКАЦІЙ ЛІТАКІВ ТРАНСПОРТНОЇ КАТЕГОРІЇ**

*Подано аналіз і тенденції змінення основних параметрів модифікації літаків транспортної категорії, таких, як злітна й посадкова маса, питома навантаження на крило, тягооснащеність і злітно-посадкові характеристики. Установлено, що основною відмінною ознакою модифікації є її більш висока рейсова продуктивність у параметрах характеристики “вантаж – дальність”, що й приводить до змінення названих вище основних параметрів. Оцінено, що злітна маса збільшується на 10...20 %, потрібна довжина злітно-посадкової смуги – на 20...30%. Підкреслено, що проблема втримання злітно-посадкових характеристик модифікацій зі збільшеними масою й питомих навантажень на крило є актуальним науковим і практичним завданням.*

**Ключові слова:** модифікації літаків, злітна маса, питома навантаження на крило, злітно-посадкові характеристики.

**Вступ**

Створення модифікацій літаків транспортної категорії набуло поширення як процес адаптації до науково-технічних і економічних умов, що постійно змінюються протягом досить тривалого життєвого циклу (40...50 років) літака [1 – 3].

Вітчизняні літакобудівники раніше за інших освоїли цей шлях забезпечення транспортної й вартісної ефективності авіап перевезень літаками, що є модифікаціями базового літака Ан-148: Ан-148-100, Ан-148-100А, Ан-148-100У, Ан-148-100Н,

Серед зарубіжних слід зазначити модифікації літаків В-737: В-737-100, В-737-200А, В-737-200F, В-737-200С, В-737-300, В-737-400, В-737-400Н, В-737-500, В-737-600, В-737-700, В-737-800, В-737-900.

З огляду на такий інтенсивний процес створення модифікацій, важливо визначити, які з основних параметрів базового літака, що виправдав себе в процесі експлуатації, змінюються та в якому діапазоні.

Найбільш важливою причиною розроблення модифікацій є цілеспрямоване змінення рейсової продуктивності й зниження собівартості авіап перевезень [4]. При цьому продуктивність змінюється внаслідок збільшення комерційного навантаження й дальності перевезень, що й спричиняє змінення всіх інших основних параметрів літака [5].

**Постановка завдання**

Виявити основні тенденції в процесах появи й створення модифікацій, найбільш істотні їхні відмітні

ознаки від базового варіанта літака, а також дослідити вплив параметрів, що модифікуються, на змінення злітно-посадкових характеристик модифікацій.

**Параметричний аналіз створених модифікацій літаків**

Цілеспрямоване розроблення модифікацій у вітчизняному літакобудуванні здійснено на базі літака Ан-24 у вигляді транспортних літаків Ан-26, Ан-30, Ан-32. Площа крила всіх цих літаків є однаковою ( $S_{кр} = 74,98 \text{ м}^2$ ), що за аеродинамічними, міцнісними, компоновальними і іншими параметрами можна вважати ідеальним для розглянутих швидкостей польоту (табл. 1).

Для всіх модифікацій істотно підвищувалася: продуктивність за параметрами “вантаж – дальність”, злітна маса, питома навантаження на крило, і, як наслідок, погіршувалися злітно-посадкові характеристики (табл. 2).

Однак слід зазначити, що при розробленні так званих “глибоких” модифікацій, тобто із заміною силової установки (див. параметри літака Ан-32 (див. табл. 1)), навіть при збільшеній злітній масі ( $m_{зл} = 27000 \text{ кг}$ ) вдається знизити тільки довжину пробігу при посадці, тоді як довжина розбігу при зльоті навіть трохи збільшується).

Аналогічно змінюються основні параметри в процесі модифікації зарубіжних літаків А3ХО (Європа, табл. 3), ERJX (Британія, табл. 4) і “Боїнг-767” (США, див. табл. 2).

Наведені дані показують, що кількісні зміни основних параметрів та їх спрямованість насампе-

Таблиця 1

Деякі параметри літака Ан-24 та його модифікацій Ан-26, Ан-30 і Ан-32

Деякі параметри	Модифікації			
	Ан-24	Ан-26	Ан-30	Ан-32
Максимальна злітна маса, кг	21800	24000	23000	27000
Дальність, км	2450	2400	2240	2200
Площа крила, м <sup>2</sup>	74,98	74,98	74,98	74,98
Питоме навантаження на крило	290,7	320	306,7	360
Максимальне комерційне навантаження, кг	5500	5500		6700
Тяга двигунів	2×2550 к. с.	2×2820 к. с.	2×2820 к. с.	2×5180 к. с.
Довжина розбігу, м	650	870	770	880
Довжина пробігу, м	590	650	525	505

Таблиця 2

Основні характеристики модифікацій літака “Боїнг-767”

Характеристика	Боїнг-767-200		Боїнг-767-200ER		Боїнг-767-300	
Довжина літака, м	48,51		48,51		54,94	
Кількість пасажирів у змішаному класі	216		216		261	
Максимальна злітна маса, т	136,08	151,95	156,5	159,2	156,5	159,2
Максимальна посадкова маса, т	122,47	126,1	126,1		136,08	
Максимальний запас палива, л	63215		77410		63215	
Дальність польоту із кількістю місць у змішаному класі, м	7360		9420		7600	
Довжина злітної доріжки при максимальній злітній масі, м	1720	1890	2410	2410	2410	2410

ред залежать від мети модифікації і способів наміченої реалізації [2].

У практиці проектування пасажирських і транспортних літаків існують послідовний й паралельний метод розробки модифікації.

При послідовному методу розроблення модифікації створюються зі зміщенням у часі, а при паралельному – проектуються одночасно з базовим літаком.

При послідовному розробленні для кожної наступної модифікації попередня є ніби базовою машиною. Усі нововведення, реалізовані при її створенні переходять у проект наступної модифікації. При паралельному розробленні базовий літак є єдиним вихідним варіантом для всіх модифікацій

Аналізуючи здійснені модифікації, необхідно зазначити таке:

– зі збільшенням кількості пасажирів (тобто корисного навантаження) збільшується й злітна маса літака, а при незмінній площі крила збільшується питоме навантаження на крило й змінюється енергооснащеність; при цьому злітна маса й кількість пасажирів збільшуються до 20 %;

– серед основних параметрів літака найбільшою мірою змінюється питоме навантаження, мен-

шою - енергооснащеність;

– геометричні параметри також змінюються: збільшується довжини фюзеляжу - до 20 %, площа оперення - до 25 %, площа крила (що зустрічається дуже рідко) - до 10 %.

Слід зазначити, що між злітною масою  $m_0$ , питомим навантаженням на крило й величиною злітної дистанції існує стійка взаємозамінність.

Як впливає з даних, наведених у табл. 2 і 3, зі збільшенням злітної маси модифікованих літаків істотно збільшується й потрібна довжина їх злітно-посадкової дистанції (ЗПП) (рис. 1).

Існує й інший ефект від збільшення злітної маси, коли модифікація літака здійснюється без змінення параметрів силової установки, тобто при незмінній тязі двигунів.

Особливо значно збільшується потрібна довжина злітної дистанції в модифікованих літаків з тягооснащеністю  $\bar{t}_0 = 0,25 \dots 0,40$ , що є найбільш характерним для пасажирських і транспортних літаків.

Узагальнену залежність збільшення потрібної довжини злітно-посадкової смуги (ЗПП) для модифікованих літаків зі збільшеною злітною масою  $m_0$  зображено на рис. 2.

Таблиця 3

Зміни основних параметрів при модифікаціях літаків типу АЗХО (Європа)

Тип літака та його модифікації	Кількість пасажирів	Злітна маса, кг	Площа крила, м <sup>2</sup>	Питоме навантаження на крило, кг/м <sup>2</sup>	Тип двигуна	Злітно-посадкові характеристики	
						Довжина розбігу по FAR, м	Довжина пробігу по FAR (посадкова дистанція), м
A330-200	253-406	243450	362	673	GECF-6-80E	2256	1509
A330-300	295-440	243450	362	673	GECF-6-80E	2652	1745
A340-200	239	275000	362	760	CFM56-5C	2652	1790
A340-300	295-440	276500	362	764	CFM56-5C	3048	1864
A340-500	313-375	368000	435	846	RRTzent500	3186	1960
A340-600	380-475	368000	435	846	RRTzent500	3186	2012

Таблиця 4

Зміни основних параметрів пасажирських літаків типу ERJX у процесі їхньої модифікації (Британія)

Тип літака та його модифікації	Кількість пасажирів	Злітна маса, кг	Площа крила, м <sup>2</sup>	Питоме навантаження на крило, кг/м <sup>2</sup>	Тип двигуна	Злітно-посадкові характеристики	
						Довжина розбігу по FAR, м	Довжина пробігу по FAR (посадкова дистанція), м
ERJ135ER	37	19000	49,6	384	AE307-A3	1516	1209
ERJ135LR	37	20000	49,6	404	AE307-A1	1673	1209
ERJ140ER	44	20150	49,6	407	AE307-A1	1693	1344
ERJ140LR	44	20200	49,6	408	AE307-A1	1934	1349
ERJ145ER	50	20500	49,6	414	AE307-A1/1	1752	1349
ERJ145LR	50	22000	49,5	444	AE307-A1P	2233	1383
ERJ145XR	50	24000	49,6	484	AE307-A1B	2093	1417

Наведений аналіз показує, що розробники модифікацій літаків прагнуть забезпечити максимальну їх продуктивність на конкретних авіалініях із заданою довжиною, тобто забезпечити їх конкурентоспроможність за паливною ефективністю, вартістю літако-часу й собівартістю авіаперевезень. Таким шляхом оперативно реалізується процес досконалості літакового парку з урахуванням вимог часу.

Однак, підвищення продуктивності неминуче призводить до збільшення злітно-посадкових мас, до зниження рівня їх тягооснащеності і, як наслідок, до погіршення злітно-посадкових характеристик.

Так, збільшення злітної маси модифікації на 20 % потребує збільшення потрібної злітно-посадкової смуги майже на 40 %, що приводить іноді до перебазування модифікації на аеродроми

більш високого класу.

У зв'язку із природним погіршенням злітно-посадкових характеристик модифікацій необхідно також урахувати "людський фактор" із заміною екіпажів при експлуатації різних модифікацій з різною потрібною довжиною ЗПП.

На рис. 3 показано діаграму, що ілюструє абсолютну й відносну кількість викочувань за злітно-посадкову смугу на російських авіалініях.

Існують кілька причин таких подій і навіть катастроф. Однією із причин є те, що пілоти, які літали на одних модифікаціях і перейшли на інші, не завжди враховують фактор природного погіршення умов посадки модифікації з більш високим питомим навантаженням на крило.

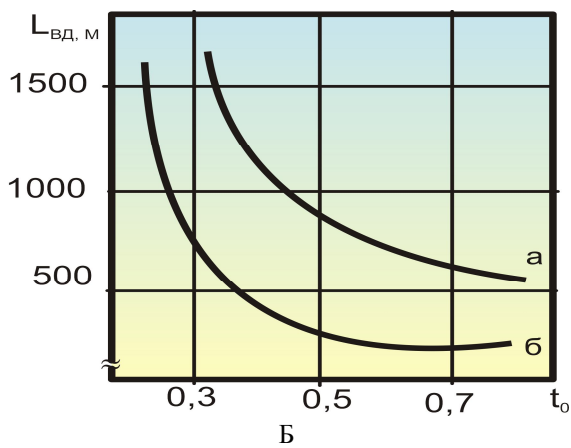
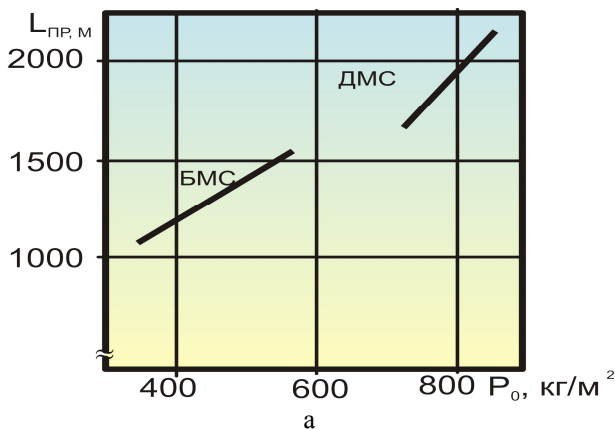
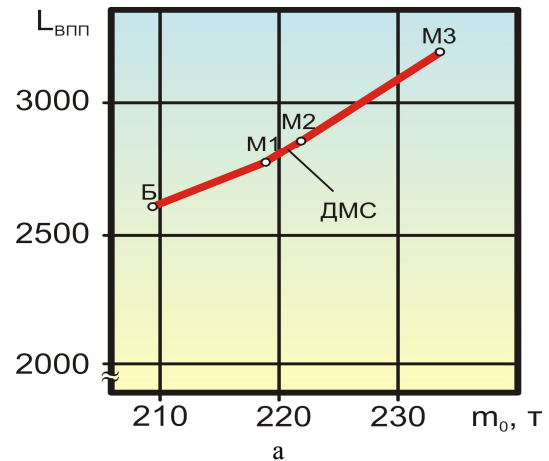


Рис. 1. Змінення довжини пробігу  $L_{пр}$  зі зміненням питомого навантаження на крило  $P_o$  і тягооснащеності  $\bar{t}_0$  на потрібну величину злітної дистанції  $L_{вд}$  модифікацій: а – при питомому навантаженні на крило  $P_o = 600$  даН/м<sup>2</sup>; б – при питомому навантаженні на крило  $P_o = 200$  даН/м<sup>2</sup>

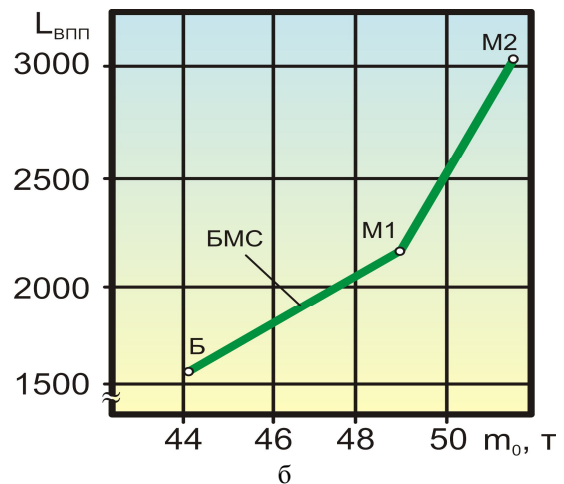
## Висновки

1. Аналіз уже створених ТА експлуатованих модифікацій літаків транспортної категорії показав:

- модифікації здійснено для збільшення їх продуктивності шляхом змінення величин комерційного навантаження й дальності його перевезення, що дає можливість знизити собівартість авіаперевезень;
- при здійсненні таких модифікацій злітна маса збільшується до 10...20 %, довжина фюзеляжу – до 20 %, площа крила практично не змінюється, питома навантаження на крило збільшується до 20%;



Б – В-747; М<sub>1</sub> – В-747-100; М<sub>2</sub> – В-747-200; М<sub>3</sub> – В-747-300



Б – Ту-204; М<sub>1</sub> – Ту-204-100; М<sub>2</sub> – Ту-204-300

Рис. 2. Довжина злітно-посадкових смуг далеко- (ДМС) і близькомагістаральних літаків (БМС): Б – базові літаки; М<sub>1</sub>, М<sub>2</sub>, М<sub>3</sub> – модифікації

– злітно-посадкові характеристики, тобто довжина розбігу при зльоті й довжина пробігу при посадці, а також потрібна довжина злітно-посадкової смуги при перерваному зльоті збільшуються на 20...35 %;

– мають місце викочування літаків за злітно-посадкових смугу через збільшення довжини пробігу модифікацій зі збільшеним питомим навантаженням на крило.

2. Проблема втримання злітно-посадочних характеристик для модифікацій зі збільшеною масою на рівні базового літака є актуальним науковим і практичним, поки не вирішеним, завданням.



а



б



в

Рис. 3. Абсолютна й відносна кількість викочувань літаків за ЗПП по роках експлуатації:  
 а – абсолютна й відносна кількість викочувань за ЗПП;  
 б, в – наслідки викочувань середньо- і далеко магістральних літаків

## Литература

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

2. Principles of Designing of Airplanes with Turbine Engines [Text]: study guide / P. V. Balabuyev, S. A. Bichkov, A. G. Grebenikov et al. – Kharkiv: National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, 2013. – 731 p.

3. Основные летно-технические характеристики АН-148 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.antonov.com/aircraft/passenger-aircraft/an-148/an-148-aircraft-perfomens>. – 15.09.2016.

4. Бабенко, Ю. В. Экономические причины разработки самолетных модификаций [Текст] / Ю. В. Бабенко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского “Харьков. авиац. ин-т”. – Вып. 24. – X., 2004. – С. 142-145.

5. Капитанова, Л. В. Основные условия сохранения базовых взлетно-посадочных характеристик при разработке модификаций самолетов [Текст] / Л. В. Капитанова // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского “Харьков. авиац. ин-т”. – Вып. 4 (51). – X., 2007. – С. 18–25.

## References

1. Sheinin, V. M. Rol' modifikatsiy v razvitii aviatsionnoy tekhniki [Role of modifications in aviation vehicles development]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1983. 226 p.

2. Balabuyev, P. V., Bichkov, S. A., Grebenikov A. G. at al. Principles of Designing of Airplanes with Turbine Engines: study guide. Kharkiv, NAU “KHAI” Publ., 2013. 731 p.

3. AN-148 Basic Performance Data. Available at: <http://www.antonov.com/aircraft/passenger-aircraft/an-148/an-148-aircraft-perfomens?lang=en> (accessed 15.09.2016).

4. Babenko, Y. V. *Ekonomicheskiye prichiny razrabotki samolyotnykh modifikatsiy* [Economical reasons of aircraft modifications development]. *Otkrytiye informatsionnyie i komp'yuternyye integrirovannyye tekhnologii* [Open information and computer integrated technologies]. Kharkiv, Collection of scientific Works, NAU "KHAI", 2004, vol. 24, pp. 142-145.

5. Kapitanova, L. V. *Osnovnyye usloviya sokhraneniya bazovykh kharakteristik pri razrabotke*

*modifikatsiy samoletov* [Main Conditions of Keeping the Basic Runway Performance in the Process of Aircraft Modifications]. *Trudy NAU "KHAI" Voprosy proektirovaniya i proizvodstva konstrukcij letatel'nyh apparatov* [Proc. of the NAU "KHAI" Problems of Designing and Manufacturing of Aircraft Structures], Kharkiv, 2007, vol. 4 (51), pp. 18-25.

*Поступила в редакцию 4.03.2017, рассмотрена на редколлегии 8.06.2017*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О. В. Бетін, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків

### ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ СОЗДАНИИ МОДИФИКАЦИЙ САМОЛЕТОВ ТРАНСПОРТНОЙ КАТЕГОРИИ

*Л. В. Капитанова, В. Е. Зайцев*

Представлен анализ и тенденции изменения основных параметров модификаций самолетов транспортной категории, таких как взлетная и посадочная масса, удельная нагрузка на крыло, тяговооруженность и взлетно-посадочные характеристики. Установлено, что основным отличительным признаком модификации является ее более высокая рейсовая производительность в параметрах характеристики «груз-дальность», которая и приводит к изменению выше названных основных параметров. Оценено, что взлетная масса возрастает на 10...20%, потребная длина взлетно-посадочной полосы до 20...30%. Подчеркнуто, что проблема удержания взлетно-посадочных характеристик модификаций с увеличенной массой и удельной нагрузкой на крыло остается актуальной научной и практической задачей.

**Ключевые слова:** модификации самолетов, взлетная масса, удельная нагрузка на крыло, взлетно-посадочные характеристики.

### TRENDS IN CHANGING THE MAIN PARAMETERS WHEN CREATING MODIFICATIONS TO THE TRANSPORT CATEGORY AIRCRAFT

*L. V. Kapitanova, V. E. Zaytsev*

Analysis and trends of main parameters (such as takeoff and landing mass, wing specific loading, thrust-to-weight ratio and takeoff and landing performance) variation of transport category airplane modifications is given. It is established, that main distinguisher of modification is its too much flight productivity in terms of "payload-range", which just leads to variation of the main parameters mentioned above. It is obvious, that takeoff mass increases by 10...20...20 % of fuselage length up to 20 %, required airfield length up to 20...30 % It is stressed, that problem to keep takeoff and landing performance of modification with increased mass and wing specific loading is still actual scientific and practical task.

**Keywords:** airplane modification, takeoff mass, wing specific loading, takeoff and landing performance.

**Капітанова Людмила Валеріївна** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри проектування літаків та вертольотів Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Україна, e-mail: l.kapitanova@khai.edu.

**Зайцев Віталій Єгорійович** – д-р техн. наук, проф., проф. каф. технології виробництва літальних апаратів Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Україна, e-mail: vitaliy.zaytsev@khai.edu.

**Kapitanova Liudmyla Valeriyvna** – Candidate of Technical Science, Assistant Professor, Assistant Professor of Dept. for Designing of Airplanes and Helicopters National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovsky "KhAI", Kharkov, Ukraine, e-mail: l.kapitanova@khai.edu.

**Zaytsev Vitaly Egorievich** – Doctor of Technical Sciences, professor of department of technology of production of aircraft of the Nation Aerospace University named after N. Ye. Zhukovsky "KhAI", Kharkov, Ukraine, e-mail: vitaliy.zaytsev@khai.edu.