

**СОЗДАНИЕ СРЕДНЕГО ВОЕННО-ТРАНСПОРТНОГО САМОЛЕТА АН-178
НА БАЗЕ ПАССАЖИРСКОГО ВАРИАНТА АН-148
ПУТЕМ РЕАЛИЗАЦИИ ГЛУБОКИХ МОДИФИКАЦИОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ**

А. В. Лось

Государственное предприятие «Антонов»

ул. Академика Туполева, 1, г. Киев, 02000, Украина. E-mail: systems.an@ukr.net

Осуществлено параметрическое преобразование пассажирского самолета Ан-148 в военно-транспортный самолет Ан-178 с увеличенными грузоподъемностью и дальностью действия путем геометрической перекомпоновки крыла и замены маршевых двигателей. Геометрическая перекомпоновка крыла осуществлена путем изменения сужений $\eta_c = (\bar{z}_n)$ обеих трапеций, образующих план крыла; формирования углов оптимизирующей геометрической крутки $\varepsilon^0(z_i)$ местных хорд по размаху крыла. Такая геометрическая перекомпоновка привела к повышению коэффициента подъемной силы ($+\Delta C_y = 1,72$) и снижению коэффициента сопротивления ($-\Delta C_x = 0,009$) для модификации Ан-178. Модификационные изменения в силовой установке осуществлены путем замены обоих двигателей типа Д36-5АФ на двигатели типа D436-148FM. С учетом таких изменений в крыле и в силовой установке на основе моделей сформирована характеристика «грузоподъемность – дальность действия» военно-транспортного самолета (ВТС) Ан-178, свидетельствующая о том, что грузоподъемность модификации увеличена по сравнению с базовой моделью до 18 т на авиалиниях до 1200 км, и это свойство сохраняется на дальности до $L = 4000$ км. При столь значительном превосходстве в грузоподъемности модификация Ан-178 обладает топливной эффективностью на уровне базовой модели, вследствие улучшения аэродинамического качества благодаря геометрической перекомпоновке крыла и использованию нового двигателя с меньшим удельным расходом топлива. Военно-транспортный самолет Ан-178 реализован в полном соответствии с требованиями АП-25 и ОТ ВВС. Лучшие качества базовой модели Ан-148 сохранены, сохраняется преимущество в пилотировании и техническом обслуживании, а существенное преимущество в грузоподъемности обеспечит конкурентоспособность этой модификации в классе средних ВТС.

Ключевые слова: средний военно-транспортный самолет, модификация, характеристика «груз – дальность».

**СТВОРЕННЯ СЕРЕДНЬОГО ВІЙСЬКОВО-ТРАНСПОРТНОГО ЛІТАКА АН-178
НА БАЗІ ПАСАЖИРСЬКОГО ВАРІАНТУ АН-148
ШЛЯХОМ РЕАЛІЗАЦІЇ ГЛИБОКИХ МОДИФІКАЦІЙНИХ ЗМІН**

О. В. Лось

Державне підприємство «Антонов»

вул. Академіка Туполева, 1, м. Київ, 02000, E-mail: systems.an@ukr.net

Здійснено параметричне перетворення пасажирського літака Ан-148 у військово-транспортний літак Ан-178 зі збільшеними вантажопідйомністю і дальністю дії шляхом геометричного перекомпонування крила й заміни маршових двигунів. Геометричне перекомпонування крила здійснено шляхом зміни звужень $\eta_c = (\bar{z}_n)$ обох трапецій, що утворюють план крила; формування кутів оптимізаційної геометричної крутки $\varepsilon^0(z_i)$ місцевих хорд по розмаху крила. Таке геометричне перекомпонування привело до підвищення коефіцієнта підйомної сили ($+\Delta C_y = 1,72$) і зниження коефіцієнта опору ($-\Delta C_x = 0,009$) для модифікації Ан-178. Модифікаційні зміни в силовій установці здійснено шляхом заміни обох двигунів типу Д36-5АФ на двигуни типу D436-148FM. З урахуванням таких змін у крилі і в силовій установці на основі моделей сформовано характеристику «вантажопідйомність – дальність дії» військово-транспортного літака (ВТЛ) Ан-178, що свідчить про те, що вантажопідйомність літака збільшено порівняно з базовою моделлю до 18 т на авіалініях до 1200 км, і зберігається ця властивість на дальності до $L = 4000$ км. При настільки значній перевазі у вантажопідйомності модифікація Ан-178 має паливну ефективність на рівні базової моделі внаслідок поліпшення аеродинамічної якості завдяки геометричному перекомпонуванню крила й використанню нового двигуна з меншою питомою витратою палива. Військово-транспортний літак Ан-178 реалізовано у повній відповідності до вимог АП-25 і ОТ ВВС. Кращі якості базової моделі Ан-148 збережено, зберігається наступність у пилотуванні і в технічному обслуговуванні, а суттєва перевага у вантажопідйомності забезпечить конкурентоспроможність цієї модифікації у класі середніх ВТЛ.

Ключові слова: середній військово-транспортний літак, модифікація, характеристика «вантаж – дальність».

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. При создании средних военно-транспортных самолетов важным фактором является время доставки грузов, которое определяется не только расстоянием, но и скоростью в крейсерском полете. Решаются такие задачи путем улучшения аэродинамических

характеристик крыла и использования турбореактивных двигателей [1].

Ярким примером такого подхода является создание ВТС Ан-178 на базе пассажирского самолета Ан-148 (рис. 1).

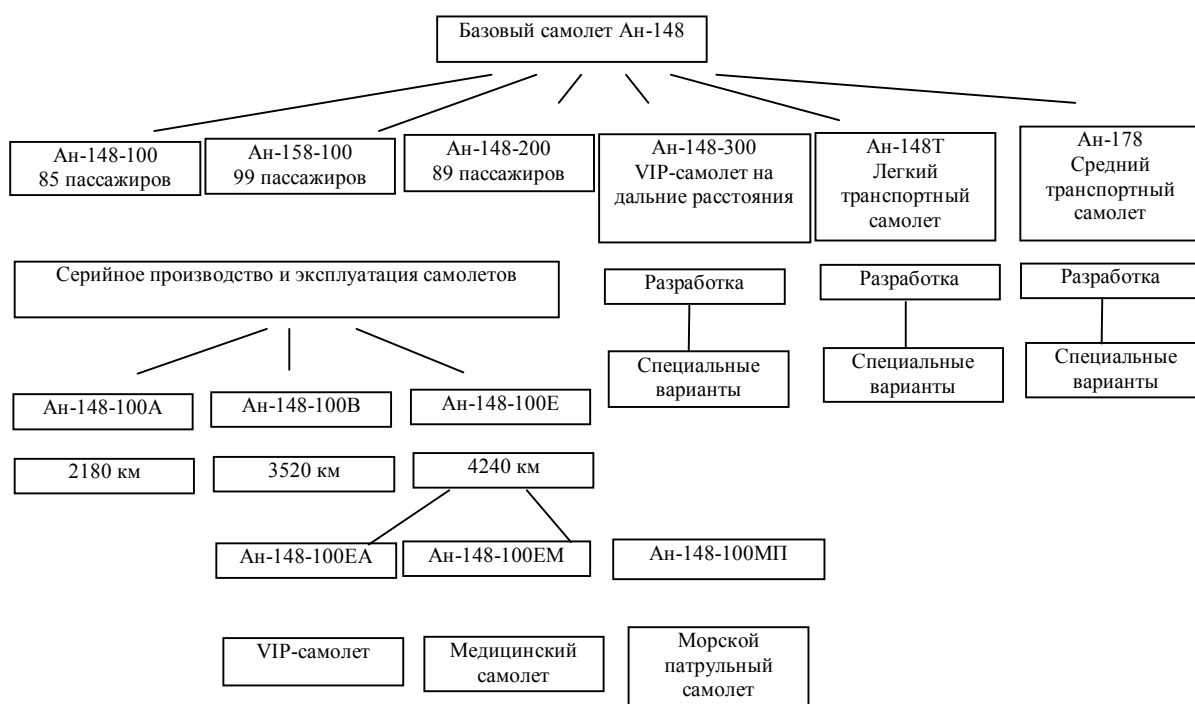


Рисунок 1 – Средний транспортный самолет Ан-178 в структуре модификаций Ан-148 [2]

При создании военно-транспортного самолета на основе пассажирского варианта самолета Ан-148 возникает ряд проблем, разрешение которых требует существенных изменений в системе несущих поверхностей («крыло + агрегаты хвостового оперения»), а также в силовой установке в целях увеличения грузоподъемности ВТС.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. *Моделирование изменений основных параметров.*

Для решения такого комплекса задач предложена «Методология проектирования модификаций ВТС при глубоких изменениях в крыле и в силовой установке» [3], в структуре которой разработаны модели геометрической перекомпоновки крыла и всей системы несущих поверхностей в целях определения взаимного влияния изменяемых параметров и согласования изменений в геометрии крыла и в силовой установке при замене маршевых двигателей [4–8].

На основе исследований в источниках [4–8] взаимосвязь параметров грузоподъемности m_r и дальности действия L оценивается системой уравнений:

$$\begin{cases} m_r = m_o - m_{п.с} - m_T; \\ L = \frac{KV_{крейс}}{C_R} \ln \frac{1}{1 - \bar{m}_T}, \end{cases} \quad (1)$$

где m_o , $m_{п.с}$, m_T – стартовая масса, масса пустого самолета и масса топлива; $V_{крейс}$, K – крейсерская скорость и аэродинамическое качество; C_R – удельный расход топлива двигателя.

Эта система является моделью для представления базового самолета и его модификаций в виде характеристики «груз – дальность».

Стартовую массу модификации представим в виде зависимости

$$m_o = \psi \frac{m_r + m_{об}(m_r, L)}{1 - [\bar{m}_к(m_o) + \bar{m}_{с.у}(m_o) + \bar{m}_T(m_o)]}. \quad (2)$$

Отличительная особенность состоит в том, что не только стартовая масса зависит от всех параметров, входящих в выражение (1), но и все эти параметры являются функциями стартовой массы в виде нормированных зависимостей

$$\bar{m}_T = \left(1 - e^{-\frac{C_R L}{KV}} \right) = 1 - e^{\bar{L}}, \quad (3)$$

где \bar{L} – удельная дальность:

$$\bar{L} = \frac{L}{\frac{KV}{C_R}} = \ln \frac{1}{1 - \bar{m}_T}, \quad (4)$$

что позволило оценить удельную топливную эффективность как

$$\bar{q}_T = \frac{C_R}{KV} \int_{\bar{L}} \frac{\bar{m}_T}{\bar{m}_r} \frac{1}{L} d\bar{L} \quad (5)$$

и управлять показателем топливной эффективности уже на этапе проектирования.

В «нормированном» виде представлена и величина потребной тяговооруженности \bar{t}_o в моделях согласования изменений в аэродинамике крыла и в силовой установке:

$$\bar{q}_{Tmin} \rightarrow \bar{t}_o = \frac{1}{K},$$

где q_T – параметр топливной эффективности модификации.

При расчете длины разбега использована зависимость в конечных величинах:

$$L_p = \frac{V_{отр}^2}{2g \left(K_1 t_o - f_k - \frac{\rho_o C_{Xp} S_{кр} V_{отр}^2}{6m_o} \right)}, \quad (6)$$

где K_1 – коэффициент, учитывающий падение тяги в двигателе по скорости и потери в воздухозаборниках (для самолетов с ТРД при стандартной атмосфере $K_1 \approx 0,900 \dots 0,813$); f_k – коэффициент трения качения $0,02 \leq f_k \leq 0,08$; $0,02$ – по сухому бетону, $0,04$ – по твердому грунту; $V_{отр}$ – скорость отрыва при взлете; t_o – стартовая тяговооруженность.

Оценка возможности увеличения грузоподъемности и дальности действия на основе сохранения геометрии крыла и параметров силовой установки базового самолета Ан-148.

При разработке модификаций всегда возникает проблема – какие параметры базовой модели сохранить, а какие изменить, и в каком диапазоне. Это и определяет глубину модификационных изменений. Естественно, появляется вопрос: какие предельные возможности можно реализовать в базовой модели с учетом ограничений по её предельной массе и других требований, обусловленных нормами летной годности для самолетов рассматриваемого типа?

Для среднего самолета Ан-148 (как базовой модели) нормируемые ограничения показаны на рис. 2, где имеются такие параметры: 1 – коэффициент подъемной силы, необходимой для крейсерского полета на высоте $H = 11600$ м со скоростью $V = 800$ км/ч; 2 – суммарная величина тяги двигателей для обеспечения крейсерского полета ($H = 11600$ м, $V = 800$ км/ч); 3 – стартовая тяговооруженность самолета, необходимая для обеспечения определенного в «НАГС-3» градиента набора высоты на третьем этапе продолженного взлета при отказе одного из двигателей ($t_{о\text{ потр}}$); 4 – стартовая тяговооруженность, которой обладает самолет при работе двигателей на максимальном режиме ($t_{о\text{ распр}}$); 5 – пограничное значение коэффициента подъемной силы для крейсерского

полета $C_{y\text{ гр. доп}} = 0,65$; 6 – суммарная величина тяги двигателей, которой обладает самолет при работе на номинальном режиме $P_{расп} = 3370$ даН; 7 – показатель «число пассажиров – взлетная масса», при котором $t_{о\text{ распр}} = t_{о\text{ потр}}$; 8 – ограничение показателя «число пассажиров – взлетная масса» по величине градиента набора высоты на этапе продолженного взлета; 9 – ограничение показателя «число пассажиров – взлетная масса» по величине тяги, необходимой для крейсерского полета; 10 – ограничение показателя «число пассажиров – взлетная масса» по величине коэффициента подъемной силы

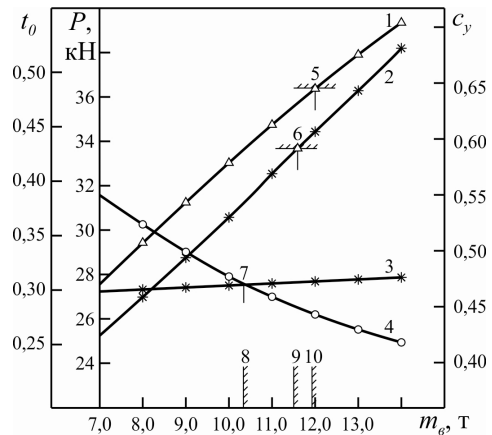


Рисунок 2 – Ограничения по параметрам пассажирского самолета с двумя ТРД в процессе его создания

Реализация глубоких модификационных изменений при создании ВТС Ан-178.

Учитывая перечисленные выше ограничения, можно прийти к выводу, что на базе этой модели реализовать средний ВТС не представляется возможным, и формирование параметров ВТС Ан-178 с увеличенными грузоподъемностью и тяговооруженностью следует осуществлять путем глубоких модификационных изменений в крыле и в силовой установке.

Геометрическая перекомпоновка крыла осуществлена на основе моделей, полученных в работе [3] (рис. 3).

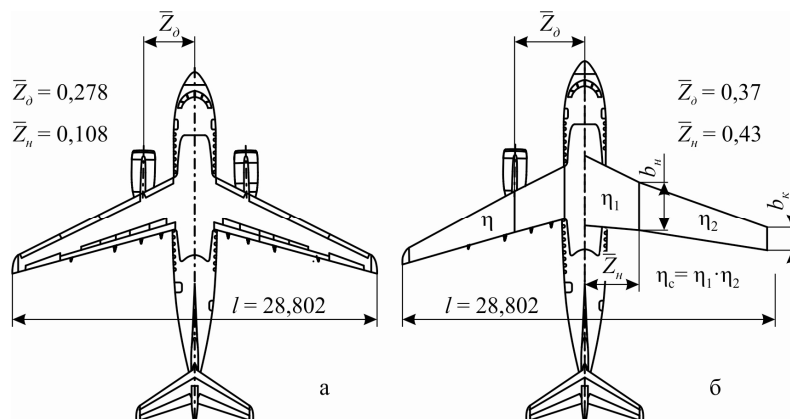


Рисунок 3 – Геометрическая перекомпоновка крыла самолета Ан-148 (а) в модификации Ан-178 (б)

Сравнительная оценка такой геометрической перекомпоновки для крыла самолета Ан-178 приведена в табл. 1.

Таблица 1 – Сравнительная оценка геометрических параметров крыльев региональных самолетов с двумя ТРД

Параметры крыла	Сравниваемые самолеты					
	RRJ 60-95	Embraer-195	Кава-саки С-2	Ан-148	Opt*	ВТС Ан-178
Суммарное сужение крыла, η_c	3,62	3,17	3,34	3,72	3,31	3,1
Относительные координаты излома \bar{Z}_H	0,365	0,39	0,44	0,108	0,43	0,4
Относительные координаты расположения двигателя на крыле \bar{Z}_D	0,314	0,33	0,36	0,278	0,37	0,4

*Opt – значения параметров, найденные из условия обеспечения максимума коэффициента эллиптичности трапецевидного крыла с одной координатой излома \bar{Z}_H .

Модификационные изменения в силовой установке Ан-178 осуществлены путем замены двигателей типа Д36-5АФ на двигатель D436-148FM с улучшенными характеристиками (табл. 2).

Таблица 2 – Исходные параметры двигателя D436-148 FM в модификации ВТС Ан-178

Двигатель (установленный)	Д-436-148		Д-436-148ФМ
Вариант настройки САУ	148Б	148Д	148ФМ
Максимальный крейсерский режим, МСА			
Высота полета, м	11000		11000
Число Маха	0,75		0,75
Тяга, кгс	1500		1650

С учетом таких изменений в крыле и в силовой установке сформирована характеристика «грузоподъемность – дальность действия» ВТС Ан-178, свидетельствующая о том, что грузоподъемность Ан-178 увеличена до 16 т на авиалиниях до 1200 км (рис. 4) при топливной эффективности $q_T = 223$ г/т·км.

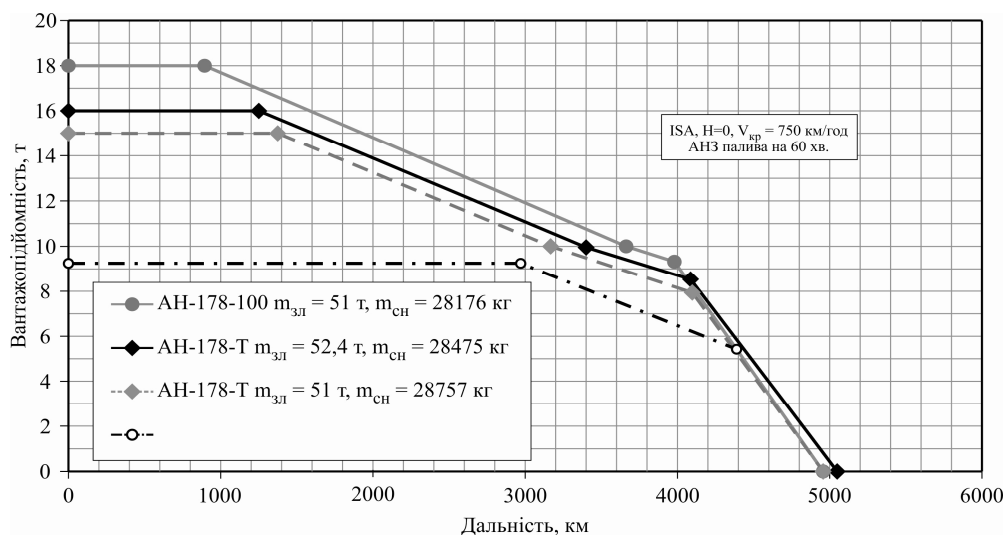
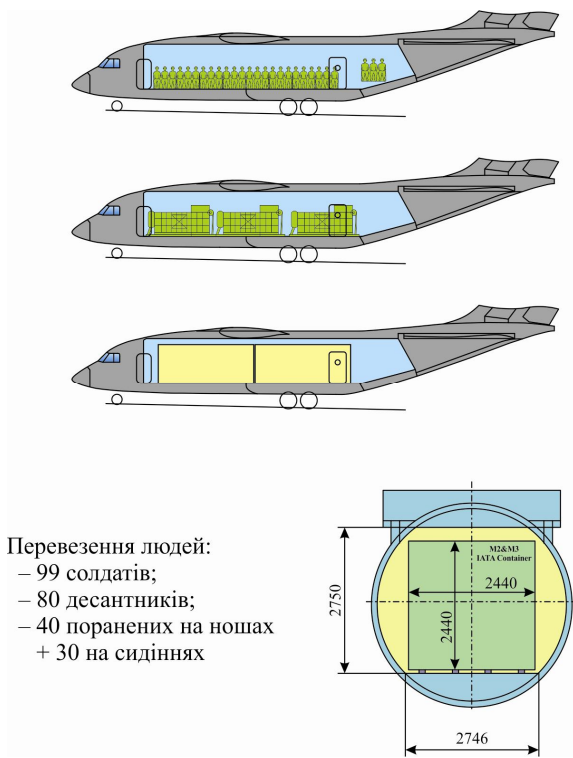


Рисунок 4 – Характеристики «груз – дальность» самолета Ан-178 при различных значениях взлетной массы

Кроме того, заново разработаны варианты использования грузовой кабины этого среднего военно-транспортного самолета.

Уникальная особенность самолета Ан-178 – возможность перевозки всех существующих в мире типов пакетированных грузов (в контейнерах и на поддонах), включая большегрузные контейнеры 1С

(морской контейнер) с поперечными габаритами 2,44x2,44 м, что делает его очень эффективным транспортным средством для логистической поддержки как в коммерческой эксплуатации, так и в вооруженных силах, а также для применения в условиях чрезвычайных ситуаций (рис. 5).



Перевезення людей:
 – 99 солдатів;
 – 80 десантників;
 – 40 поранених на ношах
 + 30 на сидіннях

Рисунок 5 – Варианты использования грузовой кабины самолета Ан-178

ВЫВОДЫ. Осуществлено параметрическое преобразование пассажирского самолета Ан-148 в военно-транспортный самолет Ан-178 с увеличенными грузоподъемностью и дальностью действия.

Уникальная особенность самолета Ан-178 – возможность перевозки всех существующих в мире типов пакетированных грузов (в контейнерах и на поддонах), включая большегрузные контейнеры 1С (морской контейнер) с поперечными габаритами 2,44х2,44 м, что делает его очень эффективным транспортным средством для логистической поддержки как в коммерческой эксплуатации, так и в вооруженных силах, а также для применения в условиях чрезвычайных ситуаций. Как и все «антоновские» самолеты, военный вариант Ан-178 наследует такие необходимые для военно-транспортного самолета качества, как возможность базирования на малоподготовленных аэродромах, автономность, высокую надежность и боевую живучесть.

Достигнуты такие результаты путем глубоких модификационных изменений в геометрии крыла и в силовой установке.

Геометрическая перекомпоновка крыла осуществлена путем:

- изменения сужений $\eta_c = (\bar{z}_n)$ обеих трапеций, образующих план крыла;
- формирования углов оптимизирующей геометрической кривки $\varepsilon^0(z_i)$ местных хорд по размаху крыла.

Так, значение $\eta_c = 3,72$ при $\bar{z}_n = 0,108$ для самолета Ан-148 перекомпоновано в $\eta_c = 3,1$ при

$\bar{z}_n = 0,4$ для ВТС Ан-178, а углы геометрической кривки местных хорд в центропланной трапеции (до $\bar{z}_n < 0,4$) линеаризованы (при постановке двух

профилей) в пределах $\varepsilon^0 = -5^\circ \dots -1,5^\circ$. В концевой же трапеции вследствие установки пяти профилей угол геометрической кривки снижен до $-1,5^\circ \dots -1^\circ$.

Такая геометрическая перекомпоновка привела к повышению коэффициента подъемной силы ($+\Delta C_y = 1,72$) и снижению коэффициента сопротивления ($-\Delta C_x = 0,009$) для модификации Ан-178.

Модификационные изменения в силовой установке осуществлены путем замены обоих двигателей типа Д36-5АФ на двигатели типа D436-148FM.

С учетом таких изменений в крыле и в силовой установке сформирована характеристика «грузоподъемность – дальность действия» ВТС Ан-178, свидетельствующая о том, что его грузоподъемность увеличена до 18 т на авиалиниях до 1200 км, и это преимущество перед конкурентами сохраняется до $L = 4000$ км.

При столь значительном превосходстве в грузоподъемности модификация Ан-178 обладает топливной эффективностью 223 г/т·км при максимальной загрузке вследствие улучшения аэродинамического качества благодаря геометрической перекомпоновке крыла и использованию нового двигателя с меньшим удельным расходом топлива.

Военно-транспортный самолет Ан-178 реализован [9] в полном соответствии с требованиями АП-25 и ОТ ВВС. Лучшие качества базовой модели Ан-148 сохранены, сохраняется преимущество в пилотировании и техническом обслуживании, а существенное преимущество в грузоподъемности обеспечит конкурентоспособность этой модификации как среднего ВТС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Press releases Alenia: <http://www.antonov.com/aircraft/passenger-aircraft/an>.
2. Анализ мирового рынка средних и стратегических военно-транспортных самолетов в 2001–2010 г.г. и на период до 2015 года [Электронный ресурс]. М.: ФГУП «Рособоронэкспорт», 2007. Режим доступа: <http://vpk.name/news>.
3. Лось А. В. Формирование геометрии системы несущих поверхностей «крыло + агрегаты хвостового оперения» с учетом коэффициента эллиптичности трапецевидного крыла. *Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов*. Харьков, 2018, Вып. 4/96. С. 84–88.
4. Югов О. К., Селиванов О. Д. Согласование характеристик самолета и двигателя. М.: Машиностроение, 1975. 204 с.; 2-е изд., 1980. 200 с.
5. <http://www.avia.gov.ua/uploads/documents/10695.pdf>.

6. <https://www.research.ncsu.edu/sparcs/compliance/export-controls.tree/exporst-tree-lists/>.

7. <https://www.pmdtc.state.gov/regulations/laws/itar.html>.

8. <https://www.bis.doc.gov/index.php/other->

[areas/strategic-industries-and-economic-security-sies/offsets-in-defense-trade/54-other-areas/str.](https://www.bis.doc.gov/index.php/other-areas/strategic-industries-and-economic-security-sies/offsets-in-defense-trade/54-other-areas/str)

9. AN-178 High level roadmap. Изд-во ГП «Антонов», 2016, p. 57.

**CREATION OF AN AVERAGE MILITARY TRANSPORT AIRPLANE AN-178
ON THE BASIS OF PASSENGER OPTION AN-148
BY IMPLEMENTING DEEP MODIFICATION CHANGES**

A. Los

State Enterprise "Antonov"

vul. Academician Tupolev, 1, Kiev, 02000 E-mail: systems.an@ukr.net

Purpose. Implemented parametric up-conversion of passenger aircraft An-148 military transport aircraft An-178 with increased payload and range through geometric redesign of the wing and replacement of the main engines.

Methodology. Geometric rearrangement of the wing made by:

– changes of the contractions $\eta_c = (\bar{z}_n)$ of the two trapezoids which form the plan of the wing;

– corner optimization of the geometric twist $\varepsilon^0(z_i)$ of the local chord at the wing span.

Results. This geometrical rearrangement has led to the increasing modification of the An-178 the value of lift coefficient $+\Delta C_y = 1,72$ and decrease the coefficient of resistance $-\Delta C_x = 0,009$. Modification changes in the power plant carried out by replacing both engines of the type D36-5AФ on the engine type D436-148FM. Given such changes in wing and power plant based on models formed the characteristic "load – range" military transport aircraft (MTA) An-178, indicating that its capacity is increased compared to the base model up to 18 t on routes of up to 1200 km and retains this property in the range up to $L = 4000$ km. With such a massive superiority in payload modification of the An-178 has a fuel efficiency level of the underlying model, as a result of improving aerodynamic efficiency due to geometric redesign of the wing and use a new engine with lower specific fuel consumption. **Originality.** Military transport aircraft An-178 is implemented in full compliance with the requirements of AP-25 and air force. Best quality basic model of the An-148 saved, saved the continuity in piloting and maintenance, and a significant advantage in payload will provide this modification, the competitiveness in the class average MTA.

Key words: medium military transport aircraft, modification, characteristic "load – range".

REFERENCES

1. Press releases Alenia: <http://www.antonov.com/aircraft/passenger-aircraft/an>.

2. *Analiz mirovogo rynka srednih i strategicheskikh voenno-transportnyh samoletov v 2001 – 2010 g. i na period do 2015 goda* [Analysis of the global market for medium and strategic military transport aircraft in 2001 – 2010 and for the period until 2015]. Moscow, FSUE «Rosoboronexport», 2007.– Access mode: <http://vpk.name/news>.

3. Los', A. V. *Formirovanie geometrii sistemy nesushhih poverhnostej «krylo + agregaty hvostovogo operenija» s uchetom kojficienta jelliptichnosti trapecievidnogo kryla* [Formation of the geometry of the system of bearing surfaces "wing + tail units" taking into account the ellipticity coefficient of the trapezoidal wing]. Kharkov, Design and construction of aircraft

structures, 2018. vol. 4/96. pp. 84-88.

4. Yugov, O. K., Selivanov, O. D. *Soglasovanie harakteristik samoleta i dvigatelja* [Coordination of aircraft and engine characteristics]. Moscow, Mechanical Engineering, 1975. 204 p.

5. <http://www.avia.gov.ua/uploads/documents/10695.pdf>.

6. <https://www.research.ncsu.edu/sparcs/compliance/export-controls.tree/exporst-tree-lists/>.

7. <https://www.pmdtc.state.gov/regulations/laws/itar.html>.

8. [https://www.bis.doc.gov/index.php/other-areas/strategic-industries-and-economic-security-sies/offsets-in-defense-trade/54-other-areas/str.](https://www.bis.doc.gov/index.php/other-areas/strategic-industries-and-economic-security-sies/offsets-in-defense-trade/54-other-areas/str)

9. AN-178 High level roadmap. SE "Antonov", 2016. 57 p.

Стаття надійшла 19.12.2019.