



References

- [1] Zamkovej V.E. Vibor materiala dlya shetochnyh uplotnenij GTD / V.E. Zamkovej, E.V. Kondratyuk, S.D. Zilichikhis [i dr.] // Tehnologicheskie sistemy. – 2010 – №3.
- [2] Issledovanie №622/04 provoloki iz splava Haynes25. – Zaporozhye, GP ZMKB «Progress» im. A.G. Ivchenko., 2004. – 5 s.
- [3] Suharev V.A. Raschet tel namotki / V.A. Suharev, I.I. Matyushev. – M. Mashinostroenie, 1982, – 136 s., il.
- [4] Filonenko-Borodich M.M. Teoriya uprugosti / M.M. Filonenko-Borodich – M. Gosudarstvennoe izdatel'stvo fiziko-matematicheskoy literaturi, 1959, – 364 s., il.
- [5] Zubov V.G. Mehanika / V.G. Zubov – M. «Nauka» Glavnaya redakciya fiziko-matematicheskoy literaturi, 1978, – 351 s., il.

УДК629.7.02

УДК629.7.04

Шаламов А.Н.

GECI GmbH. Германия, г. Гамбург

АНАЛИЗ ТОПЛИВНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПАССАЖИРСКИХ САМОЛЁТОВ

Проведён анализ топливной эффективности современных региональных пассажирских самолётов. Определены наиболее экономичные региональные самолёты в диапазоне вместимости от 40 до 110 пассажиров. Выполнен анализ эксплуатации самолётов на региональных маршрутах на примере компании “Международные авиалинии Украины”.

Ключевые слова: топливная эффективность самолёта; региональный самолёт; пассажироместимость самолёта; транспортная инфраструктура; проектирование самолётов.

Введение

В настоящее время к региональным пассажирским самолётам предъявляется ряд противоречивых требований конструктивного, технологического, экологического и эксплуатационного характера. Одним из важнейших критериев оценки эффективности региональных самолётов является коэффициент топливной эффективности, который выражает количество топлива, необходимое для транспортировки одного пассажира при заданных условиях комфорта в салоне самолёта на заданное расстояние.

На протяжении последних 60 лет производители пассажирских самолётов борются за снижение показателей коэффициента топливной эффективности [1], т.е. за более высокую топливную эффективность, которая в свою очередь оказывает существенное значение на стоимость пассажирских и грузовых авиационных перевозок.

Постановка задачи

Целью настоящей статьи является анализ топливной эффективности современных региональных пассажирских самолётов в диапазоне вместимости от 40 до 110 пассажиров и анализ эксплуатации самолётов на региональных маршрутах на примере компании “Международные авиалинии Украины”.

Изложение основного материала исследования

Критерием, определяющим топливную эффективность самолёта, является коэффициент топливной эффективности:

$$k_{\text{то}} = \frac{Q_r}{n_{\text{пасс}} \cdot L} \quad (1)$$

где:

$k_{\text{то}}$ – коэффициент топливной эффективности самолёта, л/(пасс·км);

Q_t – объём топлива, л;

$n_{\text{пасс}}$ – количество пассажиров на борту, пасс.;

L – дальность полёта, км.

Коэффициент топливной эффективности является комплексным показателем, отражающим достижения в области технологии самолёто- и двигателестроения, проектирования и производства систем самолётов (таких как система управления, топливная, гидравлическая, электрическая и т.д.), а также в области общего проектирования самолётов.

В зависимости от типа силовой установки все региональные самолёты возможно разделить на две группы:

1. Самолёты с турбовинтовыми двигателями.
2. Самолёты с турбореактивными двигателями.

Результаты расчётов коэффициентов топливной эффективности региональных пассажирских самолётов групп 1 и 2 в таблицах 1 и 2 соответственно. Данные для расчётов взяты из [2], [3], [4], [5], [6] и [7]. Графики на рисунках 1 и 2 дают наглядное представление о топливной эффективности современных региональных пассажирских самолётов обеих групп.

Анализируя результаты расчётов в таблицах 1 и 2, а также графики (см. рис. 1 и рис. 2), можно сказать, что наиболее экономичным самолётом, оснащённым турбовинтовыми двигателями, является самолёт Bombardier Dash 8-400 с показателем коэффициента топливной эффективности 0,0336322 л/(пасс-км), а самым экономичным са-

Таблица 1

Анализ топливной эффективности региональных пассажирских самолётов, оснащённых турбовинтовыми двигателями

Самолёт	Q_t	L	$n_{\text{пасс}}$	$k_{\text{тз}}$
–	[л]	[км]	[пасс]	[л/(пасс-км)]
ATR42-600	5625	1560	42	0.0858516
Ан-140-100	5415	2400	52	0.0433894
ATR72-600	6098	1528	68	0.0586888
Dash 8-400	6616	2522	78	0.0336322

Таблица 2

Анализ топливной эффективности региональных пассажирских самолётов, оснащённых турбореактивными двигателями

Самолёт	Q_t	L	$n_{\text{пасс}}$	$k_{\text{тз}}$
–	[л]	[км]	[пасс]	[л/(пасс-км)]
CRJ700	10838	2256	70	0.0686297
E170	11384	3334	70	0.0487788
Ан-148-100В	14268	3500	75	0.0543543
E175	11384	3334	78	0.0437759
SSJ100/75	13135	2900	78	0.0580681
Fokker 70	13087	3410	79	0.0485801
Ан-158	14268	3100	86	0.0535184
CRJ900	10838	1941	88	0.0634514
E190	15818	3334	98	0.0484128
SSJ100/95	13135	3048	98	0.0439733
CRJ1000	10838	1798	100	0.0602781
Fokker 100	13365	3170	107	0.0394027
E195	15818	2593	108	0.0564840

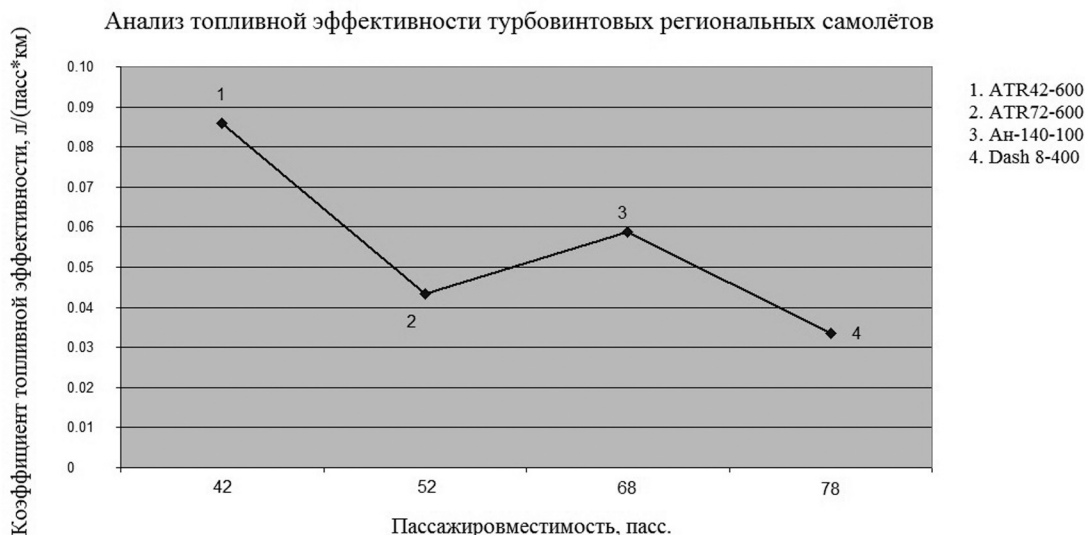


Рис. 1. Анализ топливной эффективности турбовинтовых региональных самолётов



Рис. 2. Анализ топливной эффективности турбореактивных региональных самолётов

молётом, оснащённым турбореактивными двигателями, – самолёт Fokker 100 с показателем 0,0394027 л/(пасс-км), хотя этот самолёт можно назвать региональным с натяжкой, так как его вместимость составляет 107 пассажиров, а дальность полёта 3170 км позволяет выполнять полёты на рейсах средней протяжённости. Самым экономичным региональным пассажирским самолётом вместимостью до 100 пассажиров является Embraer E175 с показателем коэффициента топливной эффективности 0,0437759 л/(пасс-км), весьма близок к нему самолёт Сухой Суперджет SSJ 100/95 с показателем 0,0439733 л/(пасс-км).

В целом можно констатировать, что определённой чёткой зависимости величины коэффициента топливной эффективности от пассажировместимо-

сти самолёта не наблюдается как для самолётов с турбовинтовыми, так и для машин с турбореактивными двигателями. Самолёты, оснащённые турбореактивными двигателями, вместимостью 90...110 пассажиров (Embraer E190, E195, SSJ100/95 и Fokker 100) обладают дальностью беспосадочного полёта, обеспечивающей возможность выполнения рейсов средней протяжённости, и способны конкурировать с самолётами Аэробус А318, Боинг 737-500 и 737-600.

Вместе с тем, региональные пассажирские самолёты в основном используются на линиях протяжённостью 500...800 км для транспортировки пассажиров из региональных аэропортов в аэропорты-хабы с целью дальнейшей пересадки пассажиров на средне- и дальнемагистральные рейсы. Также воз-

можно использование региональных самолётов на линиях протяжённостью 3000...3500 км с небольшим (около 100 пассажиров за один рейс) пассажиропококом.

Сравним топливные затраты при эксплуатации региональных самолётов и самолётов средней протяжённости на маршрутах в Украине.

Компания «Международные Авиалинии Украины» (МАУ) эксплуатирует на внутриукраинских маршрутах самолёты Боинг 737-300, 737-500, 737-800 и 737-900ER [8]. Характеристики топливной эффективности самолётов представлены в таблице 3. Данные самолётов взяты из [9].

Результаты расчётов показывают, что наиболее экономичным самолётом является 737-900ER с показателем коэффициента топливной эффективности 0.0281985 л/(пасс·км), хотя самолёт меньшей пассажироместимости 737-800 весьма близок к нему с показателем 0.0282090 л/(пасс·км).

Определим количество топлива, необходимое для выполнения рейса по маршруту Киев (Борис-

поль) – Харьков различными самолётами с полной загрузкой.

Потребный объём топлива на борту самолёта $Q_{тн}$ возможно вычислить, преобразовав выражение (1):

$$Q_{тн} = k_{тн} \times n_{пасс} \quad (2)$$

Расстояние между аэропортами составляет 389 км [10]. Принимая во внимание необходимость наличия дополнительного топлива на борту из-за погодных условий, загруженности аэропорта, необходимость выполнения дополнительных маневров и т.д., примем необходимую дальность полета 500 км. Цена авиационного топлива взята из [11].

Результаты расчётов представлены в таблице 4.

Анализируя результаты можно сказать, что для перевозки 104 пассажиров необходимо выполнять 2 рейса в день на самолётах Ан-140-100 или один рейс самолётом 737-500, и при этом на борту 737-500 останется 4 свободных места. Затраты на топливо в этом случае составят 1006 и 1205 долларов США соответственно, и при этом выигрывает

Таблица 3

Анализ топливной эффективности среднемагистральных пассажирских самолётов, находящихся в эксплуатации компании МАУ

Самолёт	Q_t	L	$n_{пасс}$	$k_{тн}$
–	[л]	[км]	[пасс]	[л/(пасс·км)]
737-300	23170	4204	128	0.0430580
737-500	23800	4444	108	0.0495883
737-800	26020	5765	160	0.0282090
737-900ER	29660	6045	174	0.0281985

Таблица 4

Затраты топлива на выполнение рейса по маршруту Киев (Борисполь) – Харьков различными самолётами с полной загрузкой

Самолёт	$n_{пасс}$	$k_{тн}$	Q_t	Цена топлива	Стоимость топлива
–	[пасс]	[л/(пасс·км)]	[л]	[долларов США/л]	[долларов США/л]
737-300	128	0.0430580	2756	0.45	1240
737-500	108	0.0495883	2678	0.45	1205
737-800	160	0.0282090	2257	0.45	1016
737-900ER	174	0.0281985	2453	0.45	1104
Ан-148-100В	75	0.0543543	2038	0.45	917
Ан-158	86	0.0535184	2301	0.45	1036
Е190	98	0.0484128	2372	0.45	1068
SSJ100/95	98	0.0439733	2155	0.45	970
Ан-140-100	52	0.0430308	1119	0.45	503

самолёт Ан-140-100. Кроме того, такой подход более удобен для пассажиров, так как в день совершается не один рейс, а два, и клиент авиакомпании может выбрать наиболее подходящий по времени вылета рейс. Если же нужно перевезти 156 пассажиров, то сравнение топливных затрат на выполнение рейса самолётом 737-800 и трёх рейсов самолётами Ан-140-100 показывает, что выигрывает вариант эксплуатации 737-800, так как выполнение трёх рейсов самолётами Ан-140-100 потребует топливных расходов в размере 1509 долларов США, тогда как самолёт 737-800 расходует топлива на сумму 1016 долларов США и берёт на борт на 4 пассажира больше. Для транспортировки 150 пассажиров в день двумя рейсами на самолётах Ан-148-100 требуется топлива на сумму 1834 доллара США, что гораздо больше расходов на приобретение топлива для выполнения одного рейса самолётом 737-800, и при этом 737-800 берёт на борт на 10 пассажиров больше. При необходимости перевозки 172 пассажиров в день два рейса на самолётах Ан-158 требуют топливных расходов на сумму 2072 доллара США, тогда как один рейс самолётом 737-900ER требует расходов на топливо в размере 1104 доллара США, и самолёт 737-900ER способен брать на борт на 2 пассажира больше.

Вместе с тем, авиакомпания МАУ эксплуатирует самолёты, используя принцип подвоза пассажиров из региональных аэропортов в базовый аэропорт Киев (Борисполь) с дальнейшей транспортировкой пассажиров на линиях средней и большой

компаний. При этом на европейских и ближневосточных направлениях МАУ использует самолёты 737-800 и 737-900ER, а также самолёты E190 в зависимости от дальности полёта и пассажиропотока на конкретном маршруте [12]. Самолёты 737-300 и 737-500 также используются для выполнения рейсов в Европу и на Ближний Восток, но в виду их невысокой топливной эффективности МАУ старается заменять их на более экономичные 737-800 и 737-900ER. В 19:00...20:00 выполняются рейсы из аэропорта Киев (Борисполь) в региональные аэропорты Украины, и при этом обеспечивается удобная стыковка с рейсами из аэропортов Европы и Ближнего Востока.

Поэтому в целях унификации парка самолётов и снижения эксплуатационных расходов компания МАУ предпочитает не закупать региональные самолёты, а использует среднемагистральные самолёты 737-800 и 737-900ER как на рейсах в Европу и на Ближний Восток, так и на внутренних рейсах в пределах Украины. В зависимости от пассажиропотока в разные дни недели на одном и том же маршруте могут использоваться различные самолёты (см. таблицу 5) [12].

Ярким подтверждением такой позиции является отказ МАУ от эксплуатации самолётов Ан-148-100В, доставшихся ей после банкротства компании "Аэросвит" [13].

Также следует отметить, что крупные авиакомпании (например KLM Royal Dutch Airlines и Lufthansa) для региональных перевозок предпочи-

Таблица 5

**Выполнение рейса PS023 по маршруту Киев (Борисполь) – Харьков
в течении недели 02.03 – 08.03.2015**

День недели	Дата	Самолёт	$n_{\text{пасс}}$
–	–	–	–
Понедельник	02.03.2015	737-900ER	174
Вторник	03.03.2015	737-300	128
Среда	04.03.2015	737-500	108
Четверг	05.03.2015	737-500	108
Пятница	06.03.2015	737-900ER	174
Суббота	07.03.2015	737-800	160
Воскресенье	08.03.2015	737-800	160

протяжённости. Так, организуя рейсы с вылетом из региональных аэропортов Днепропетровска, Львова, Одессы и Харькова в 7:00 утра, компания обеспечивает удобные стыковки с другими рейсами в аэропорту Киев (Борисполь). Следует отметить, что стыковки обеспечиваются с рейсами не только самой компании МАУ, но и с рейсами других авиа-

тают организовать дочерние предприятия (такие как KLM Cityhopper и Lufthansa Regional), которые занимаются только региональными перевозками и эксплуатируют только региональные самолёты, в то время как материнская компания занимается средне- и дальнемагистральными перевозками [14] и [15]. Это связано с тем, что топливная эффектив-

ность региональных самолётов в целом ниже топливной эффективности среднемагистральных самолётов, и бизнес-схема с выделением дочерней компании для региональных перевозок является более предпочтительной.

Выводы

Проведён анализ топливной эффективности современных региональных пассажирских самолётов. Определены наиболее экономичные модели региональных самолётов, оснащённых турбовинтовыми двигателями (Bombardier Dash 8-400), и самолётов, оснащённых турбореактивными двигателями (Fokker 100). Проведён анализ эксплуатации самолётов на региональных маршрутах на примере компании МАУ, результаты которого показывают нецелесообразность использования региональных самолётов на внутренних рейсах Украины.

Литература

- [1] P.M.Peeters, J.Middel, A.Hoolhorst "Fuel efficiency of commercial aircraft", National Aerospace University NLR of the Netherlands, 2005.
- [2] Интернет сайт www.atraircraft.com.
- [3] Интернет сайт www.antonov.com.
- [4] Интернет сайт www.bombardier.com.
- [5] Интернет сайт www.embraer.com.
- [6] Интернет сайт www.scac.ru.
- [7] Интернет сайт www.flugzeuginfo.net.
- [8] Интернет сайт www.flyuia.com.
- [9] Интернет сайт www.boeing.com.
- [10] Интернет сайт <http://www.travelmath.com>.
- [11] Интернет сайт <http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=jet-fuel>
- [12] Интернет сайт www.flightradar24.com.
- [13] "МАУ прекратила полёты на Ан-148", интернет сайт www.avianews.com, 23.10.2013.
- [14] Интернет сайт www.klm.com
- [15] Интернет сайт www.lufthansa.com.

Shalamov A.N.

GECI GmbH. Germany, Hamburg

FUEL EFFICIENCY ANALYSIS OF MODERN REGIONAL PASSENGER AIRPLANES

The fuel efficiency analysis of modern regional passenger airplanes is performed. The most fuel efficient regional turboprop airplane (Bombardier Dash 8-400) is defined and the most fuel efficient regional turbojet airplane (Fokker 100) is defined. The Ukraine International Airlines company airplanes usage is analyzed. The analysis results show the regional airplanes usage inexpediency on the regional routes in Ukraine

Keywords: fuel efficiency of aircraft; regional aircraft; passenger capacity of the aircraft; transport infrastructure; aircraft design.

References

- [1] P.M.Peeters, J.Middel, A.Hoolhorst "Fuel efficiency of commercial aircraft", National Aerospace University NLR of the Netherlands, 2005.
- [2] www.atraircraft.com.
- [3] www.antonov.com.
- [4] www.bombardier.com.
- [5] www.embraer.com.
- [6] www.scac.ru.
- [7] www.flugzeuginfo.net.
- [8] www.flyuia.com.
- [9] www.boeing.com.
- [10] <http://www.travelmath.com>.
- [11] <http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=jet-fuel>
- [12] www.flightradar24.com.
- [13] www.avianews.com, 23.10.2013.
- [14] www.klm.com
- [15] www.lufthansa.com.