

УДК 629.7.02
УДК 629.7.04

Шаламов А. Н.

GECI GmbH, Германия, г. Гамбург

АНАЛИЗ ТОПЛИВНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ НОВЕЙШИХ ПАССАЖИРСКИХ САМОЛЁТОВ

Проведён анализ топливной эффективности новейших пассажирских самолётов. Определены наиболее экономичные модели узкофюзеляжных самолётов вместимостью 100...149 и 150...199 пассажиров в двухклассной компоновке пассажирского салона. Определены наиболее экономичные модели широкофюзеляжных самолётов вместимостью 300...399 и 400...600 пассажиров в трёхклассной компоновке пассажирского салона. [dx.doi.org/10.29010/080.5]

Ключевые слова: топливная эффективность самолёта; пассажирский самолёт; узкофюзеляжный самолёт; широкофюзеляжный самолёт; проектирование самолётов.

Введение

В настоящее время к пассажирским самолётам предъявляется ряд противоречивых требований конструктивного, технологического, экологического и эксплуатационного характера. Одним из важнейших критериев оценки эффективности пассажирских 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 авиационных перевозок.

Постановка задачи

Целью настоящей статьи является анализ топливной эффективности новейших пассажирских узко- и широкофюзеляжных самолётов, их сравнение с существующими пассажирскими самолётами и определение наиболее экономичных самолётов, эксплуатация которых позволяет обеспечить минимальные затраты топлива при пассажирских воздушных перевозках.

Изложение основного материала исследования

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

$$k_{mэ} = \frac{Q_m}{n_{пасс} \cdot L}, \quad (1)$$

где $k_{mэ}$ – коэффициент топливной эффективности пассажирского самолёта, л/(пасс·км);

Q_m – объём топлива, л;

$n_{пасс}$ – 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.

Все современные пассажирские самолёты можно разделить на две группы: узкофюзеляжные и широкофюзеляжные.

Анализ топливной эффективности новейших узкофюзеляжных самолётов

В последнее время разработаны следующие узкофюзеляжные пассажирские самолёты:

- Bombardier CS100 (см. рисунок 1);
- Bombardier CS300 (см. рисунок 2);
- COMAC C919 (см. рисунок 3);
- «Иркут» MC-21-300 (см. рисунок 4).

Самолёты компании Bombardier CS100 и CS300 уже находятся в стадии серийного производства и эксплуатации. Компанией, первой начавшей выполнять регулярные рейсы на самолётах CS100, является швейцарская Swiss Global Air Lines,



Рис. 1. Самолёт компании Bombardier CS100



Рис. 3. Самолёт компании COMAC C919



Рис. 2. Самолёт компании Bombardier CS300



Рис. 4. Самолёт компании Иркут MC-21-300

а CS300 начала эксплуатировать латвийская авиакомпания Air Baltic. Обе компании приступили к эксплуатации указанных самолётов в 2016 году [2] и [3].

Самолёты COMAC C919 и «Иркут» MC-21-300 уже совершили первые полёты (5 и 28 мая 2017 года соответственно) [4] и [5], но в настоящее время не эксплуатируются авиакомпаниями, так как ещё не прошли полный цикл необходимых испытаний. Вместе с тем, наряду с самолётом MC-21-300 разрабатывается и планируется к производству и последующей эксплуатации ещё одна модификация MC-21-200 (см. рисунок 5). В данном разделе статьи анализируется топливная эффективность узкофюзеляжных пассажирских самолётов компаний Bombardier (CS100 и CS300), COMAC C919

и корпорации «Иркут» (MC-21-200 и MC-21-300), несмотря на то, что самолёт MC-21-200 ещё окончательно не разработан.

Анализ топливной эффективности указанных самолётов представлен в таблице 1, данные для расчётов взяты из [6], [7] и [8].

Учитывая классификацию деления узкофюзеляжных пассажирских самолётов в зависимости от их вместимости [9], проведено сравнение топливной эффективности новейших узкофюзеляжных пассажирских самолётов с существующими самолётами в каждой группе. Результаты расчётов представлены в таблицах 2–7.

По результатам расчётов и сравнения показателей топливной эффективности самолётов представляется возможным констатировать следующее.



Рис. 5. Самолёт компании Иркут MC-21-200

Анализ топливной эффективности пассажирских самолётов CS100, CS300, C919ER, MC-21-200 и MC-21-300

Самолёт	Q_t	L	$n_{\text{пасс}}$	$k_{\text{тэ}}$
–	[л]	[км]	[пасс]	[л/(пасс·км)]
CS100	22038	5741	108	0.0355436
CS300	21516	6112	130	0.0270791
MC-21-200	25500	6400	132	0.0301847
C919ER	24450	5555	158	0.0278572
MC-21-300	25500	6000	163	0.0260736

* ER – extended range

Самолёт компании Bombardier CS100 (см. таблицу 4) показывает значение коэффициента топливной эффективности 0,0355436 л/(пасс·км) и превосходит самолёт компании Airbus A318-100SL на 7,89% и самолёт компании Boeing 737-600WL на 13,54%. При этом при одинаковой вместимости с 737-600WL CS100 уступает ему в дальности полёта (5741 км против 5970 км). Дальность полёта самолёта A318-100SL составляет 5900 км, что также превосходит дальность полёта самолёта CS100. Однако, принимая во внимание общую тенденцию по снижению расхода топлива, самолёт CS100 является более предпочтительным для авиакомпаний. Кроме того, для компаний, эксплуатирующих самолёт, например, в пределах Европы, полёты с максимальной дальностью являются крайне редки-

ми, поэтому для перевозки пассажиров на внутри-европейских рейсах проигрываем самолёта CS100 в дальности полёта по сравнению с конкурирующими самолётами можно пренебречь.

Сравнение топливной эффективности самолёта CS300 (см. таблицу 5) с показателями конкурирующих самолётов показывает, что самолёт CS300 превосходит самолёт A319-100SL на 30,3%, самолёт 737-700WL на 19,72%, самолёт MC-21-200 на 11,47% и слегка (на 0,3%) превосходит самолёт A319neo. Превосходство над самолётом 737MAX7 составляет 8,03%. Вместе с тем, CS300 уступает в дальности полёта всем конкурирующим самолётам. Однако, как и в случае с самолётом CS100, принимая во внимание условия эксплуатации, авиакомпании этим недостатком могут пренебречь. Следует

Таблица 2

Анализ топливной эффективности пассажирских самолётов компании Airbus

Самолёт	Q_t	L	$n_{\text{пасс}}$	$k_{\text{тэ}}$
–	[л]	[км]	[пасс]	[л/(пасс·км)]
A318-100SL	24210	5900	107	0.0383494
A319-100SL	30190	6900	124	0.0352852
A320-200SL	27200	6100	150	0.0297268
A321-200SL	30030	5900	185	0.0275126
A319neo	29659	7800	140	0.0271603
A320neo	29659	6900	165	0.0260509
A321neoLR	32676	7400	206	0.0214353

* SL – sharklets, LR – long range

Таблица 3

Анализ топливной эффективности пассажирских самолётов компании Boeing

Самолёт	Q_T	L	$n_{\text{пасс}}$	$k_{\text{то}}$
–	[л]	[км]	[пасс]	[л/(пасс·км)]
737-600WL	26020	5970	108	0.0403561
737-700WL	26020	6370	126	0.0324188
737-800WL	26020	5765	160	0.0282090
737-900ERWL	29660	6045	174	0.0281985
737MAX7	25941	7038	126	0.0292528
737MAX8	25941	6704	162	0.0238857
737MAX9	25941	6658	180	0.0216456

* WL – winlets

Таблица 4

Сравнение показателей топливной эффективности самолёта CS100 с конкурирующими самолётами

Самолёт	$k_{\text{то}}$	Самолёт	$k_{\text{то}}$	Разница
–	[л/(пасс·км)]	–	[л/(пасс·км)]	%
CS100	0.0355436	A318-100SL	0.0383494	7.89
CS100	0.0355436	737-600WL	0.0403561	13.54

также отметить, что по пассажироместимости в двухклассной компоновке пассажирского салона самолёт CS300 превосходит A319-100SL на 6 мест (130 пассажиров против 124), 737-700WL на 4 места (130 пассажиров против 126) и 737MAX с такими же, как и в случае с 737-700WL, показателями. Вместе с тем он уступает в части пассажиро-

местимости MC-21-200 2 места (130 против 132) и 10 мест A319neo (130 против 140).

Анализ топливной эффективности самолёта компании COMAC C919 (см. таблицу 6) показывает, что он является более экономичным по сравнению с самолётом A320-200SL на 6,71%, одновременно проигрывая ему в дальности полёта (5555 км

Таблица 5

Сравнение показателей топливной эффективности самолёта CS300 с конкурирующими самолётами

Самолёт	$k_{\text{то}}$	Самолёт	$k_{\text{то}}$	Разница
–	[л/(пасс·км)]	–	[л/(пасс·км)]	%
CS300	0.0270791	A319-100SL	0.0352852	30.3
CS300	0.0270791	737-700WL	0.0324188	19.72
CS300	0.0270791	MC-21-200	0.0301847	11.47
CS300	0.0270791	A319neo	0.0271603	0.3
CS300	0.0270791	737MAX7	0.0292528	8.03

Таблица 6

Сравнение показателей топливной эффективности самолёта C919ER с конкурирующими самолётами

Самолёт	$k_{тэ}$	Самолёт	$k_{тэ}$	Разница
–	[л/(пасс·км)]	–	[л/(пасс·км)]	%
C919ER	0.0278572	A320-200SL	0.0297268	6.71
C919ER	0.0278572	737-800WL	0.0282090	1.26
C919ER	0.0278572	A320neo	0.0260509	-6.48
C919ER	0.0278572	737MAX8	0.0238857	-14.26
C919ER	0.0278572	MC-21-300	0.0260736	-6.4

Таблица 7

Сравнение показателей топливной эффективности самолёта MC-21-300 с конкурирующими самолётами

Самолёт	$k_{тэ}$	Самолёт	$k_{тэ}$	Разница
–	[л/(пасс·км)]	–	[л/(пасс·км)]	%
MC-21-300	0.0260736	A320-200SL	0.0297268	14.01
MC-21-300	0.0260736	737-800WL	0.0282090	8.19
MC-21-300	0.0260736	A320neo	0.0260509	-0.09
MC-21-300	0.0260736	737MAX8	0.0238857	-8.39

против 6100 км), но выигрывая в пассажироместности (158 пассажиров против 150 в двухклассной компоновке пассажирского салона). Также самолёт C919 превосходит в части топливной эффективности самолёт 737-800WL на 1,26%, но уступает ему в дальности полёта (5555 км против 5765 км) и также незначительно уступает ему в пассажироместности (158 пассажиров против 160). Сравнение с самолётом A320neo показывает полное превосходство европейской машины в части топливной эффективности (C919 уступает A320neo 6,48%), дальности полёта (6900 км у A320neo против 5555 км у C919) и пассажироместности (165 пассажиров у A320neo против 158 у C919). Также самолёт C919 по всем трём параметрам уступает самолёту 737MAX8 (в части топливной эффективности на 14,26%, в дальности полёта с 5555 км против 6704 км и пассажироместности со 158 пассажирами против 162). Также самолёт C919 уступает самолёту MC-21-300 по всем трём параметрам (6,4% в части топливной эффективности, по дальности полёта с 5555 км против 6000 км и пассажироместности со 158 пассажирами против 163).

Самолёт компании «Иркут» MC-21-300 (см. таблицу 7) имеет величину коэффициента топлив-

ной эффективности 0,0260736 л/(пасс·км) и превосходит в этой части самолёт A320-200SL на 14,01%, незначительно уступая ему в дальности полёта (6000 км против 6100 км), но превосходя в части пассажироместности (163 пассажира против 150). Сравнение самолётов MC-21-300 и 737-800WL демонстрирует превосходство MC-21-300 по всем трём параметрам (8,19% в части топливной эффективности, по дальности полёта 6000 км против 5765 км и в части пассажироместности 163 пассажира против 160). Вместе с тем самолёт MC-21-300 уступает самолёту A320neo по всем трём параметрам (0,09% по топливной эффективности, существенно по дальности полёта 6000 км против 6900 км и незначительно в части пассажироместности – 163 пассажира против 165). Сравнение MC-21-300 с 737MAX8 показывает худшую на 8,39% топливную эффективность, существенный проигрыш в дальности полёта (6000 км против 6704 км) и незначительно большую пассажироместность (163 пассажиров против 162).

В целом можно констатировать, что в своём классе самолёт CS100 превосходит своих конкурентов (A318-100SL и 737-600WL) в части топлив-

ной эффективности, но незначительно проигрывает им в дальности полёта. В части пассажироместности самолёт держит паритет с конкурентами. Самолёт CS300 превосходит всех своих конкурентов в части топливной эффективности, но также проигрывает им всем в дальности полёта. С показателем пассажироместности 130 пассажиров в двухклассной компоновке пассажирского салона самолёт CS300 опережает самолёты A319-100SL, 737-700WL и 737MAX7, но проигрывает самолётам MC-21-200 и A319neo. В настоящее время в классе узкофюзеляжных самолётов вместимостью от 100 до 149 пассажиров в двухклассной компоновке пассажирского салона Bombardier CS300 является наиболее экономичным самолётом с показателем коэффициента топливной эффективности 0,0270791 л/(пасс·км).

Самолёт C919 выигрывает в части топливной эффективности у самолётов A320-200SL и 737-800WL, но проигрывает самолётам A320neo, 737MAX8 и MC-21-300, проигрывая всем пяти конкурентам по дальности полёта и пассажироместности (кроме самолёта A320-200SL со 150 пассажирами).

Самолёт MC-21-300 имеет лучший показатель топливной эффективности по сравнению с самолётами A320-200SL, 737-800WL и C919, но проигрывает самолётам A320neo и 737MAX8. Вместе с тем, самолёт MC-21-300 проигрывает всем четырём конкурентам в части дальности полёта, но выигрывает по этому показателю у самолётов 737-800WL и C919. Также MC-21-300 превосходит самолёты-конкуренты (A320-200SL существенно, 737-800WL и 737MAX8 незначительно) в части пассажироме-

стимости, слегка уступая при этом самолёту A320neo.

Тем не менее, несмотря на появление новейших узкофюзеляжных пассажирских самолётов, наиболее экономичным самолётом в классе узкофюзеляжных самолётов с пассажироместностью от 150 до 199 пассажиров в двухклассной компоновке пассажирского салона является самолёт Boeing 737MAX9 с показателем топливной эффективности 0,0216456 л/(пасс·км) (см. таблицу 3).

Анализ топливной эффективности новейших широкофюзеляжных самолётов

За последнее время (2005–2017 годы) в части разработки и производства широкофюзеляжных самолётов продолжается конкуренция между двумя крупнейшими самолётостроительными компаниями мира, а именно Airbus и Boeing. Компания Airbus в период с 2005 по 2016 год разработала две модификации широкофюзеляжных самолётов A350-900 (см. рисунок 6) и A350-1000 (см. рисунок 7) [10], которые конкурируют с самолётами компании Boeing 777-200LR (Long Range) (см. рисунок 8) и 777-300ER (Extended Range) (см. рисунок 9), а также с самолётами 787-8, 787-9 и 787-10. Boeing ответил на появление самолётов A350-900 и A350-1000 разработкой новых самолётов 777-8 (см. рисунок 10) и 777-9 (см. рисунок 11), стартовавшей в 2013 году [11]. При этом самолёт 777-8, по словам компании, конкурирует с A350-1000, а 777-9 является особым самолётом, единственным в своём классе, конкурентов которому пока нет [12].



Рис. 6. Самолёт компании Airbus A350-900



Рис. 8. Самолёт компании Boeing 777-200LR



Рис. 7. Самолёт компании Airbus A350-1000



Рис. 9. Самолёт компании Boeing 777-300ER



Рис. 10. Самолёт компании Boeing 777-8



Рис. 11. Самолёт компании Boeing 777-9

Следует отметить, что в настоящее время (август 2017 года) серийно производятся и эксплуатируются только самолёты А350-900 (произведено и поставлено заказчикам около 100 машин) [13]. Самолёт А350-1000 совершил свой первый полёт в конце ноября 2016 года [14] и сейчас проходит цикл необходимых испытаний, а самолёты 777-8 и 777-9 в настоящее время находятся в стадии разработки и постройки опытных образцов (появление первого экземпляра 777-9 запланировано на конец 2019 года, а постройка первой машины 777-8 – на 2021...22 годы [11]).

В связи с такой ситуацией анализ топливной эффективности самолётов 777-8 и 777-9 проведён по предварительным данным, официально заявленным компанией-разработчиком, и представлен в таблице 8. Данные для расчётов взяты из [10] и [11].

Сравнение показателей топливной эффективности конкурирующих моделей широкофюзеляжных самолётов представлено в таблице 9.

По результатам проведенных исследований можно констатировать, что самолёты компании Airbus А350-900 и А350-1000 превосходят в части топливной эффективности самолёты-конкуренты

компании Boeing. Так самолёт А350-900 превосходит в части топливной эффективности самолёт 777-200LR на 8,53% при одинаковой пассажироместности в трёхклассной компоновке пассажирского салона и уступает ему в дальности полёта чуть более 2000 км. Самолёт А350-1000 превосходит своего конкурента 777-300ER на 6,16% по топливной эффективности, но уступает ему в пассажироместности (350 пассажиров против 386). Также А350-1000 незначительно превосходит 777-300ER в дальности полёта (14800 км против 14690 км). Кроме того, сравнение самолётов А350-1000 и 777-8 также показывает превосходство самолёта компании Airbus в части топливной эффективности на 5,82%, при этом А350-1000 незначительно уступает 777-8 в пассажироместности (350 пассажиров против 353) и значительно уступает ему в дальности полёта (14800 км против 17220 км).

Хотя компания Boeing заявляет об исключительности самолёта 777-9 в своём классе, проведенное сравнение топливной эффективности указанного самолёта и ближайшего самолёта-конкурента А350-1000 показывает превосходство машины компании Airbus на 4,08%. При этом самолёт 777-9 существенно превосходит А350-1000 в части пас-

Таблица 8

Анализ топливной эффективности широкофюзеляжных пассажирских самолётов

Самолёт	Q	L	$n_{\text{пасс}}$	$k_{\text{тв}}$
–	[л]	[км]	[пасс]	[л/(пасс·км)]
А350-900	138000	14350	314	0.0306265
А350-1000	156000	14800	350	0.0301158
777-200LR	181283	17370	314	0.0332374
777-300ER	181283	14690	386	0.0319704
777-8	193712	17220	353	0.0318675
777-9	193712	15185	407	0.0313435
747-81	239000	14800	467	0.0345795

Сравнение показателей топливной эффективности конкурирующих широкофюзеляжных самолётов

Самолёт	$k_{\text{тв}}$ [л/(пасс·км)]	Самолёт	$k_{\text{тв}}$ [л/(пасс·км)]	Разница %
–		–		
A350-900	0.0306265	777-200LR	0.0332374	8.53
A350-1000	0.0301158	777-300ER	0.0319704	6.16
A350-1000	0.0301158	777-8	0.0318675	5.82
A350-1000	0.0301158	777-9	0.0313435	4.08
777-9	0.0313435	747-8I	0.0345795	9.36

сажировместимости (407 пассажиров против 350) и фактически попадает в категорию самолётов вместимостью от 400 до 600 пассажиров в трёхклассной компоновке пассажирского салона. Также самолёт 777-9 превосходит своего конкурента в дальности полёта (15185 км против 14800 км). В силу особенности самолёта 777-9 также проведено его сравнение с самолётом 747-8I (Intercontinental), при этом самолёт 777-9 превосходит 747-8I в части топливной эффективности на 9,36% и дальности полёта (15185 км против 14800 км), уступая ему в пассажироместимости (407 пассажиров против 467). При этом следует отметить, что самолёт 747-8I оснащён четырьмя двигателями (см. рисунок 12), в отличие от всех других рассмотренных в данной статье широкофюзеляжных машин. Более корректно сравнить самолёт 777-9 с самолётом вместимостью более 400 пассажиров в трёхклассной компоновке пассажирского салона и оснащённым двумя двигателями на пилонх под крылом, но такого самолёта в настоящее время нет. Таким образом, самолёт 777-9 действительно является уникальной в своём классе машиной, о чём заявила компания Boeing.

Принимая во внимание проведённые исследования, можно констатировать, что наиболее экономичным широкофюзеляжным пассажирским самолётом с пассажироместимостью от 300 до 399 пас-

сажиров в трёхклассной компоновке пассажирского салона в настоящее время является самолёт Airbus A350-1000 с показателем коэффициента топливной эффективности 0,0301158 л/(пасс·км). Наиболее экономичным самолётом среди широкофюзеляжных машин в классе пассажироместимости от 400 до 600 пассажиров в трёхклассной компоновке пассажирского салона является самолёт Boeing 777-9 с показателем коэффициента топливной эффективности 0,0313435 л/(пасс·км).

Выводы

Проведён анализ новейших пассажирских самолётов с точки зрения их топливной эффективности. Определены наиболее экономичные модели новейших узкофюзеляжных самолётов вместимостью 100...149 (Bombardier CS300) и 150...199 (Boeing 737MAX9) пассажиров в двухклассной компоновке пассажирского салона. Определены наиболее экономичные модели новейших широкофюзеляжных самолётов вместимостью 300...399 (Airbus A350-1000) и 400...600 пассажиров (Boeing 777-9) в трёхклассной компоновке пассажирского салона. Проведённые исследования могут быть полезны для авиакомпаний, формирующих маршрутную сеть полётов, исходя из пассажиропотоков на конкретных направлениях, при выборе моделей узко-



Рис. 12. Самолёт компании Boeing 747-8I

и широкофюзеляжных пассажирских самолётов для собственного парка.

Литература

- [1] P. M. Peeters, J. Middel, A. Hoolhorst «Fuel efficiency of commercial aircraft», National Aerospace University NLR of the Netherlands, 2005.
- [2] S. Trimble «Swiss grades CS100 after four months in service», интернет сайт www.flightglobal.com, 29.11.2016.
- [3] «Bombardier delivers first CS300 aircraft to AirBaltic», интернет сайт www.bombardier.com/media, 28.11.2016.
- [4] K. Bradsher «China's new jetliner, the Comac C919, takes the first flight», Интернет сайт www.nytimes.com, 05.05.2017.
- [5] «Новый пассажирский лайнер MC-21-300 совершил первый полёт», интернет сайт www.irkut.com/press-centre, 28.05.2017.
- [6] Интернет сайт <http://www.bombardier.com/en/aerospace/commercial-aircraft.html>.
- [7] Интернет сайт <http://english.comac.cc/products/ca/>.
- [8] Интернет сайт <http://mc21.irkut.com/program/>.
- [9] А. Н. Шаламов «Анализ топливной эффективности современных пассажирских самолётов», «Технологические системы», № 3(72)/2015.
- [10] Интернет сайт <http://www.aircraft.airbus.com/aircraftfamilies/passengeraircraft/a350xwbfamily/>.
- [11] Интернет сайт <http://www.boeing.com/commercial/777x/>.
- [12] «Boeing 777X to deliver unprecedented efficiency and economics», интернет сайт www.boeing.mediaroom.com, 18.11.2013.
- [13] Интернет сайт <http://www.aircraft.airbus.com/aircraftfamilies/passengeraircraft/a350xwbfamily/a350-900/>.
- [14] «First A350-1000 successfully completes first flight», интернет сайт www.airbus.com/newsroom/, 24.11.2016.

Shalamov A. N.

GECI GmbH. Germany, Hamburg

FUEL EFFICIENCY ANALYSIS OF NEWEST PASSENGER AIRPLANES

The fuel efficiency analysis of newest airplanes is performed. The most fuel efficient narrow-body airplanes are defined in the capacity range of 100...149 and 150...199 seats in two class cabin configuration. The most fuel efficient wide-body airplanes are defined in the capacity range of 300...399 and 400...600 seats in three class cabin configuration. [dx.doi.org/10.29010/080.5]

Keywords: airplane fuel efficiency; passenger airplane; narrow-body airplane; wide-body airplane; airplanes designing.

References

- [1] P. M. Peeters, J. Middel, A. Hoolhorst «Fuel efficiency of commercial aircraft», National Aerospace University NLR of the Netherlands, 2005.
- [2] S. Trimble «Swiss grades CS100 after four months in service», web site www.flightglobal.com, 29.11.2016.
- [3] «Bombardier delivers first CS300 aircraft to AirBaltic», web site www.bombardier.com/media, 28.11.2016.
- [4] K. Bradsher «China's new jetliner, the Comac C919, takes the first flight», web site www.nytimes.com, 05.05.2017.
- [5] «New passenger airliner MC-21-300 took the first flight», web site www.irkut.com/press-centre, 28.05.2017.
- [6] Web site <http://www.bombardier.com/en/aerospace/commercial-aircraft.html>.
- [7] Web site <http://english.comac.cc/products/ca/>.
- [8] Web site <http://mc21.irkut.com/program/>.
- [9] A. N. Shalamov «Fuel efficiency analysis of modern passenger airplanes», «Technological systems», № 3(72)/2015.
- [10] Web site <http://www.aircraft.airbus.com/aircraftfamilies/passengeraircraft/a350xwbfamily/>.
- [11] Web site <http://www.boeing.com/commercial/777x/>.
- [12] «Boeing 777X to deliver unprecedented efficiency and economics», web site www.boeing.mediaroom.com, 18.11.2013.
- [13] Web site <http://www.aircraft.airbus.com/aircraftfamilies/passengeraircraft/a350xwbfamily/a350-900/>.
- [14] «First A350-1000 successfully completes first flight», web site www.airbus.com/newsroom/, 24.11.2016.