

УДК 629.7.08

К ПРОБЛЕМЕ ПОВЫШЕНИЯ ТОПЛИВНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГРАЖДАНСКИХ САМОЛЕТОВ

В.А. БЕЛКИН

Рассматриваются новые методы повышения топливной эффективности гражданских самолетов при эксплуатации, основанные на уменьшении времени наземной работы двигателей самолетов, снижении взлетной массы самолета, выборе оптимальных режимов пилотирования. Приводятся экспериментальные данные и результаты оценки экономической эффективности новых топливосберегающих методов.

Ключевые слова: топливная эффективность, методы повышения, технико-экономическая оценка методов.

Введение

Важным современным направлением развития авиации является проблема снижения потребления авиатоплива. Актуальность повышения топливной эффективности самолетов вызвана ограниченными ресурсами нефтепродуктов (авиатоплива) на планете. Во второй половине двадцатого века, в связи с топливным кризисом, когда цены на углеводороды резко выросли, процент затрат на авиатопливо достиг 60 – 65% от суммарных затрат на эксплуатацию пассажирских самолетов, вместо 30 – 35%. В этой связи, самолеты авиакомпаний становятся менее эффективными, что отражается на росте цен авиабилетов и, как следствие, снижении пассажиропотока. Решение проблемы можно рассматривать по двум направлениям. Первое – это совершенствование проектно-конструкторских технологий, обеспечивающих создание новой более экономичной авиационной техники, и модификация серийной техники с целью экономии топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). Второй путь – это снижение затрат на авиатопливо в условиях массовой эксплуатации самолетов.

В данной статье рассматриваются некоторые пути и методы снижения затрат на авиатопливо в реальных условиях эксплуатации гражданских самолетов.

Снижение продолжительности работы авиадвигателей на земле

Расход авиатоплива на руление к взлетно-посадочной полосе (ВВП) перед взлетом и на за руливание самолетов после приземления составляют в среднем 2-4 % от общего расхода топлива или около 22 мин. Эта цифра больше для ближнемагистральных самолетов, которые меньше времени проводят в воздухе и чаще задерживаются в загруженных аэропортах, при этом выключение двигателей не всегда оправдано, поскольку можно не уложиться в отведенный слот. Существенно сократив время работы двигателей на земле, можно сохранить ресурс двигателя за счет снижения степени его износа и меньшей вероятности попадания в газоздушный тракт двигателя посторонних предметов.

В какой-то мере проблема может решаться путем применения тягачей для буксировки самолетов. Буксировка самолета требуется при разных ситуациях: внутренние и международные рейсы распределены по разным терминалам, при этом прибытие самолета может осуществляться к одному терминалу, а взлет - с другого; по прилету самолета ему возможно требуется продолжительная по времени форма ТО и в этом случае самолет необходимо отбуксировывать на

специальную стоянку; необходимость буксировки при выкатывании самолета с полосы на вязкий грунт и другие ситуации.

Довольно перспективным решением проблемы в таких случаях является установка специального привода на стойки шасси, прежде всего на носовую.

Компания Vorealis Exploration разработала устройство WheelTug, показанное на рис. 1, массой 136 кг, которое устанавливается на колеса носовой стойки и представляет собой два индукционных электромотора.

По мнению производителя, использование устройства на узкофюзеляжных лайнерах в масштабах аэропорта Франкфурта, где проводились испытания, дало уменьшение расхода топлива на 44 т в день [1].

Оригинальный вариант решения проблемы предложила Israel Aerospace Industries (IAI), которая совместно с Airbus, Lufthansa Technik и компанией по производству аэродромных тягачей TLD разработала «автоматический тягач», управляемый из кабины самолета (рис. 2).



Рис. 1. Привод типа WheelTug



Рис. 2. Автоматический тягач Taxibot

Данные методы целесообразно оценить по их экономической эффективности. Согласно годовому экономическому отчету фирмы-разработчика WheelTug Exploration за 2013 г. [2] ежемесячный платеж в счет лизинга WheelTug составляет 25000 \$ в течение 28 месяцев. Цена 1 т авиакеросина марки ТС-1 фирмы ЛУКОЙЛ составляет 822,172 \$.

Согласно статистическим данным среднее время работы авиадвигателей на земле составляет 32 мин. (при взлете и посадке). Целевым самолетом программы WheelTug является Boeing-737, его часовой расход топлива в режиме «малый газ» на земле составляет 11 кг/мин. Таким образом, используя данный агрегат, можно уменьшить расход топлива на 352 кг за 1 рейс. Приняв ежедневное количество рейсов для узкофюзеляжного Boeing-737 равным 4, получим ежедневную экономию расхода топлива, равную 1408 кг в день или 42240 кг в месяц, что при цене 822,172 \$ за 1 т составит экономию стоимости $\Pi = 34728,55$ \$ в месяц.

В связи с дополнительным увеличением массы самолета, оборудованного специальным приводом, оценим и некоторое увеличение расхода топлива. Рассмотрим изменение G_t расхода топлива при изменении взлетной массы на 1 кг, учитывая, что

$$G_t = P \times C_p,$$

где P - тяга (Н);

C_p - удельный расход топлива (кг/Н×ч), при этом

$$P = m_0 g / K,$$

тогда

$$\Delta G_t = \Delta P \times C_p = \Delta m_0 \times g \times 1000 \times C_p / K.$$

Примем значение $K = 15,0$; $C_p = 0,06$ г/Н×ч, тогда

$$\Delta G_t = 1 \times 9,8 \times 1000 \times 0,08 / 15,0 = 39,2 \text{ г.}$$

Если принять годовой налет одного пассажирского самолета равным 2500 ч, то годовое увеличение потребления топлива из-за увеличения массы на 1 кг составит около 100 кг. При массе устройства WheelTug в 136 кг, дополнительное годовое потребление топлива составит: 13600 кг или в денежном эквиваленте 11181,54 \$, т.е. 932 \$ в месяц. Таким образом, общие денежные затраты с учетом лизинга $Z = 25000 \$ + 932 \$ = 25932 \$$.

Относительная экономическая эффективность \mathcal{E} определяется, пользуясь рекомендациями [3] по формуле

$$\mathcal{E}_1 = \frac{\Pi}{Z} = \frac{34729}{25932} = 1,33.$$

Вторым исследуемым вариантом является использование устройства Taxibot. Цена на услугу буксировки в аэропорту Казани тягачом TUG-MT12 составляет 4146 руб. [4].

Примем экономический эффект Π , полученный от неиспользования авиадвигателей на земле, приблизительно оцененный в предыдущем пункте в 34728,55 \$.

Расходы определяем в следующем порядке: цена двух буксировок за рейс составляет 8292 руб. или 203,5 \$; при 4-х рейсах в день цена составит 814 \$, за месяц - $814 \times 30 = 24420 \$$.

Относительная экономическая эффективность \mathcal{E} в этом случае составит

$$\mathcal{E}_2 = \frac{\Pi}{Z} = \frac{34729}{24420} = 1,42 .$$

На рис. 3 представлено сравнение характеристик экономической эффективности \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 рассмотренных вариантов.

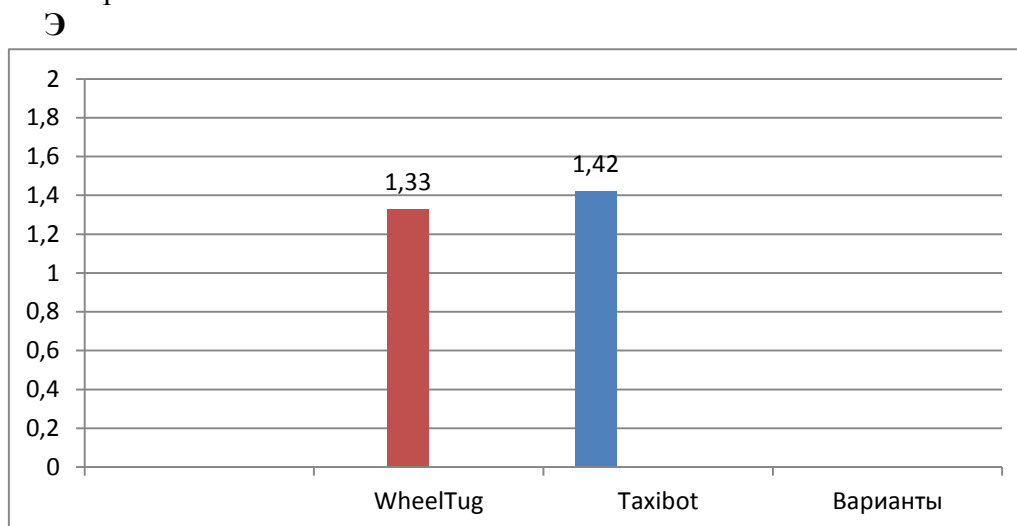


Рис. 3. Гистограмма относительной экономической эффективности вариантов снижения массы самолета

Снижение взлетной массы самолета

Как было показано выше, если принять годовой налет одного пассажирского самолета равным 2500 ч, то из-за уменьшения массы самолета на 1 кг годовая экономия в потреблении авиатоплива составит около 100 кг.

Снизить взлетную массу эксплуатируемого самолета можно путем оптимизации интерьера салона. Основным же способом значительного снижения массы является улучшение весовых характеристик кресел. Обеспечив снижение массы кресла на 1 кг, можно добиться снижения годового расхода топлива самолета со 100 креслами на 10 т. Задача снижения массы сидения не так тривиальна, как может показаться на первый взгляд, ввиду того, что помимо прочностных и весовых характеристик разработчики кресла обязаны обращать внимание на удобство и внешний вид сидения. К примеру, компания Austrian Airlines закупила 4650 кресел Recaro эконом-класса, масса которых меньше на 3 кг предыдущих, инвестировав около 6975000 \$ [5].



Рис. 3. Кресла Recaro

Таким образом, сэкономленная масса составляет $4650 \times 3 = 13950$ кг. Как было показано выше, это приведет к годовой экономии топлива $13950 \times 100 = 1395000$ кг = 1395 т, что составит при цене авиатоплива 822,2 \$ за 1 т

$$1395 \times 822,2 = 1\,146\,969 \text{ \$}.$$

Относительная экономическая эффективность

$$\mathfrak{E}_3 = \frac{\Pi}{\Sigma} = \frac{1146969}{6975000} = 0,164.$$

О низкой экономической эффективности и длительном сроке окупаемости свидетельствует тот факт, что вопрос снижения массы кресел при сохранении уровня комфорта решается уже не один десяток лет. Данная проблема очень тщательно проработана и нового прорыва в данном направлении добиться сложно. Однако это не снижает важность проблемы уменьшения эксплуатационной массы самолета в целом. Убрав, например, из кабины самолета бумажную документацию, масса которой может достигать 50 кг, и заменив ее на 2 планшета массой 680 г, общей ценой в 1000\$, можно добиться значительной экономии.

Снижение эксплуатационной массы самолета на 50 кг приведет к годовой экономии топлива $50 \text{ кг} \times 100 = 5 \text{ т}$, что составит при цене авиатоплива 822,2 \$ за 1 т

$$5 \times 822,2 = 4111 \text{ \$}.$$

Относительная экономическая эффективность при этом

$$\mathfrak{E}_4 = \frac{\Pi}{\Sigma} = \frac{4111}{1000} = 4,1.$$

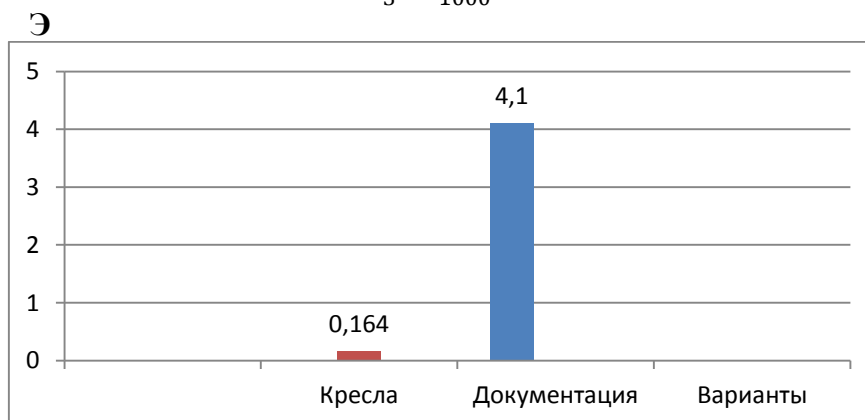


Рис. 4. Гистограмма экономической эффективности вариантов снижения массы самолета

Изображенное сравнение на рис. 4 показывает, что даже незначительно снижая эксплуатационную массу, можно добиться значительного экономического эффекта.

Оптимальность режимов снижения самолета

Повышения топливной эффективности самолета можно также добиться путем оптимизации процесса пилотирования. Профиль полета с постоянным снижением (CDO) является наиболее выгодным, т.к. при должной организации воздушного движения он позволяет выполнять снижение в оптимальном режиме с точки зрения минимальных энергетических затрат. Любая концепция развития системы использования воздушного пространства в зоне аэропорта должна соответствовать следующим критериям:

- а) безопасность полетов и защита окружающей среды;
- б) пропускная способность и доступность.

Перспективными направлениями, связанными с внедрением CDO, являются следующие:

- а) повышение эффективности использования воздушного пространства;
- б) повышение степени согласованности траектории полета;
- в) уменьшение рабочей нагрузки на пилота и диспетчера и объема радиосвязи;
- г) повышение топливной эффективности и адекватные экологические выгоды.

Реализация CDO со снижением по оптимальному профилю связана с опубликованным маршрутом прибытия, предназначенным для обеспечения максимального использования CDO. Он начинается в точке начала снижения с учетом: ограничений воздушного пространства; условий местного аэропорта; особенностей окружающей среды; возможностей самого самолета.

Профиль снижения состоит из участков: снижения в режиме малого газа; участков снижения, которые позволяют повысить абсолютную высоту, минимизировать тягу, необходимую для того чтобы оставаться на траектории, завершить полет в желаемой точке с соблюдением ограничений по абсолютной высоте и скорости вдоль замкнутой траектории. Очевидно, что такие факторы, как тип самолета и его фактическая масса, метеорологические характеристики (атмосферное давление, скорость ветра, температура воздуха и некоторые другие) оказывают влияние на оптимальный угол вертикальной траектории.

На рис. 5а изображена иллюстрация оптимальных траекторий снижения при выполнении CDO в зависимости от типа самолета, а на рис. 5б - традиционные траектории снижения самолета, управляемого УВД.

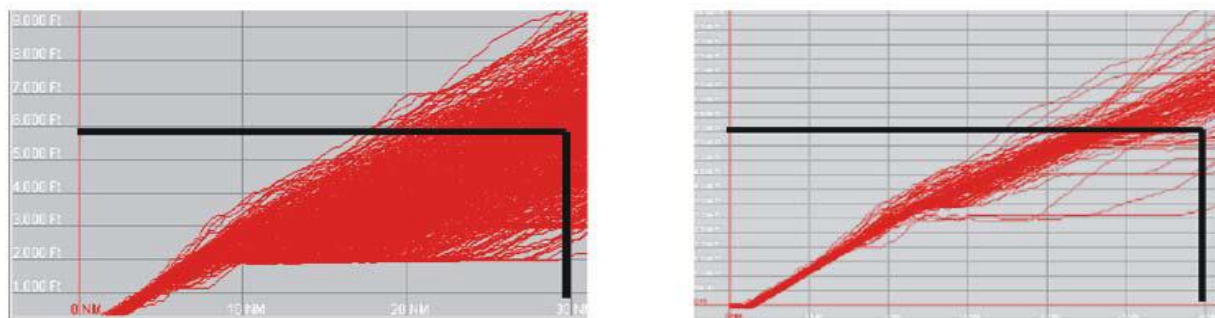


Рис. 5. Профили снижения:

а – при использовании CDO

б – без использования CDO

Выводы

Данные, поступающие по результатам испытаний и внедрения CDO, говорят о возможностях повышения топливной эффективности, которые зависят от используемого профиля, уровня

высоты начала выполнения непрерывного снижения и типа самолета. В зонах с менее загруженным воздушным пространством проводится CDO на протяженном участке полета. Потенциальный выигрыш от введения CDO в воздушном пространстве государств-участников Европейской конференции гражданской авиации (ЕКГА) находится в промежутке от 50 кг до 150 кг за полет [6], что равносильно экономии ежегодных финансовых затрат более, чем на 100 млн. евро, а также уменьшению выбросов (эмиссии CO₂) примерно на 0,5 млн. т в год. Использование режима полета при постоянном снижении требует сотрудничества всех эксплуатантов для получения наибольшей выгоды с учетом различных эксплуатационных условий.

Таким образом, рассмотрены некоторые пути снижения эксплуатационных затрат авиаперевозчиков на авиатопливо. Многообразие подходов к их преодолению указывает на незавершенность в решении этой проблемы и необходимость ее дальнейшего исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Самолет едет, двигатели стоят [Электронный ресурс]. URL: <http://aviaglobus.ru/2013/01/05/5144>
2. Официальный отчет за 2013 фискальный год. [Электронный ресурс]. URL: http://www.wheeltug.gi/reports/FY2013/Wheeltug_plc_annual_report_2013.pdf
3. Паламарчук А.С. Экономика предприятия: учебник. М.: ИНФРА-М, 2013. 451 с.
4. Официальный сайт Международного Аэропорта Казань. [Электронный ресурс]. URL: http://www.airport.kazan.ru/files/sbor_rus.2013.13.11.pdf
5. Авиакомпания Austrian переоснащает парк узкофюзеляжных самолетов новыми креслами. Деловой авиационный портал. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ato.ru/content/aviakompaniya-austrian-pereosnashchaet-park-uzko-fyuzelyazhnyh-samoleto-vm-novymi-kreslami>
6. Doc 10013. Эксплуатационные возможности уменьшения расхода топлива и эмиссии. 1-е изд. Монреаль: ИКАО, 2014.

NEW TRENDS IN FUEL EFFICIENCY IN THE OPERATION OF CIVIL AIRCRAFT

Belkin V.A.

Considers new methods to improve the fuel efficiency in operation of civil aircraft, based on the reduction ground work time of aircraft engines, reducing take-off weight. Experimental data and assessment of these methods.

Keywords: fuel efficiency, operation of civil aircraft.

REFERENCES

1. *Samolet edet, dvigateli stoyat. Internet zhurnal.* <http://aviaglobus.ru/2013/01/05/5144>
2. *The official report for the 2013 fiscal year.* http://www.wheeltug.gi/reports/FY2013/Wheeltug_plc_annual_report_2013.pdf
3. **Palamarchuk A.S.** *Ekonomika predpriyatiya: ucebник.* M.: INFRA-M, 2013. 451 p. (In Russian).
4. *The official website of the International Airport Kazan,* URL: http://www.airport.kazan.ru/files/sbor_rus.2013.13.11.pdf
5. *Aviakompaniya Austrian pereosnashchaet park uzkofyuzelyazhnykh samoleto-vm novymi kreslami. Delovoi aviatsionnyi portal,* <http://www.ato.ru/content/aviakompaniya-austrian-pereosnashchaet-park-uzkofyuzelyazhnyh-samoleto-vm-novymi-kreslami>
6. Doc 10013. *Ekspluatatsionnye vozmozhnosti umen'sheniya raskhoda topliva i emissii.* 1-e izd. Monreal: ICAO, 2014. 104 p.

Сведения об авторе

Белкин Виктор Александрович, 1990 г.р., окончил МАИ НИУ (2013), аспирант МГТУ ГА, автор 2 научных работ, область научных интересов – техническая эксплуатация, экономия топливно-энергетических ресурсов.