

УДК 629.7.08

К ВОПРОСУ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ЛЕТНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ПО КРИТЕРИЮ МИНИМАЛЬНОГО РАСХОДА ТОПЛИВА

В.А. БЕЛКИН¹

¹*Московский государственный технический университет гражданской авиации,
г. Москва, Россия*

Рассматриваются новые потенциально возможные пути повышения топливной эффективности гражданских воздушных судов, основанные на оптимизации процесса летно-технической эксплуатации воздушных судов. Приводятся данные, подтверждающие целесообразность их дополнительного углубленного исследования и внедрения в практику работы авиакомпаний гражданской авиации.

Показано, что одной из причин, вызывающей увеличение потребления топлива на крейсерском этапе полета, может являться необходимость обхода метеорологических зон и связанное с этим изменение высоты полета или воздушной скорости. Такие события носят эпизодический характер. В то же время наиболее выгодными приемами, направленными на повышение топливной эффективности, являются такие, как выполнение непрерывного набора высоты и снижения воздушных судов.

Одним из таких направлений исследования является внедрение в производство полетов режимов непрерывного снижения, рациональных маршрутов подлета к аэропорту посадки, набора высоты, выбор оптимальных профилей полета. Данная программа получила название SESAR. При реализации данной программы в рамках ЕС планируется сократить потребление топлива на 5 миллионов тонн в год за счет его экономии на 10 % по результатам каждого полета. Аналогичная программа NextGen оптимизации процессов воздушного движения принята и в настоящее время реализуется в США. Целью данной программы является ежегодное повышение топливной эффективности не менее чем на 2 % в год.

По результатам проведенного исследования представлен расширенный перечень рекомендаций по реализации системы непрерывного снижения воздушных судов при производстве полетов, предусматривающей отказ от горизонтальных участков полета при режиме работы двигателей на малом газе.

Ключевые слова: топливная эффективность, пути и способы повышения топливной эффективности, оценка результатов.

ВВЕДЕНИЕ

В истории ГА проведено значительное количество научно-практических работ, направленных на экономию топливно-энергетических ресурсов в процессе летной и технической эксплуатации воздушных судов (ВС) с поршневыми и газотурбинными двигателями.

В порядке дальнейшего развития подобных работ в 2008 году такие организации, как «ЕВРОКОНТРОЛЬ», «ИАТА», «КАНСО», приступили к реализации плана-программы повышения топливной эффективности полетов ВС, включающей в себя ряд конкретных направлений [1, 2].

Известно, что производство полетов ВС строго регламентировано действующими авиационными правилами, принятыми при организации воздушного движения (ОрВД), в частности такими, как по обеспечению безопасности, полетов, снижению шумовых воздействий на окружающую среду и т.п. Но при этом сохраняются возможности повышения топливной эффективности путем оптимизации маршрутов воздушного движения, не нарушая установленных правил.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ЭФФЕКТИВНОГО ПРОЦЕССА ПИЛОТИРОВАНИЯ

Потенциального выигрыша за счет снижения расхода топлива можно добиться на различных этапах полета, таких как набор высоты, полет по маршруту и снижение. Расход топлива на этих этапах, безусловно, различен. Набор высоты сопровождается самым высоким потребле-

нием топлива, значительно превышающим расход при крейсерском полете, который в свою очередь превышает расход топлива при снижении.

Порядок производства полета ВС регулируется в рамках самой системы ОрВД. Возможности осуществлять полет по выгодным крейсерским эшелонам или сокращение протяженности маршрута ограничены, если система ОрВД не оптимизирована по критериям топливной эффективности. Учитывая наличие ограничений местного характера, не всегда возможно применить единый комплекс решений, приемлемый для всех условий. Тем не менее работа в данном направлении ведется, по крайней мере, в настоящее время реализуются две основные региональные программы в США и ЕС.

Одной из причин, вызывающей увеличение потребления топлива на крейсерском этапе полета, может являться необходимость обхода метеорологических зон, а также связанное с этим изменение высоты полета или воздушной скорости. Такие события носят эпизодический характер. В то же время наиболее выгодными приемами, направленными на повышение топливной эффективности, являются такие, как выполнение непрерывного набора высоты и снижения ВС.

Непрерывный набор высоты (ССО) заключается в отказе при его выполнении от горизонтальных участков полета, что приводит как к снижению расхода топлива, так и к уменьшению шумового воздействия. Преимущества использования ССО особенно заметны у ВС с повышенной массой.

Непрерывное снижение (CDO) – прием, заключающийся, по аналогии с ССО, в отказе от горизонтальных участков полета при снижении. Он выполняется при режимах работы двигателей на малом газе.

На рис. 1 и 2 представлены общие схемы традиционного профиля полета и оптимального с использованием ССО и CDO.



Рис. 1. Традиционный профиль
Fig. 1. Conventional line

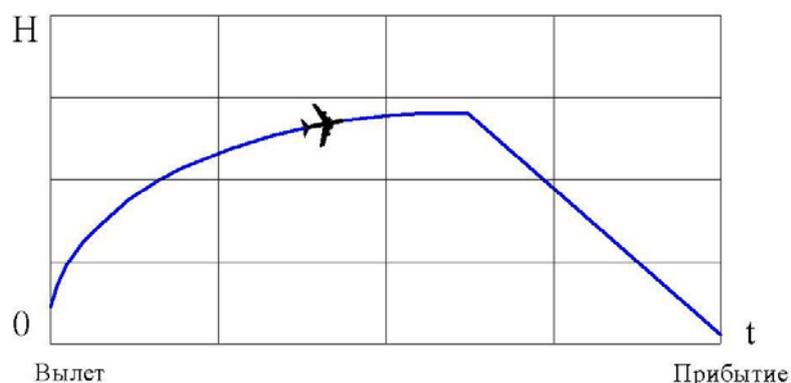


Рис. 2. Оптимальный профиль
Fig. 2. Optimal line

На изображениях представлены типовые профили полетов по ССО и СДО. В конкретных случаях профиль полета зависит от типа ВС, метеоусловий, особенностей маршрута, местных ограничений, в связи с чем, отдавая предпочтения обеспечению безопасного эшелонирования, не всегда можно придерживаться типовых профилей полета.

Следует иметь в виду, что в полете одновременно могут находиться и другие участники воздушного движения, с которыми могут возникнуть эксплуатационные конфликтные ситуации:

- между ВС, выполняющим набор высоты, и ВС, выполняющим снижение;
- между ВС, одновременно выполняющими снижение;
- между ВС, выполняющими посадку в соседние аэропорты.

Использование эффективных профилей и маршрутов зачастую ограничивается на малых высотах требованиями по снижению шумового воздействия. Таким образом существующие противоречивые требования, например, между пропускной способностью воздушного пространства, ускорением потока ВС, обеспечением топливной эффективности, затрудняют решение задач и выработки единых универсальных мер для всех случаев.

Внедряемые новые системы навигации (CNS) дают возможность перехода от системы управления воздушным движением (УВД), сильно ограничивающей применение ССО и СДО, к системе глобального планирования, разработка и апробирование которой является весьма актуальной.

РЕЖИМ НЕПРЕРЫВНОГО СНИЖЕНИЯ

Из-за высокой доли затрат на авиатопливо в себестоимости авиаперевозок, в последние годы ведется работа по выбору моделей маршрутов, полетов в рамках системы СДО, не нарушающих баланс между режимами полетов, позволяющими повысить топливную эффективность, и пропускной способностью воздушного пространства.

Любая концепция развития использования воздушного пространства в области аэропорта должна соответствовать одному из следующих критериев:

- максимальный уровень обеспечения безопасности полетов;
- максимальная пропускная способность;
- защита окружающей среды от эмиссии авиадвигателей и шумового воздействия.

Перспективными выгодами от внедрения СДО являются следующие аспекты:

- повышение эффективности использования воздушного пространства;
- повышение степени согласованности траекторий полетов группы ВС;
- уменьшение рабочей нагрузки на пилота и диспетчера;
- существенное уменьшение объема радиосвязи;
- повышение топливной эффективности и пропорциональные ей экологические выгоды;
- возможность выполнять полеты там, где требования по шуму обуславливают ограничение производства полетов.

Таким образом, СДО создает благоприятную и положительную возможность гармонизации требований к организации полетов в воздушном пространстве.

Непрерывное снижение, без снижения уровня безопасности полетов, уровня пропускной способности, рассматривается как прием, который желательно выполнять, но который не является обязательным. К примеру, в загруженные периоды времени в аэропортах диспетчеру УВД может быть дано право на вмешательство – векторение или управление скоростью для безопасного эшелонирования или упорядочения движения. Внедрение современных средств ОрВД, обеспечивающих автоматическое использование векторения и упорядочения, направленно на

совершенствование методов управления воздушным пространством, в том числе и с учетом внедрения системы CDO.

Чем раньше по времени и высоте полета будет начато непрерывное снижение, тем больше будет обеспечено снижение расхода топлива и уменьшение воздействия шума и экологического загрязнения.

Одним из условий реализации CDO является снижение ВС по оптимальному профилю. Он должен быть связан с установленным маршрутом снижения и схемой прибытия в аэропорт. Профиль снижения начинается в точке начала снижения с учетом ограничений, принятых в зоне воздушного пространства местного аэропорта, с учетом условий окружающей среды и возможностей самого ВС. Профиль снижения состоит из участков снижения в режиме малого газа и участков снижения, которые позволяют повысить абсолютную высоту, минимизировать тягу, необходимую для того, чтобы оставаться на траектории и завершить полет в желаемой точке.

Выполняться CDO может как с использованием вычисляемой компьютером вертикальной траектории (VNAV), так и без нее, однако такие технологии повышают стабильность полета и расширяют возможность пилотов и диспетчеров в вопросе прогнозирования траектории при управлении снижением ВС. На рис. 3, а изображена иллюстрация оптимальных траекторий снижения при выполнении CDO в зависимости от типа ВС, на рис. 3, б показаны традиционные траектории снижения, управляемые УВД [3, 4].

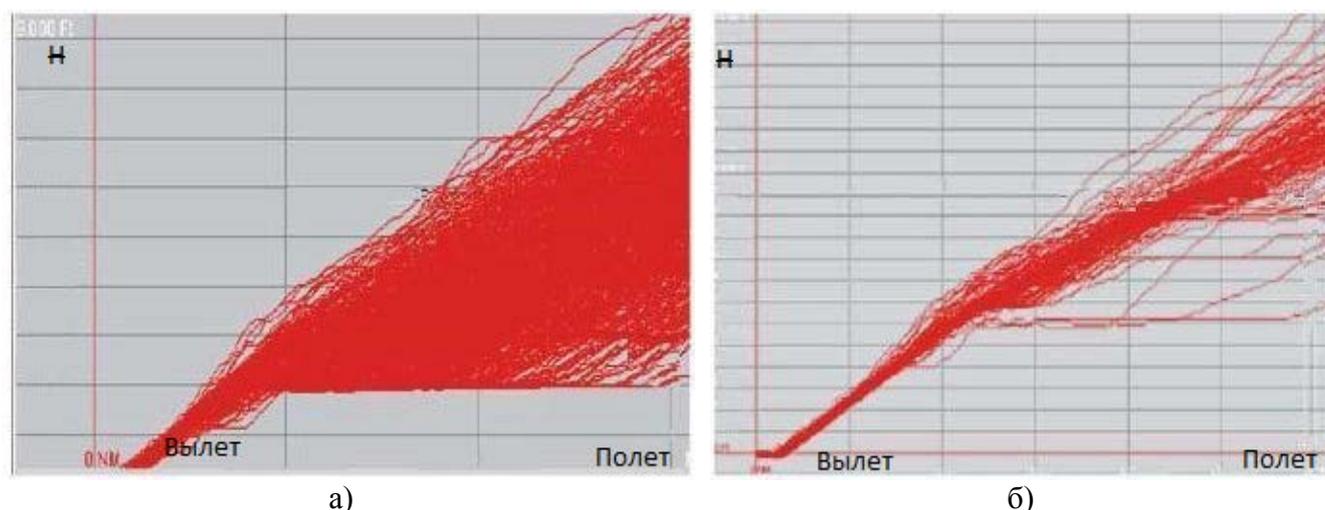


Рис. 3. Профили снижения ВС: а) при использовании CDO; б) без использования CDO
Fig. 3. Profiles of aircraft descent: a) with CDO using; b) without CDO using

Определение оптимальной траектории снижения обеспечивается пилотом и системой FMS по данным о расстоянии до ВПП и высоте над ВПП.

Реализовывается CDO двумя способами: а) с замкнутой траекторией (рис. 4); б) незамкнутой траекторией (рис. 5), имеющими следующие различия:

- а) замкнутая траектория – до начала снижения известно расстояние до ВПП;
- б) незамкнутая траектория – до начала снижения неизвестно расстояние до ВПП.

Метод непрерывного снижения с замкнутой траекторией состоит из фиксированного маршрута и известного расстояния до ВПП, которое рассчитывается до начала полета в режиме CDO. Данный метод публикуется с информацией об уровнях пересечения, окнах уровней и ограничениях скорости.

При использовании метода с незамкнутой траекторией в пределах отдельных частей или всего маршрута осуществляется векторение. Расстояние до порога ВПП не рассчитывается до начала CDO.

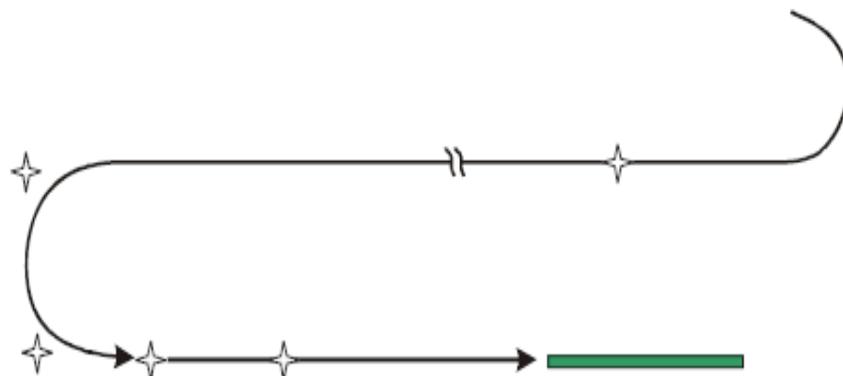


Рис. 4. Замкнутая траектория снижения в режиме CDO
Fig. 4. Closed trajectory of descent with CDO regime



Рис. 5. Незамкнутая траектория снижения в режиме CDO
Fig. 5. Non-closed trajectory of descent with CDO regime

Разрабатываемые автоматизированные системы вместе с использованием новых бортовых и наземных устройств и правил производства полетов обеспечат более согласованное использование оптимальных схем непрерывного снижения в периоды загруженного воздушного движения. Главным моментом в этом процессе является возможность эффективного обеспечения упорядоченного и согласованного движения прилетающих ВС с оптимизацией CDO в рамках ограничений пропускной способности. При этом принципы системы CDO реализуются тем чаще, чем выше потребность в автоматизированных средствах.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РЕАЛИЗАЦИИ CDO

Введение системы непрерывного снижения находится на этапе разработки, но для реализации будущих схем можно уже сейчас выделить необходимые положения и рекомендации [5–8]:

- 1) CDO выполняется не за счет снижения уровня безопасности, обеспечение высоких показателей которого всегда должно являться главной целью;
- 2) без сотрудничества эксплуатантов ВС и разработчиков навигационного оборудования реализация CDO невозможна;
- 3) выполнение непрерывного снижения до конечной контрольной точки захода на посадку не всегда оптимально и целесообразно. Более оптимальной может стать комбинированная CDO с выполнением векторения;
- 4) CDO следует рассматривать с учетом условий полетов, влияющих на ВС, и любых других незапланированных изменений в структуре воздушного движения;
- 5) положительный эффект от применения непрерывного снижения непосредственно зависит от указаний диспетчера, исключающих преждевременное или запоздалое начало снижения, что позволяет использовать минимальную тягу двигателей и исключить неоправданные участки горизонтального полета;

- 6) для оптимального режима выполнения CDO нужна рассчитанная вертикальная траектория и фиксированная траектория в боковом измерении, что позволит ВС снижать в оптимальном режиме;
- 7) на высотах, где не так важно влияние фактора шума, целесообразно концентрироваться на решении задачи по повышению топливной эффективности;
- 8) для успешной реализации непрерывного снижения, как правило, используется управление скоростью;
- 9) выполнение CDO от рассчитанной оптимальной точки начала снижения (TOD) является идеальным вариантом;
- 10) эффективным с точки зрения экономии топлива является даже частичное CDO в рамках отдельных секторов;
- 11) в разных аэропортах могут применяться разные профили проведения CDO. В такой ситуации необходимо соглашение о координации действий между эксплуатантами;
- 12) проведение непрерывного снижения представляет собой «искусство баланса» и не должно отрицательно влиять на пропускную способность;
- 13) непрерывное снижение не должно создавать проблем для других ВС, одновременно находящихся в полете.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Данные, поступающие по результатам испытаний и начала внедрения CDO свидетельствуют о возможностях повышения топливной эффективности, которые зависят от выбора оптимального профиля, уровня высоты начала выполнения непрерывного снижения и типа ВС.
2. Потенциальный выигрыш от введения CDO в воздушном пространстве государств – участников Европейской конференции гражданской авиации (ЕКГА) находится в промежутке от 50 до 150 кг за полет [4], что равносильно экономии ежегодных финансовых затрат более, чем на 100 млн евро, а также уменьшению выбросов эмиссии CO₂ примерно на 0,5 млн тонн в год.
3. Использование режима полета при непрерывном снижении требует совместных действий как специалистов-разработчиков, так и эксплуатантов.
4. В данной статье приведены основные сведения по использованию режима непрерывного снижения ВС, возникающие сложности и потенциальные выгоды, предложены рекомендации по реализации проблемы. Работа по данной тематике требует дальнейшего продолжения в связи с ее высокой актуальностью, экономической и экологической целесообразностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ICAO. Doc. 9931. Руководство по производству полетов в режиме постоянного снижения (CDO). Издание первое – 2010.
2. Официальный сайт федерального авиационного управления США [Электронный ресурс]. URL: http://www.faa.gov/nextgen/library/media/getSmart_PBN.pdf
3. ICAO. Doc. 10013. Эксплуатационные возможности уменьшения расхода топлива и эмиссии. Издание первое – 2014.
4. **Белкин В.А.** К проблеме повышения топливной эффективности гражданских самолетов // Научный Вестник МГТУ ГА. 2015. № 219. С. 121–126.
5. **Чинючин Ю.М.** Технологические процессы технического обслуживания летательных аппаратов: учебник. М.: МГТУ ГА; Университетская книга. 2008. 408 с.
6. **Смирнов Н.Н., Чинючин Ю.М.** Основы теории технической эксплуатации летательных аппаратов: учебник. М.: МГТУ ГА, 2015. 505 с.

7. Указание Министерства гражданской авиации от 20 ноября 1990 г. № 499/у. О введении в действие «Методических рекомендаций по выбору оптимально-потребной энерговооруженности». М.: МГА СССР, 1990. 14 с.

8. Методические рекомендации по совершенствованию организации работы по экономии авиатоплива в предприятиях гражданской авиации / Министерство гражданской авиации. М.: Воздушный транспорт. 1983. 136 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Белкин Виктор Александрович, аспирант кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и авиационных двигателей МГТУ ГА, boolatov@mail.ru.

ON THE ISSUE OF AIRCRAFT MAINTENANCE PROCESS OPTIMIZATION ON THE CRITERION OF MINIMUM FUEL CONSUMPTION

Viktor A. Belkin¹

¹*Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia*

ABSTRACT

Potentially new ways to improve civil aircraft fuel efficiency, based on the aircraft maintenance process optimization are considered. The data confirming the advisability of their further in-depth study and implementation in civil aviation airlines activity is given.

It is shown that one of the reasons provoking the increase of fuel consumption at the cruising flight stage might be the necessity of the bypass of meteorological areas and of the flight altitude or airspeed change. These events are occasional. At the same time the most advantageous methods aimed at improving fuel efficiency are continuous aircraft climb or descent.

One of these research directions is the implementation of continuous descent mode, rational routes of approach to the airfield, climb, choice of optimal flight modes in flights. This program is called “SESAR”. While its realization within the framework of the EC it is planned to reduce fuel consumption by 5 million tons a year due to its economy by 10 % after each flight. The similar program “NextGen” of air traffic optimization is accepted and is realized nowadays in the USA. The purpose of this program is annual improvement of fuel efficiency not less than by 2 % a year.

Based on the conducted research the expanded list of recommendations for the realization of aircraft continuous descent system in flight, providing renunciation of horizontal flight areas at idling engines is presented.

Key words: fuel efficiency, ways and means to improve fuel efficiency, evaluation.

REFERENCES

1. ICAO. Doc. 9931. Guidance on the production of flights in the mode of permanent decline (CDO). Edition first – in 2010.
2. Official web-site of federal aviation management the USA [Electronic D-LAS]. URL: <http://www.faa.gov/nextgen/library/media/getSmartPBN.pdf>
3. ICAO. Doc. 10013. Operating possibilities of reduction of expense of fuel and emission. Edition first – in 2014.
4. **Belkin V.A.** *K probleme povyisheniya toplivnoy effektivnosti grazhdanskih samole-tov* [To the problem of increase of fuel efficiency of civil aircraft]. The Scientific Bulletin of the MSTUCA, 2015, no. 219, pp. 121–126. (in Russian)
5. **Chinyuchin Yu.M.** *Tehnologicheskie protsessyi tehnikeskogo obsluzhivaniya letatelnykh apparatov: uchebnik* [Technological processes of technical maintenance of aircrafts: textbook]. Moscow, The MSTUCA, *Universitetskaya kniga* [University book], 2008. (in Russian)
6. **Smirnov N.N., Chinyuchin Yu.M.** *Osnovyi teorii tehnikeskoy ekspluatatsii letatelnykh apparatov. Uchebnik* [The Bases of theory of technical exploitation of the aircraft. Textbook]. M., MSTUCA, 2015, 505 p. (in Russian)

7. *Ukazanie Ministerstva grazhdanskoy aviatsii ot 20 noyabrya 1990 g. # 499/u. O vvede-nii v deystvie «Metodicheskikh rekomendatsiy po vyboru optimalno-potrebnoy energovooruzhennosti». – 1990* [Order of the Ministry of Civil Aviation on November 20, 1990 № 499 / y. On introduction of the "Guidelines for the selection of optimal power availability needs". 1990]. Moscow. 1990. 14 p. (in Russian)

8. *Metodicheskie rekomendatsii po sovershenstvovaniyu organizatsii raboty po ekonomii avia-topliva v predpriyatiyah grazhdanskoy aviatsii* [Guidelines to improve the organization of work on fuel savings in the civil aviation enterprises]. *Ministerstvo grazhdanskoy aviatsii* [Ministry of Civil Aviation]. Moscow, *Vozdushnyy transport* [Air transport]. 1983. 136 p. (in Russian)

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Belkin Victor Alexandrovich, Post Graduate of the Aircraft and Aircraft Engines Maintenance Chair, Moscow State Technical University of Civil Aviation, boolatov@mail.ru.