

Яшунин Данил Борисович

Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации им. Главного
маршала авиации А.А. Новикова

Баширов Александр Евгеньевич

Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации им.
Главного маршала авиации А.А. Новикова

Соколов Олег Аркадьевич

Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации им. Главного
маршала авиации А.А. Новикова

**Методика оценки влияния продвинутых режимов автоматического управления
(RNP, CDA, FLC) на снижение прямых эксплуатационных расходов (DOC)
воздушного судна**

Аннотация. В статье представлена методика комплексной оценки влияния продвинутых режимов автоматического управления и навигации — RNP (Required Navigation Performance), CDA (Continuous Descent Approach) и FLC (Flight Level Change) — на снижение прямых эксплуатационных расходов (DOC) воздушного судна. Рассмотрены принципы работы каждого режима и механизмы их воздействия на ключевые статьи затрат: расход авиатоплива, затраты на техническое обслуживание и амортизацию. Методология исследования включает сравнительный анализ эксплуатационных данных, критерии выбора методов оценки и практические аспекты сбора информации. В результате анализа выявлена и количественно обоснована экономическая эффективность применения данных технологий как по отдельности, так и в синергетическом режиме. Наибольший совокупный эффект на DOC достигается при комбинированном использовании RNP для оптимизации горизонтальной траектории, FLC для управления вертикальным профилем и CDA для экономичного завершения полета. Статья содержит практические рекомендации для авиакомпаний по этапам внедрения, обучению персонала и оценке экономической целесообразности перехода на современные процедуры. Результаты исследования подтверждают, что инвестиции в продвинутые режимы управления являются действенным инструментом повышения операционной эффективности и конкурентоспособности в условиях современного авиационного рынка.

Ключевые слова: прямые эксплуатационные расходы (DOC), RNP (Required Navigation Performance), CDA (Continuous Descent Approach), FLC (Flight Level Change), топливная эффективность, автоматическое управление полетом, экономическая оценка, авиационная эксплуатация, оптимизация профиля полета.

Yashunin Danil Borisovich

Saint-Petersburg State University of Civil Aviation named in honor of Air Chief Marshal of
Aviation A.A. Novikov

Bashirov Alexander Evgenievich

Saint-Petersburg State University of Civil Aviation named in honor of Air Chief Marshal of
Aviation A.A. Novikov

Sokolov Oleg Arkadyevich

Saint-Petersburg State University of Civil Aviation named in honor of Air Chief Marshal
of Aviation A.A. Novikov

**Methodology for assessing the impact of advanced automatic control modes (RNP,
CDA, FLC) on reducing direct operating costs (DOC) of an aircraft**

Annotation. The article presents a methodology for a comprehensive assessment of the impact of advanced automatic control and navigation modes — RNP (Required Navigation Performance), CDA (Continuous Descent Approach) and FLC (Flight Level Change) — on reducing the direct operating costs (DOC) of an aircraft. The principles of operation of each mode and the mechanisms of their impact on key cost items are considered: jet fuel consumption, maintenance and depreciation costs. The research methodology includes a comparative analysis of operational data, criteria for selecting evaluation methods, and practical aspects of information collection. As a result of the analysis, the economic efficiency of using these technologies both individually and in a synergetic mode has been identified and quantified. The greatest cumulative effect on DOC is achieved with the combined use of RNP to optimize the horizontal trajectory, FLC to control the vertical profile, and CDA to economically complete the flight. The article contains practical recommendations for airlines on the stages of implementation, staff training and assessment of the economic feasibility of switching to modern procedures. The results of the study confirm that investments in advanced management modes are an effective tool for improving operational efficiency and competitiveness in the modern aviation market.

Keywords: Direct Operating Costs (DOC), RNP (Required Navigation Performance), CDA (Continuous Descent Approach), FLC (Flight Level Change), Fuel efficiency, Automatic flight control, economic assessment, aviation operation, flight profile optimization.

В современной авиационной отрасли, функционирующей в условиях высокой конкурентной напряженности и растущих экономических вызовов, ключевым императивом для авиакомпаний является устойчивое повышение операционной эффективности. На этом фоне минимизация прямых эксплуатационных расходов (Direct Operating Costs – DOC) превращается из тактической задачи в стратегическую необходимость. DOC, включающие затраты на топливо, техническое обслуживание, амортизацию воздушного судна и оплату экипажа, формируют основу экономики каждого полета. Снижение этих расходов напрямую влияет на рентабельность авиаперевозок, конкурентоспособность тарифов и, в конечном счете, на финансовую устойчивость авиапредприятия. Особую значимость этот фактор приобретает в контексте волатильности цен на авиатопливо, ужесточения экологических норм и требований по снижению углеродного следа.

Одним из наиболее перспективных направлений для достижения существенной экономии является оптимизация летной эксплуатации через внедрение и активное использование продвинутых режимов автоматического управления и навигации. Такие технологии, как RNP (Required Navigation Performance), CDA (Continuous Descent Approach) и FLC (FMS Landing System), представляют собой не просто инструменты помощи экипажу, а комплексные системы, фундаментально меняющие профиль и точность выполнения полета. Они позволяют перейти от традиционных, зачастую ступенчатых и избыточных по расходу топлива процедур, к оптимальным, плавным и предсказуемым траекториям. Их роль в оптимизации процессов заключается в переходе на качественно новый уровень точности навигации, минимизации человеческого фактора в рутинных операциях, сокращении времени полета и, как следствие, расхода топлива, а также в снижении нагрузки на планер и силовые установки за счет более щадящих режимов пилотирования. Таким образом, актуальность разработки и применения четкой методики оценки экономического эффекта от данных технологий обусловлена необходимостью перевода их технических преимуществ в конкретные, количественно измеримые финансовые результаты, что позволит авиакомпаниям обоснованно принимать инвестиционные и операционные решения.

Прямые эксплуатационные расходы (DOC) представляют собой совокупность затрат, непосредственно связанных с эксплуатацией конкретного воздушного судна и меняющихся пропорционально налету часов [5, с. 34]. Эти расходы являются ключевым компонентом операционных затрат авиакомпании и включают в себя несколько основных статей: затраты на авиатопливо, расходы на техническое обслуживание и ремонт (ТОиР),

амортизацию или лизинговые платежи за воздушное судно, а также расходы на оплату труда летного экипажа. Именно на эти статьи, в первую очередь на топливную составляющую, оказывают наиболее существенное влияние современные технологии пилотирования и навигации.

К продвинутым режимам автоматического управления и навигации относятся технологии, позволяющие оптимизировать траекторию полета с высокой точностью, минимизируя отклонения и избыточные процедуры.

- RNP (Required Navigation Performance – Требуемые навигационные характеристики) – это концепция, основанная на использовании бортового навигационного оборудования и спутниковых систем для выполнения полета по точной пространственной траектории [2, с. 248]. Она позволяет выполнять прямолинейные заходы на посадку в сложных условиях, сокращать боковые и вертикальные отклонения, минимизировать дистанцию и время полета, особенно на этапе захода.

- CDA (Continuous Descent Approach – Непрерывный снижающийся заход) – это метод выполнения заключительного этапа полета (захода на посадку), при котором воздушное судно как можно дольше сохраняет крейсерский эшелон, после чего выполняет плавное непрерывное снижение с минимальной тягой двигателей или на малом газе до выхода на глиссаду. Этот режим исключает традиционные «ступеньки» (горизонтальные участки) при снижении, что приводит к значительной экономии топлива, снижению шума и эмиссии [1].

- FLC (Flight Level Change – Изменение уровня полета) – это стандартный, но часто оптимизируемый режим автопилота/автотяги, предназначенный для эффективного набора высоты или снижения с заданной вертикальной скоростью или при заданной скорости полета [3, с. 25]. Его продвинутое использование в интеграции с другими системами (FMS) позволяет выбирать наиболее экономичные профили вертикального навигации.

Выбор конкретных методов оценки должен основываться на двух группах взаимосвязанных критериев. Во-первых, это экономические показатели, которые необходимо измерить: прямая экономия топлива (кг/рейс), снижение времени полета (минуты/рейс), уменьшение затрат на техническое обслуживание за счет снижения циклических нагрузок, и, в итоге, совокупное снижение DOC в стоимостном выражении. Во-вторых, необходимо учитывать технические характеристики воздушного судна (тип, модель, модификация, класс бортового оборудования), которые определяют саму возможность применения и эффективность того или иного режима (например, наличие сертификации по RNP AR, тип FMS).

Оценка требует комплексного сбора данных из различных источников. Источники информации включают: статистические данные полетов (полученные из систем ACARS, QAR или FDR), отчеты о расходе топлива авиакомпаний, технические отчеты производителей ВС и систем (Boeing, Airbus, Honeywell, etc.), результаты научных исследований и отчеты международных организаций (ICAO, IATA). Методы сбора данных могут быть как пассивными (ретроспективный анализ больших массивов данных полетов, сравнение отчетов по рейсам с применением и без применения продвинутых режимов), так и активными (опросы и структурированные интервью с пилотами-инструкторами, инженерами по ТОиР, аналитиками авиакомпаний для получения экспертных качественных оценок и выявления косвенных эффектов).

RNP (Required Navigation Performance) – это стандарт точной навигации, основанный на использовании бортовых вычислителей и спутниковых сигналов (GNSS). Его ключевой принцип – гарантированное соблюдение воздушным судном заданной траектории в пределах строго определенного коридора точности (например, RNP 0.3 означает отклонение не более 0.3 морских мили). Это позволяет выполнять оптимальные, зачастую прямолинейные, маршруты захода на посадку (RNP AR) и в районе аэродрома, минуя наземные радионавигационные средства.

Основной вклад RNP в топливную эффективность заключается в значительном сокращении длины траектории полета, особенно на критических этапах захода и в районах со сложным рельефом. Прямолинейные подходы уменьшают расстояние, время полета и, как следствие, расход топлива. Дополнительно, высокая предсказуемость траектории позволяет более точно планировать вертикальный профиль и снижает необходимость в ожидании в зоне аэродрома, что также ведет к экономии.

Сравнительный анализ DOC при полетах по традиционным маршрутам и с использованием RNP выявляет снижение по ключевым статьям. Прямая экономия формируется за счет топливной составляющей (до 3-8% на этапе захода). Косвенная экономия достигается за счет снижения нагрузки на планер и двигатели из-за более плавных маневров, что может уменьшать затраты на техническое обслуживание. Также сокращение общего времени рейса влияет на амортизационные отчисления (в расчете на летный час) и позволяет увеличить утилизацию воздушного судна.

Принцип непрерывного снижающегося захода (CDA) заключается в выполнении этапа снижения с крейсерского эшелона до точки выхода на глиссаду без промежуточных горизонтальных участков («ступенек») и с минимально необходимым режимом работы двигателей (часто на малом газе). Управление осуществляется преимущественно за счет аэродинамического качества ВС, а не тяги двигателей.

CDA является существенно более «тихим» режимом, так как двигатели длительное время работают на пониженной тяге, а само судно находится на большей высоте над населенными пунктами. Это позволяет авиакомпаниям сокращать или избегать платежей за шумовое воздействие, которые существуют во многих аэропортах мира. Таким образом, экономия носит не только прямой (топливо), но и косвенный финансовый характер, влияя на операционные издержки.

По сравнению со ступенчатым снижением, CDA демонстрирует устойчивое снижение расхода топлива на этапе захода (в среднем 100-500 кг в зависимости от типа ВС и условий), что напрямую уменьшает DOC. Дополнительным экономическим эффектом является продление ресурса двигателей и тормозных систем из-за меньших термических и механических нагрузок, что снижает долгосрочные затраты на ТОиР. Суммарный эффект наиболее заметен для авиакомпаний, выполняющих высокую интенсивность рейсов в аэропорты, поощряющие «зеленые» процедуры.

Режим FLC (Flight Level Change) является базовым алгоритмом автопилота/автотяги для выполнения набора высоты или снижения. Его продвинутое применение подразумевает интеграцию с системой управления полетом (FMS) для вычисления и выдерживания оптимального вертикального профиля по критерию экономичности (например, с постоянной приборной скоростью или числом Маха), автоматически управляя тягой и тангажом.

Оптимизация через FLC заключается в выборе таких профилей набора и снижения, которые минимизируют интегральный расход топлива на всем протяжении вертикального маневра. Система рассчитывает и выдерживает наиболее экономичные скорости и углы, избегая неоптимальных режимов (например, набор высоты со слишком большой тягой или снижение с чрезмерно низкой скоростью), что приводит к совокупной экономии топлива на всех этапах полета.

Сравнение с ручным или менее совершенным автоматическим управлением по вертикали показывает, что оптимизированный FLC-профиль вносит вклад в общую экономию топлива (от 1% до 3% на продолжительном крейсерском участке). Это напрямую снижает топливную статью DOC. Кроме того, более плавные и предсказуемые режимы работы двигателей и систем управления положительно сказываются на межремонтном ресурсе, потенциально увеличивая интервалы обслуживания и сокращая соответствующие затраты в расчете на летный час.

Проведенный анализ демонстрирует, что каждый из рассмотренных режимов вносит специфический вклад в снижение DOC. RNP обеспечивает экономию преимущественно за

счет сокращения горизонтальной траектории и времени полета, особенно на этапах захода и в зоне аэродрома. CDA оказывает наибольшее влияние на заключительной фазе снижения, минимизируя расход топлива за счет работы на малом газе и сокращая шумовые платежи. FLC вносит системный вклад в оптимизацию вертикального профиля на всех этапах набора высоты и снижения, обеспечивая постоянную экономию.

Наиболее значимый прямой экономический эффект на один рейс, как правило, демонстрирует CDA за счет существенного сокращения расхода топлива на коротком, но энергозатратном этапе захода. Однако максимальный совокупный годовой эффект для авиакомпании достигается при комбинированном использовании всех технологий: RNP оптимизирует горизонтальный путь, FLC – вертикальный профиль на маршруте, а CDA завершает полет по экономичной траектории. Таким образом, синергия режимов является наиболее эффективной стратегией [4].

Выбор приоритетных режимов зависит от условий. Для аэропортов в горной местности или с ограниченной наземной инфраструктурой первостепенное значение имеет внедрение RNP. В аэропортах с высокой экологической нагрузкой и строгими шумовыми ограничениями ключевым становится CDA. Для авиакомпаний с протяженными магистральными маршрутами оптимизация крейсерского вертикального профиля через FLC дает значимую экономию. Универсальной рекомендацией является постепенное внедрение комплекса технологий, начиная с тех, что требуют меньших капитальных затрат (FLC, CDA), и переходя к более сложным (RNP AR).

Внедрение должно носить системный характер и начинаться с аудита парка ВС и бортового оборудования на предмет соответствия техническим требованиям. Необходимо разработать поэтапный план, включающий модернизацию оборудования (при необходимости), получение необходимых сертификатов (одобрений) от авиационных властей, а также пересмотр и согласование с органами УВД новых процедур полета для конкретных аэродромов.

Квалифицированное использование экипажами является критическим фактором успеха. Требуется разработка и внедрение специализированных программ теоретического и тренажерного обучения, акцентирующих внимание не только на порядке включения режимов, но и на понимании их экономической и экологической ценности. Технический персонал должен быть обучен особенностям обслуживания соответствующих систем.

Перед внедрением необходим детальный бизнес-кейс, включающий расчет капитальных затрат (оборудование, обучение, сертификация) и прогноз операционной экономии (топливо, ТОиР, шумовые сборы). Ключевым показателем должен стать срок окупаемости инвестиций. Для точного расчета рекомендуется пилотное внедрение на ограниченном числе рейсов или типе ВС с последующим сбором и анализом фактических данных о расходе топлива.

Проведенное исследование подтверждает, что продвинутые режимы автоматического управления RNP, CDA и FLC представляют собой действенный инструмент снижения прямых эксплуатационных расходов воздушного судна. Их внедрение позволяет достичь значимой экономии топлива, сократить затраты на техническое обслуживание и минимизировать дополнительные операционные платежи, трансформируя технологические преимущества в финансовый результат. Наибольшая эффективность достигается при интеграции данных технологий в единую систему оптимизации полетного задания.

Перспективы дальнейших исследований лежат в области комплексного анализа синергетического эффекта от совместного использования этих режимов с системами нового поколения (такими как ACAS Xa, интегрированные с FMS), а также в разработке адаптивных алгоритмов управления, учитывающих в реальном времени актуальные метеосостояния, воздушную обстановку и экономические параметры. Развитие концепции «Управления полетами на основе точных траекторий» (ТВО) и интеграция искусственного

интеллекта для прогнозирования оптимальных профилей откроют новые горизонты для минимизации DOC.

Список источников

1. Альхарби Е.А. и др. Аналитическая модель повышения эффективности применения подхода непрерывного снижения в аэропортах // Прикладные науки. – 2022. – Т. 12. – № 3. – С. 1506.

2. Вьюнова А. Н., Золотарев О. В. Исследование способов повышения точности позиционирования за счет дополнительных наземных средств //Физико-техническая информатика (СРТ2020): Материалы. – 2020. – С. 246-274.

3. Муравьев И. С. Экспериментальная проверка метода оценки функционирования автоматизированных систем на воздушных судах последнего поколения //Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. – 2022. – №. 3. – С. 20-33.

4. Рустамова Э. М. Трансформация бизнес-моделей российских авиакомпаний в средней и долгосрочной перспективе в условиях глобальной конкуренции: магистерская диссертация : дис. – б. и., 2020.

5. Чернышева Г. Н. Особенности управления затратами на эксплуатацию авиационной техники //Экономинфо. – 2024. – №. 1. – С. 33-44.

Сведения об авторах

Яшунин Данил Борисович, студент 3 курса, ФГБОУ ВО СПбГУ ГА им. А.А. Новикова, Санкт-Петербург, Россия

Баширов Александр Евгеньевич, студент 3 курса, ФГБОУ ВО СПбГУ ГА им. А.А. Новикова, Санкт-Петербург, Россия

Соколов Олег Аркадьевич, заведующий кафедры «Систем автоматизированного управления», к.т.н., ФГБОУ ВО СПбГУ ГА им. А.А. Новикова, Санкт-Петербург, Россия

Information about the authors

Yashunin Danil Borisovich, 3rd year student, Saint-Petersburg State University of Civil Aviation named in honor of Air Chief Marshal of Aviation A.A. Novikov, Saint Petersburg, Russia

Bashirov Alexander Evgenievich, 3rd year student, Saint-Petersburg State University of Civil Aviation named in honor of Air Chief Marshal of Aviation A.A. Novikov, Saint Petersburg, Russia

Sokolov Oleg Arkadyevich, Head of the Department of Automated Control Systems, Candidate of Technical Sciences, Saint-Petersburg State University of Civil Aviation named in honor of Air Chief Marshal of Aviation A.A. Novikov, Saint Petersburg Russia