



ЛОГИСТИКА, ТАСЫМАЛДАУДЫ ҰЙЫМДАСТЫРУ, КӨЛІКТЕГІ ҚАУІПСІЗДІК
ЛОГИСТИКА, ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК, БЕЗОПАСНОСТЬ НА ТРАНСПОРТЕ
LOGISTICS, TRANSPORTATION ORGANIZATION, TRANSPORT SECURITY

УДК 656.7:502.131.1

МРНТИ 73.37.75

https://doi.org/10.53364/24138614_2026_42_3_6

Г.К. Калиева^{1*}, Г.О. Алтаева, З.Е.Конакбай¹, А.С.Альчимбаева²

¹Академия гражданской авиации, г.Алматы, Казахстан

²Академия логистики и транспорта, г. Алматы, Казахстан.

*E-mail: g.kaliyeva@agakaz.kz

ЭКОНОМИКА «ЗЕЛЁНОЙ» ЛОГИСТИКИ В ОРГАНИЗАЦИИ АВИАПЕРЕВОЗОК

Аннотация. Цель исследования - разработать воспроизводимый подход к комплексной оценке экономической, экологической и операционной результативности проектов зелёной логистики в авиации и продемонстрировать его применение на иллюстративном сценарии, рассмотренном в контексте Казахстана. Информационную базу составили официальные документы Международной ассоциации воздушного транспорта (IATA), Международной организации гражданской авиации (ICAO), Бюро национальной статистики Республики Казахстан и Авиационной администрации Казахстана, нормативные правовые акты и рецензируемые научные публикации. Методика включает расчёт чистой приведённой стоимости (Net Present Value, NPV), оценку сокращения выбросов парниковых газов жизненного цикла, измерение операционного результата, целевое нормирование частных показателей и их агрегирование с заданными весами. Для мониторинга предложена система из восьми ключевых показателей эффективности (Key Performance Indicators, KPI), из которых для демонстрационного интегрального индекса используются три агрегированных результата: экономический, экологический и операционный. В сценарном расчёте для условного авиаперевозчика при 2%-ной экономии топлива, 5%-ной доле устойчивого авиационного топлива (Sustainable Aviation Fuel, SAF) и сценарном сокращении выбросов жизненного цикла SAF на 65% снижение выбросов составило 5,19%, NPV - 3,24 млн долл. США, а сокращение средней продолжительности полётно-наземного цикла - 6,67%. При равных весах интегральный индекс составил 0,740. В четырёх рассмотренных системах весов значение индекса находилось в диапазоне 0,713–0,778. Анализ чувствительности NPV к ценовой премии SAF показал порог безубыточности около 483 долл. США/т при прочих неизменных параметрах. Научная новизна заключается в отраслевой адаптации методологии составных индикаторов к предварительному отбору проектов зелёной авиационной логистики. Ограничением является сценарный, а не корпоративный характер расчётных данных; фактическая эффективность внедрения требует последующей апробации на верифицированных данных конкретной авиакомпания или аэропорта.

Ключевые слова: зелёная логистика, авиационные перевозки, экономическая эффективность, устойчивое авиационное топливо, SAF, ключевые показатели эффективности, KPI, чистая приведённая стоимость, NPV, выбросы парниковых газов, CORSIA, декарбонизация.

Введение.

Авиационный транспорт обеспечивает пространственную связанность, мобильность населения и перемещение грузов на большие расстояния, одновременно формируя значительный спрос на авиационное топливо и связанные с ним выбросы парниковых газов. Поэтому задача повышения экологической результативности авиационной логистики связана не только с выбором отдельных низкоуглеродных технологий, но и с экономической оценкой их применения, операционной эффективностью и возможностью сопоставления различных проектов [1].

При оценке декарбонизации авиации необходимо различать непосредственные выбросы от сжигания авиационного топлива и выбросы жизненного цикла топлива. Последний показатель имеет принципиальное значение при оценке устойчивого авиационного топлива (SAF). В системе CORSIA сокращение выбросов от использования соответствующего топлива определяется с учётом его жизненного цикла, зависящего, в частности, от сырья, технологического процесса и региона производства [2]. ICAO предусматривает использование как установленных значений жизненного цикла, так и фактических значений, рассчитанных по утверждённой методологии и подтверждённых в установленном порядке.

Международные и национальные документы формируют общую основу для декарбонизации авиации. IATA в 2021 году закрепила отраслевую цель достижения нулевых нетто-выбросов углерода к 2050 году. CORSIA предусматривает систему мониторинга, отчётности и верификации выбросов международной авиации, а также механизм учёта допустимых видов топлива [3].

В научной литературе рассматриваются отдельные направления снижения экологической нагрузки логистики, включая оптимизацию транспортных процессов, повышение топливной эффективности, обновление парка, цифровизацию, устойчивое авиационное топливо и электрификацию [4, 5, 6]. Однако для управленческого выбора проекта требуется сопоставлять результаты, выраженные в разных единицах измерения: денежных, физических и относительных. Использование единого безразмерного индекса может облегчить предварительный отбор проектов при условии прозрачного нормирования и заранее заданных весов.

Цель исследования - разработать прозрачную и воспроизводимую процедуру комплексной оценки проектов зелёной авиационной логистики, объединяющую экономический, экологический и операционный результаты, и продемонстрировать её применение на сценарных данных, рассмотренных в контексте Казахстана.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- определить информационную базу и правила отбора данных;
- сформировать систему измеримых KPI для регулярного мониторинга;
- определить показатели, непосредственно используемые в интегральной оценке;
- привести разнородные результаты к сопоставимой безразмерной шкале;
- определить порядок задания весов;
- выполнить сценарный расчёт и анализ чувствительности;
- сопоставить предлагаемую процедуру с методологически близкими подходами;
- определить ограничения сценарной апробации и требования к последующей корпоративной проверке.

Авторский вклад заключается в адаптации методологии составных индикаторов к задаче предварительного отбора проектов зелёной авиационной логистики. Предлагаемая процедура связывает расчёт NPV, сокращение выбросов жизненного цикла и операционный KPI через заранее установленные целевые значения. При этом математические операции нормирования и взвешивания не рассматриваются как самостоятельная научная новизна.

Новым элементом предлагаемого подхода является их объединение с отраслевым паспортом КРІ и процедурой предварительного отбора авиационных проектов [7].

Материалы и методы исследования.

Исследование выполнено как прикладной сценарный анализ. В связи с отсутствием в открытом доступе полного набора корпоративных финансовых, топливных и операционных данных конкретной авиакомпании или аэропорта расчётная часть не является эмпирической оценкой фактически реализованного проекта. Она представляет собой сценарную апробацию расчётного алгоритма. Отраслевые данные Казахстана используются для формирования контекста, а не для вывода сценарных параметров таблицы 2.

Информационная база сформирована из четырёх групп источников:

- официальные документы IATA и ICAO по вопросам декарбонизации авиации, CORSIA и SAF [2, 3, 5];
- нормативные и стратегические документы Республики Казахстан [5, 6];
- официальная статистика воздушного транспорта [8];
- рецензируемые научные публикации по климатическому воздействию авиации, зелёной логистике и технологиям декарбонизации [9].

Включались источники, содержащие проверяемое определение, количественный показатель, метод расчёта либо нормативное требование. Материалы без идентифицируемого первоисточника и рекламные публикации исключались.

Алгоритм исследования включает следующие этапы:

- определение границ оценки и базового периода;
- формирование исходных экономических, экологических и операционных данных;
- расчёт экономических и физических эффектов;
- нормирование каждого результата относительно заранее установленной цели;
- агрегирование нормированных результатов с заданными весами;
- проведение анализа чувствительности и интерпретация результата.

Экономическая эффективность проекта оценивается посредством чистой приведённой стоимости:

$$NPV = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (1)$$

Где: I_0 - первоначальные инвестиции;

CF_t - чистый денежный поток в году t ;

r - ставка дисконтирования;

n - горизонт оценки.

В состав денежного потока могут включаться подтверждённые изменения затрат на топливо, техническое обслуживание, задержки и другие статьи, непосредственно связанные с проектом. Регулярные эксплуатационные расходы должны учитываться отдельно и вычитаться из денежного потока.

Поскольку экономический, экологический и операционный результаты имеют разные единицы измерения, они предварительно переводятся в безразмерную шкалу [0; 1] в соответствии с принципами построения составных индикаторов [10].

Для показателя, рост которого является желательным, используется целевое нормирование:

$$Z_j = \min(1, \max(0, \frac{\Delta x_j}{T_j})) \quad (2)$$

Отрицательный NPV получает значение $Z_e = 0$, а превышение установленной цели ограничивается значением 1. Такая шкала интерпретируется как степень достижения конкретной цели.

При коммерческом отборе проектов условие $NPV \geq 0$ проверяется отдельно. Это необходимо, поскольку высокий интегральный индекс не должен компенсировать финансовую неприемлемость проекта.

После нормирования три результата объединяются в интегральный индекс:

$$E_{green} = W_e Z_e + W_{env} Z_{env} + W_0 Z_0 \quad (3)$$

Где Z_e - нормированная экономическая оценка; Z_{env} - нормированная экологическая оценка; Z_0 — нормированная операционная оценка; W_e , W_{env} , W_0 — соответствующие веса, сумма которых равна единице.

Веса должны фиксироваться до проведения расчёта. При практическом применении их устанавливает экспертная комиссия авиакомпаний или аэропорта на основе утверждённых стратегических приоритетов. Для формализованного согласования экспертных оценок может применяться метод анализа иерархий с попарным сравнением критериев и проверкой согласованности суждений. Равные веса используются только как нейтральный демонстрационный вариант при отсутствии подтверждённых корпоративных приоритетов:

$$W_e = W_{er} = W_0 = \frac{1}{3} \quad (4)$$

Дополнительные наборы весов используются только для проверки устойчивости результата.

Для сценария с операционной экономией топлива s , долей SAF q после экономии и сокращением выбросов жизненного цикла SAF R используется следующее балансовое соотношение:

$$\Delta GHG = 1 - (1 - s) [(1 - q) + q (1 - R)] \quad (5)$$

Здесь ΔGHG - относительное сокращение выбросов парниковых газов; s , q и R выражаются долями единицы.

В сценарии предполагаются неизменный объём транспортной работы, сопоставимые границы оценки жизненного цикла и одинаковая удельная теплота сгорания традиционного топлива и SAF. При различии энергетической плотности топлива доля SAF должна пересчитываться на энергетическую основу.

Значение $R=65\%$ в настоящем исследовании является сценарным допущением, а не подтверждённым показателем конкретной партии SAF. На практике его следует определять по установленной методике CORSIA на основе фактического или соответствующего нормативного значения жизненного цикла. ICAO указывает, что жизненный цикл зависит от сырья, технологического пути и региона производства; поэтому единый коэффициент нельзя автоматически распространять на все виды SAF.

Предлагаемая формула не охватывает полный спектр климатического воздействия авиации, включая не- CO_2 -эффекты [11].

Результаты и их обсуждение.

Предлагаемая система предусматривает три взаимосвязанных уровня:

- первичные данные;
- расчётные KPI;
- интегральный индекс.

Такое разделение позволяет сохранить информацию, теряемую при простой агрегации: управленческое решение может опираться не только на итоговый индекс, но и на конкретный показатель, обусловивший его изменение.

В таблице 1 представлена система из восьми KPI для регулярного мониторинга авиакомпании или аэропорта. Она является более широкой, чем набор показателей, непосредственно используемый в демонстрационном индексе.

Таблица 1 – Система KPI для регулярного мониторинга авиакомпании или аэропорта

№	KPI и единица измерения	Источник данных	Период контроля	Ответственное подразделение	База и целевое значение
1.	Углеродная интенсивность: прямые выбросы, кг CO ₂ /ткм или пкм; выбросы жизненного цикла — отдельно, кг CO ₂ -экв. /ткм или пкм	топливный учёт; CORSIA/MRV; данные жизненного цикла SAF	ежемесячно; годовая верификация	служба устойчивого развития	базовый год; снижение по утверждённой траектории
2.	Топливная эффективность, кг/ткм или л/100 пкм	полётные данные; заправочные ведомости	ежемесячно	лётная эксплуатация	целевое снижение к базовому году
3.	Доля сертифицированного SAF, %	закупочные документы; подтверждение устойчивости	ежеквартально	закупки и устойчивое развитие	утверждённый корпоративный уровень
4.	NPV зелёных проектов, денежная единица	финансовый и управленческий учёт	ежеквартально	финансовая служба	NPV ≥ 0 и достижение инвестиционной цели
5.	Эксплуатационные затраты, % к базовому уровню	управленческий учёт	ежемесячно	финансовая и операционная службы	снижение при сопоставимом объёме работ
6.	Средняя продолжительность полётно-наземного цикла, мин/рейс	FDM (мониторинг данных полёта); A-CDM (совместное принятие решений аэропорту); ATM (организация воздушного движения).	ежемесячно	операционный контроль	сокращение к базовому периоду

7.	Электрификация наземной техники, % парка GSE	реестр активов; система энергоменеджмента	ежеквартально	аэропортовая служба	по плану обновления парка
8.	Цифровой документооборот, % электронных операций	DCS (система управления отправлением рейсов); ERP (система планирования ресурсов предприятия), т.е. система электронного документооборота	ежемесячно	ИТ-служба и операционные подразделения	базовый год; утверждённая доля электронных операций
<i>Источник: составлено авторами с учётом [9, 10]. Периодичность контроля и распределение ответственности предложены авторами.</i>					

Показатель № 6 сформулирован как «средняя продолжительность полётно-наземного цикла». Единообразное определение показателя обеспечивает сопоставимость паспорта KPI и расчётного примера.

Восемь KPI не включаются непосредственно в интегральную формулу одновременно. Это сделано по двум причинам. Во-первых, часть показателей является исходными или промежуточными характеристиками других результатов. Например, топливная эффективность влияет на экономический и экологический результат, а доля SAF является параметром экологического расчёта. Их прямое включение одновременно с NPV и сокращением выбросов могло бы привести к двойному учёту. Во-вторых, интегральный индекс предназначен для демонстрационного сопоставления трёх управленческих результатов - экономического, экологического и операционного [8].

Таким образом, восемь KPI образуют систему корпоративного мониторинга, а три агрегированных показателя - расчётную основу демонстрационного индекса. При практическом внедрении состав индекса может быть расширен, однако это потребует отдельного анализа взаимозависимости показателей.

Базовые и целевые значения KPI должны устанавливаться авиакомпанией или аэропортом с учётом базового года, состава воздушного и наземного парка, маршрутной сети, доступности SAF и инвестиционной программы. Универсальные целевые значения до 2030 года в настоящей работе не предлагаются.

По данным Плана действий Республики Казахстан по сокращению выбросов CO₂ в авиации, в 2022 году выбросы авиационного транспорта составили 1 060,532 тыс. т CO₂-экв. Для международных перевозок в рамках CORSIA в документе приведены значения 832 026 т в 2019 году, 315 805 т в 2020 году, 491 433 т в 2021 году и 648 274 т в 2022 году с оговоркой о последующей верификации. В 2023 году казахстанскими авиакомпаниями было перевезено 13,3 млн пассажиров, а за десять месяцев 2024 года - 12,3 млн пассажиров; парк регулярных перевозчиков насчитывал 102 воздушных судна. Эти данные характеризуют масштаб отрасли и обосновывают необходимость оценки не только абсолютных выбросов, но и показателей интенсивности на единицу транспортной работы [9].

План действий также отражает участие Казахстана в CORSIA, присоединение к программе ICAO ACT-SAF и рассмотрение вопросов готовности аэропортов к использованию SAF. Вместе с тем приведённые отраслевые сведения не являются

источниками параметров сценария таблицы 2. Поэтому формулировка «сценарий, параметризованный для условий Казахстана» заменена на более корректную: «иллюстративный сценарий, рассмотренный в контексте Казахстана».

Стоимость закупки SAF, объёмы его возможного локального производства, сырьевая база, сертификационная готовность и капитальные затраты на инфраструктуру в настоящем исследовании количественно не оцениваются, поскольку для этого требуются отдельное технико-экономическое исследование и верифицированные проектные данные. Поэтому выводы сценарной апробации не интерпретируются как оценка коммерческой готовности производства SAF в Казахстане.

Сценарный расчёт

Из-за отсутствия в открытом доступе полного набора корпоративных данных расчёт выполнен для условного авиаперевозчика. Он не является оценкой деятельности Air Astana, SCAT или другого конкретного оператора. Денежные значения представлены в долларах США исключительно для прозрачности сценария.

Таблица 2 – Исходные параметры иллюстративного сценария

№	Параметр	Значение	Статус
1.	Годовое потребление топлива до проекта	100 000 т	сценарное значение
2.	Цена традиционного топлива	950 долл./т	сценарное значение
3.	Операционная экономия топлива	2,0%	сценарное значение
4.	Доля SAF после экономии	5,0%	сценарное значение
5.	Ценовая премия SAF	300 долл./т	сценарное значение
6.	Сокращение выбросов жизненного цикла SAF	65%	сценарное допущение
7.	Первоначальные инвестиции	3,0 млн долл.	сценарное значение
8.	Экономия технического обслуживания и денежных потерь от задержек	1,30 млн долл./год	сценарное значение
9.	Горизонт и ставка дисконтирования	5 лет; 12%	сценарные параметры
10.	Средняя продолжительность полётно-наземного цикла	120 → 112 мин	сценарное значение
11.	Целевой NPV	5,0 млн долл.	сценарный ориентир
12.	Целевое снижение выбросов	7,0%	сценарный ориентир
13.	Целевое сокращение времени цикла	8,0%	сценарный ориентир
<i>Источник: сценарные допущения авторов. Значения не являются статистическими показателями конкретной компании.</i>			

После операционной оптимизации годовое потребление топлива составляет:
 $100\,000(1-0,02)=98\,000$ т.

Из этого объёма 4 900 т приходится на SAF.

До реализации проекта годовые затраты на топливо составляют:
 $100\,000 \times 950 = 95,00$ млн долл.

После реализации проекта:
 $98\,000 \times 950 + 4\,900 \times 300 = 94,57$ млн долл.

Таким образом, чистая экономия на топливе составляет 0,43 млн долл. в год.

С учётом экономии на техническом обслуживании и денежных потерь от задержек годовой денежный поток равен:

$$CF = 100\,000 \times 0,02 \times 950 - 4\,900 \times 300 + 1\,300\,000$$

$$CF = 1\,730\,000 \text{ долл./год.}$$

При первоначальных инвестициях 3,0 млн долл., горизонте пять лет и ставке дисконтирования 12%:

$$NPV = -3\,000\,000 + 1\,730\,000 \sum_{t=1}^5 \frac{1}{(1+0,12)^t}$$

Получаем:

$$NPV \approx 3,24 \text{ млн долл.}$$

Расчёт предполагает отсутствие дополнительных регулярных затрат проекта. В корпоративном технико-экономическом обосновании они должны быть включены в денежный поток.

Экологический и операционный результаты

По формуле (5):

$$\Delta GHG = 1 - (1 - 0,02)[(1 - 0,05) + 0,05(1 - 0,65)].$$

Следовательно:

$$\Delta GHG = 0,05185,$$

или 5,19%.

Средняя продолжительность полётно-наземного цикла сокращается со 120 до 112 мин:

$$\Delta T = (120 - 112) / 120 = 0,0667.$$

то есть на 6,67%.

Для нормирования заранее установлены три иллюстративные цели:

- NPV - 5,0 млн долл.;
- снижение выбросов - 7,0%;
- сокращение времени цикла - 8,0%.

Эти значения не являются отраслевыми нормативами. Они используются исключительно для демонстрации алгоритма.

Полученные нормированные значения составляют:

$$Z_e = \frac{3,24}{5,0} = 0,647$$

$$Z_{env} = \frac{5,19}{7,0} = 0,741$$

$$Z_o = \frac{6,67}{8,0} = 0,833$$

При равных весах:

$$Z_{env} = \frac{0,647 + 0,741 + 0,833}{3} = 0,740$$

Следовательно, интегральный показатель составляет 0,740, или 74,0% от совокупности трёх заданных целей. Он не означает сокращение экологического воздействия на 74%.

Анализ чувствительности к весам

Таблица 3 – Чувствительность интегрального индекса к весам

№	Сценарий весов	w_e	w_{env}	w_o	E_{greenv}
1.	Равные приоритеты	0,333	0,333	0,333	0,740
2.	Экономический приоритет	0,500	0,300	0,200	0,713

3.	Экологический приоритет	0,200	0,600	0,200	0,741
4.	Операционный приоритет	0,200	0,200	0,600	0,778
<i>Источник: расчёты авторов</i>					

В четырёх рассмотренных системах весов интегральный показатель изменяется от 0,713 до 0,778. Это показывает чувствительность результата к системе приоритетов. Вместе с тем такая проверка не заменяет анализа неопределённости исходных ценовых и инвестиционных параметров.

Чувствительность NPV к цене SAF

Таблица 4 – Чувствительность NPV к ценовой премии SAF

№	Сценарий	Премия SAF, долл./т	Годовой денежный поток, млн долл.	NPV, млн долл.
1	Без премии	0	3,20	8,54
2	Базовый	300	1,73	3,24
3	Высокая премия	500	0,75	–0,30
<i>Источник: расчёты авторов; изменяется только ценовая премия SAF.</i>				

Расчёты выполнены без учёта налогов, инфляции, валютных колебаний, изменения базовой цены авиационного топлива, остаточной стоимости инвестиций и возможных затрат на приобретение углеродных единиц. Поэтому полученные результаты характеризуют базовый сценарий и не заменяют корпоративное технико-экономическое обоснование проекта.

При прочих неизменных параметрах порог безубыточности по ценовой премии SAF составляет около 483 долл./т. При превышении этого уровня NPV становится отрицательной, поэтому решение о масштабировании SAF должно опираться на контрактную цену и сертифицированный показатель жизненного цикла (рис.1).

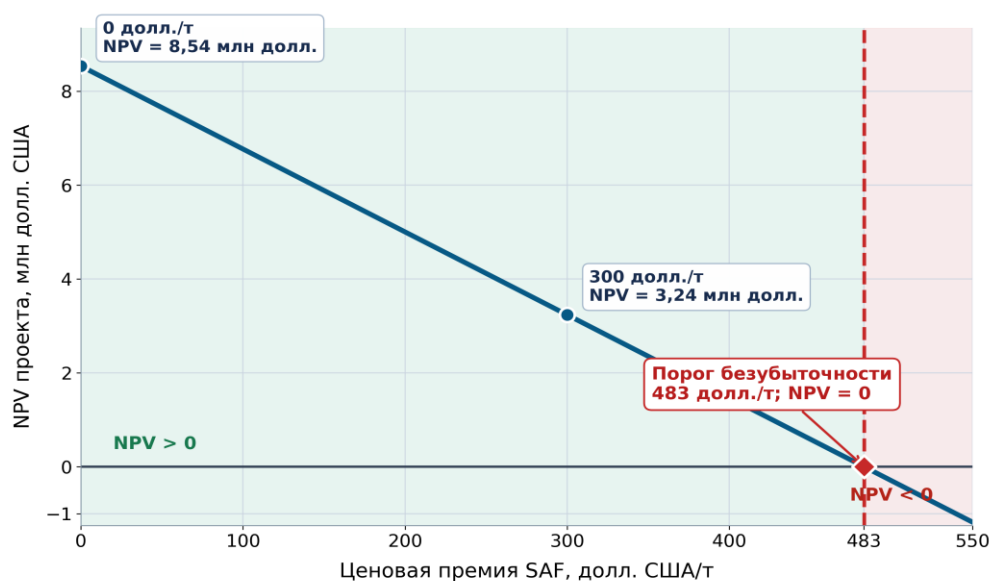


Рисунок 1 – Чувствительность NPV к ценовой премии SAF

Источник: расчёты авторов по параметрам иллюстративного сценария.

Предлагаемая процедура основана на методах, применяемых в исследованиях зелёной логистики, декарбонизации авиации, оценки климатического воздействия и построения составных индикаторов. В отличие от исследований, ориентированных преимущественно на отдельные технологии снижения выбросов или оценку климатического воздействия, в предлагаемой процедуре одновременно учитываются экономический результат проекта (NPV), сокращение выбросов жизненного цикла и операционный показатель. Методология составных индикаторов используется для нормирования разноразмерных показателей и их агрегирования, а метод анализа иерархий рассматривается как возможный инструмент определения весов. При этом сами математические методы нормирования и взвешивания не заявляются как научно новые [11].

Отличительной особенностью предлагаемой процедуры является их адаптация к предварительному отбору проектов зелёной авиационной логистики. Процедура предусматривает формирование паспорта KPI с указанием показателя, источника данных, периодичности мониторинга и ответственного подразделения; целевое нормирование показателей; фиксацию весов до выполнения расчёта; отдельную проверку финансовой приемлемости проекта и анализ чувствительности интегрального результата к весам и ценовой премии SAF. В отличие от общих методик составных индикаторов, процедура ориентирована на использование корпоративных данных авиакомпания или аэропорта и допускает последующую замену сценарных параметров верифицированными фактическими данными. Таким образом, заявляемая новизна относится к отраслевой адаптации и объединению известных методов в единую управленческую процедуру, а не к созданию новых математических методов.

Исследование имеет пять основных ограничений.

Во-первых, расчётная апробация основана на сценарных параметрах, а не на раскрытых корпоративных данных конкретного перевозчика или аэропорта. Поэтому полученные значения NPV, сокращения выбросов и операционного эффекта нельзя интерпретировать как фактически достигнутые результаты предприятия.

Во-вторых, сценарий не учитывает в полном объёме инфляцию, изменение валютного курса, динамику базовой цены авиационного топлива, стоимость углеродных единиц, налогообложение, остаточную стоимость оборудования и возможные дополнительные эксплуатационные расходы.

В-третьих, значение 65% для сокращения выбросов жизненного цикла SAF является сценарным допущением. Для практического применения необходимы данные конкретного топливного пути и подтверждённое значение жизненного цикла в соответствии с применимой методологией CORSIA.

В-четвёртых, экологический блок ограничен преимущественно выбросами парниковых газов и не охватывает в полном объёме не-CO₂-климатические эффекты, шум, качество атмосферного воздуха, водопотребление, отходы и биоразнообразие [12].

В-пятых, интегральный индекс зависит от установленных корпоративных целей и весов. Поэтому он предназначен прежде всего для сопоставления проектов внутри одной системы управления и не должен использоваться как универсальный рейтинг разных авиакомпаний или аэропортов.

Полноценная эмпирическая апробация должна проводиться на верифицированных данных конкретного оператора за базовый и последующие периоды. Для этого необходимы фактические данные о расходе топлива, налёте, транспортной работе, закупках SAF, финансовых потоках, продолжительности операций и соответствующих экологических показателях.

Заключение.

В исследовании разработана процедура комплексной оценки проектов зелёной авиационной логистики, объединяющая экономический, экологический и операционный

результаты. Основу процедуры составляют расчёт NPV, оценка сокращения выбросов жизненного цикла, измерение операционного эффекта, целевое нормирование и агрегирование с заранее заданными весами.

Для регулярного мониторинга предложена система из восьми KPI. При этом для интегрального индекса используются три агрегированных результата — экономический, экологический и операционный. Такое разделение позволяет избежать двойного учёта взаимосвязанных показателей и одновременно сохранить расширенную систему корпоративного мониторинга.

Сценарная апробация на условном авиаперевозчике, рассмотренном в контексте Казахстана, показала, что при 2%-ной экономии топлива, 5%-ной доле SAF и сценарном сокращении выбросов жизненного цикла SAF на 65% сокращение выбросов составляет 5,19%. При инвестициях 3,0 млн долл. США, горизонте пять лет и ставке дисконтирования 12% NPV составляет 3,24 млн долл. США. Средняя продолжительность полётно-наземного цикла сокращается на 6,67%. При равных весах интегральный индекс равен 0,740.

Анализ чувствительности показал изменение индекса от 0,713 до 0,778 при четырёх наборах весов. При этом экономическая устойчивость сценария существенно зависит от цены SAF: при ценовой премии около 483 долл./т NPV достигает нулевого значения при прочих неизменных условиях.

Научный вклад работы состоит не в разработке новых математических методов нормирования или взвешивания, а в их адаптации к предварительному отбору проектов зелёной авиационной логистики и объединении с системой отраслевых KPI.

Практическое применение модели возможно для предварительной оценки инвестиционных и экологических проектов авиакомпаний и аэропортов. Однако проведённый расчёт является сценарной апробацией алгоритма и не подтверждает фактический эффект внедрения у конкретного предприятия.

Дальнейшая проверка должна проводиться на верифицированных корпоративных данных с фиксацией базового периода, фактических денежных потоков, параметров топлива и SAF, операционных KPI и экологических результатов. Это позволит перейти от демонстрации работоспособности расчётного алгоритма к эмпирической оценке его применимости в управлении устойчивым развитием гражданской авиации Казахстана.

Список литературы:

1. Моррелл П. С., Кляйн Т. Перевозка грузов воздушным транспортом: экономика международных авиационных грузоперевозок. 2-е изд. Лондон; Нью-Йорк: Routledge, 2019. 384 с. ISBN 978-1-138-74549-0.
2. Международная ассоциация воздушного транспорта. Резолюция о приверженности авиационной отрасли достижению нулевых нетто-выбросов углерода к 2050 году [Электронный ресурс]. Бостон: IATA, 2021. URL: <https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/iata-agm-resolution-on-net-zero-carbon-emissions.pdf> (дата обращения: 25.09.2026).
3. Международная организация гражданской авиации. CORSIA: Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation; CORSIA Eligible Fuels [Электронный ресурс]. URL: <https://www.icao.int/CORSIA>; <https://www.icao.int/CORSIA/corsia-eligible-fuels> (дата обращения: 25.09.2026).
4. Мак-Киннон А., Браун М., Печик М., Уайтинг А., ред. Зелёная логистика: повышение экологической устойчивости логистической деятельности. 3-е изд. Лондон: Kogan Page, 2015. 448 с.
5. Международная организация гражданской авиации. Экологический доклад ИКАО 2022: инновации для перехода к зелёной экономике [Электронный ресурс]. Монреаль: ICAO, 2022. URL: <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/envrep2022.aspx> (дата обращения: 25.09.2026).

6. Авиационная администрация Казахстана. План действий Республики Казахстан по сокращению выбросов CO₂ в авиации [Электронный ресурс]. Астана, 2024. 48 с. URL: <https://caa.gov.kz/storage/app/media/department-sus-dev/SAP%20KZ.pdf> (дата обращения: 25.09.2026).

7. Бауэн А., Битосси Н., Джерман Л., Харрис А., Леоу К. Устойчивое авиационное топливо: современное состояние, проблемы и перспективы применения взаимозаменяемых жидких топлив, водорода и электрификации в авиации // *Johnson Matthey Technology Review*. 2020. Т. 64, № 3. С. 263–278. DOI: 10.1595/205651320X15816756012040.

8. Ли Д. С., Фэйхи Д. У., Скоурон А. и др. Вклад мировой авиации в антропогенное климатическое воздействие за период с 2000 по 2018 год // *Atmospheric Environment*. 2021. Т. 244. Ст. 117834. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2020.117834.

9. Бюро национальной статистики Республики Казахстан. Транспорт в Республике Казахстан: официальная статистика [Электронный ресурс]. URL: <https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-transport> (дата обращения: 25.09.2026).

10. Об утверждении Стратегии достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года: Указ Президента Республики Казахстан от 2 февраля 2023 года № 121 [Электронный ресурс]. URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U2300000121> (дата обращения: 25.09.2026).

11. Шефер А. В., Барретт С. Р. Х., Дойм К. и др. Технологические, экономические и экологические перспективы полностью электрических воздушных судов // *Nature Energy*. 2019. Т. 4. С. 160–166. DOI: 10.1038/s41560-018-0294-x.

12. OECD; European Commission; Joint Research Centre. Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide. Paris: OECD Publishing, 2008. 162 p. DOI: 10.1787/9789264043466-en.

References

1. Morrell, P. S., & Klein, T. *Moving Boxes by Air: The Economics of International Air Cargo*. 2nd ed. London; New York: Routledge, 2019. 384 p. ISBN 978-1-138-74549-0.

2. International Air Transport Association. *Resolution on the Industry's Commitment to Reach Net Zero Carbon Emissions by 2050* [Electronic resource]. Boston: IATA, 2021. Available at: <https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/iata-agm-resolution-on-net-zero-carbon-emissions.pdf> (accessed September 25, 2026).

3. International Civil Aviation Organization. *CORSIA: Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation; CORSIA Eligible Fuels* [Electronic resource]. Available at: <https://www.icao.int/CORSIA>; <https://www.icao.int/CORSIA/corsia-eligible-fuels> (accessed September 25, 2026).

4. McKinnon, A., Browne, M., Piecyk, M., & Whiteing, A., eds. *Green Logistics: Improving the Environmental Sustainability of Logistics*. 3rd ed. London: Kogan Page, 2015. 448 p.

5. International Civil Aviation Organization. *ICAO Environmental Report 2022: Innovation for a Green Transition* [Electronic resource]. Montreal: ICAO, 2022. Available at: <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/envrep2022.aspx> (accessed September 25, 2026).

6. Aviation Administration of Kazakhstan. *Action Plan of the Republic of Kazakhstan for the Reduction of CO₂ Emissions from Aviation* [Electronic resource]. Astana, 2024. 48 p. Available at: <https://caa.gov.kz/storage/app/media/department-sus-dev/SAP%20KZ.pdf> (accessed September 25, 2026).

7. Bauen, A., Bitossi, N., German, L., Harris, A., & Leow, K. Sustainable aviation fuels: Status, challenges and prospects of drop-in liquid fuels, hydrogen and electrification in aviation. *Johnson Matthey Technology Review*. 2020. Vol. 64, No. 3. Pp. 263–278. DOI: [10.1595/205651320X15816756012040](https://doi.org/10.1595/205651320X15816756012040).

8. Lee, D. S., Fahey, D. W., Skowron, A., et al. The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. *Atmospheric Environment*. 2021. Vol. 244. Article 117834. DOI: [10.1016/j.atmosenv.2020.117834](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117834).
9. Bureau of National Statistics of the Republic of Kazakhstan. *Transport in the Republic of Kazakhstan: Official Statistics* [Electronic resource]. Available at: <https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-transport> (accessed September 25, 2026).
10. President of the Republic of Kazakhstan. *On Approval of the Strategy for Achieving Carbon Neutrality of the Republic of Kazakhstan by 2060: Decree No. 121 dated February 2, 2023* [Electronic resource]. Available at: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U2300000121> (accessed September 25, 2026). [In Russian].
11. Schäfer, A. W., Barrett, S. R. H., Doyme, K., et al. Technological, economic and environmental prospects of all-electric aircraft. *Nature Energy*. 2019. Vol. 4. Pp. 160–166. DOI: [10.1038/s41560-018-0294-x](https://doi.org/10.1038/s41560-018-0294-x).
12. OECD, European Commission, & Joint Research Centre. *Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide*. Paris: OECD Publishing, 2008. 162 p. DOI: [10.1787/9789264043466-en](https://doi.org/10.1787/9789264043466-en).

ӘУЕ ТАСЫМАЛДАРЫН ҰЙЫМДАСТЫРУДАҒЫ «ЖАСЫЛ» ЛОГИСТИКА ЭКОНОМИКАСЫ

Аңдатпа. Зерттеудің мақсаты – авиациядағы жасыл логистика жобаларының экономикалық, экологиялық және операциялық нәтижелілігін кешенді бағалаудың қайта жаңғыртылатын тәсілін әзірлеу және оның Қазақстан контекстінде қарастырылған иллюстрациялық сценарийде қолданылуын көрсету. Зерттеудің ақпараттық базасын Халықаралық әуе көлігі қауымдастығының (IATA), Халықаралық азаматтық авиация ұйымының (ICAO), Қазақстан Республикасы Ұлттық статистика бюросының және Қазақстанның Авиациялық әкімшілігінің ресми құжаттары, нормативтік құқықтық актілер мен рецензияланатын ғылыми жарияланымдар құрады. Әдістеме таза келтірілген құнды (Net Present Value, NPV) есептеуді, парниктік газдар шығарындыларының өмірлік цикл бойынша қысқаруын бағалауды, операциялық нәтижені өлшеуді, жекелеген көрсеткіштерді нысаналы қалыпқа келтіруді және оларды белгіленген салмақтар бойынша біріктіруді қамтиды. Мониторинг жүргізу үшін тиімділіктің сегіз негізгі көрсеткішінен (Key Performance Indicators, KPI) тұратын жүйе ұсынылды. Олардың ішінен демонстрациялық интегралдық индексте үш жиынтық нәтиже: экономикалық, экологиялық және операциялық нәтижелер пайдаланылады. Шартты әуетасымалдаушыға арналған сценарийлік есептеуде отынның 2%-дық үнемі, тұрақты авиациялық отынның (Sustainable Aviation Fuel, SAF) 5%-дық үлесі және SAF-тың өмірлік циклі бойынша шығарындыларды 65%-ға қысқарту туралы сценарийлік болжам жағдайында шығарындылардың азаюы 5,19%-ды, NPV 3,24 млн АҚШ долларын, ал ұшу-жерүсті циклі орташа ұзақтығының қысқаруы 6,67%-ды құрады. Салмақтар тең болған жағдайда интегралдық индекс 0,740-қа тең болды. Қарастырылған төрт салмақ жүйесінде индекс мәні 0,713–0,778 аралығында өзгерді. NPV-дің SAF бағалық үстемеақысына сезімталдығын талдау өзге параметрлер өзгеріссіз қалған жағдайда залалсыздық шегінің шамамен 483 АҚШ долл./т деңгейінде екенін көрсетті. Зерттеудің ғылыми жаңалығы құрама индикаторлар әдіснамасын жасыл авиациялық логистика жобаларын алдын ала іріктеу міндетіне салалық бейімдеуден тұрады. Зерттеудің шектеуі есептік деректердің корпоративтік емес, сценарийлік сипатымен байланысты; енгізудің нақты тиімділігін бағалау үшін ұсынылған тәсілді нақты авиакомпанияның немесе әуежайдың верификацияланған деректері негізінде кейіннен сынақтан өткізу қажет.

Түйін сөздер: жасыл логистика, авиациялық тасымалдар, экономикалық тиімділік, тұрақты авиациялық отын, SAF, тиімділіктің негізгі көрсеткіштері, KPI, таза келтірілген құн, NPV, парниктік газдар шығарындылары, CORSIA, декарбонизация.

THE ECONOMICS OF «GREEN» LOGISTICS IN THE ORGANIZATION OF AIR TRANSPORTATION

Abstract. This study aims to develop a reproducible approach to the comprehensive assessment of the economic, environmental, and operational performance of green logistics projects in aviation and to demonstrate its application using an illustrative scenario considered in the context of Kazakhstan. The information base comprises official documents of the International Air Transport Association (IATA), the International Civil Aviation Organization (ICAO), the Bureau of National Statistics of the Republic of Kazakhstan, and the Aviation Administration of Kazakhstan, as well as regulatory legal acts and peer-reviewed scientific publications. The methodology includes the calculation of net present value (NPV), the assessment of life-cycle greenhouse gas emission reductions, the measurement of operational performance, the target-based normalization of individual indicators, and their aggregation using predefined weights. A system of eight key performance indicators (KPIs) is proposed for monitoring purposes. Three aggregated outcomes—economic, environmental, and operational—are used to construct the illustrative composite index. In the scenario calculation for a hypothetical air carrier, a 2% reduction in fuel consumption, a 5% share of sustainable aviation fuel (SAF), and an assumed 65% reduction in the life-cycle emissions of SAF resulted in a 5.19% reduction in emissions, an NPV of USD 3.24 million, and a 6.67% reduction in the average flight–ground cycle time. With equal weights, the composite index was 0.740. Across the four weighting schemes considered, the index ranged from 0.713 to 0.778. The sensitivity analysis of NPV to the SAF price premium indicated a break-even threshold of approximately USD 483 per tonne, with all other parameters held constant. The scientific novelty of the study lies in adapting the composite indicator methodology to the preliminary screening of green aviation logistics projects. The study is limited by the scenario-based rather than corporate nature of the input data; therefore, the actual effectiveness of implementation must subsequently be validated using verified data from a specific airline or airport.

Keywords: green logistics, air transportation, economic efficiency, sustainable aviation fuel, SAF, key performance indicators, KPI, net present value, NPV, greenhouse gas emissions, CORSIA, decarbonization.

Сведение об авторах

Калиева Гүлжан Көктеубаевна	К.э.н., ассоциированный профессор кафедры «Организация авиационных перевозок и логистики», Академия гражданской авиации, г. Алматы, Казахстан. E-mail: g.kaliyeva@agakaz.kz
Алтаева Гүлмира Орынбаевна	Доктор PhD, E-mail: Altaeva.Gulmira@mail.ru
Конакбай Зарина Еркінбековна	К.т.н., ассоциированный профессор, заведующий кафедры «Организация авиационных перевозок и логистики», Академия гражданской авиации, г. Алматы, Казахстан., E-mail: z.konakbai@agakaz.kz
Альчымбаева Айгерим Султановна	Магистр, сениор – лектор кафедры «Транспортное строительство», Академия логистики и транспорта, г. Алматы, Казахстан. E-mail: aigerim-kaz@mail.ru

Авторлар туралы мәлімет

Калиева Гүлжан Көктеубайқызы	Экономика ғылымдарының кандидаты, «Әуе тасымалдарын ұйымдастыру және логистика» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Азаматтық авиация академиясы, Алматы қ., Қазақстан, E-mail: g.kaliyeva@agakaz.kz.
---------------------------------	---

Алтаева Гүлмира Орынбайқызы	PhD докторы, E-mail: Altaeva.Gulmira@mail.ru
Қонақбай Зарина Еркінбекқызы	Техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, «Әуе тасымалдарын ұйымдастыру және логистика» кафедрасының меңгерушісі, Азаматтық авиация академиясы, Алматы қ., Қазақстан. E-mail: z.konakbay@agakaz.kz.
Алчимбаева Айгерім Сұлтанқызы	Магистр, «Көлік құрылысы» кафедрасының аға оқытушысы, Логистика және көлік академиясы, Алматы қ., Қазақстан. E-mail: aigerim-kaz@mail.ru.

Information about the authors

Gulzhan Kokteubayevna Kaliyeva	Candidate of Economic Sciences, Associate Professor at the Department of Air Transport Organization and Logistics, Academy of Civil Aviation, Almaty, Kazakhstan, E-mail: g.kaliyeva@agakaz.kz
Gulmira Orynbaykyzy Altayeva	PhD, E-mail: Altaeva.Gulmira@mail.ru
Zarina Yerkinbekovna Konakbai	Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Air Transport Organization and Logistics, Academy of Civil Aviation, Almaty, Kazakhstan, E-mail: z.konakbai@agakaz.kz.
Aigerim Sultanovna Alchimbayeva	Master's Degree holder, Senior Lecturer at the Department of Transport Construction, Academy of Logistics and Transport, Almaty, Kazakhstan, E-mail: aigerim-kaz@mail.ru.