

Шабала Євгенія Євгенівна

Кандидатка технічних наук, доцентка, доцентка кафедри кібербезпеки та комп'ютерної інженерії,
<https://orcid.org/0000-0002-0428-9273>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Корнійчук Борис Валерійович

Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри професійної освіти,
<https://orcid.org/0000-0003-3881-1581>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАЛИВНИХ ВИТРАТ ЛІТАКА ЦИВІЛЬНОЇ АВІАЦІЇ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СИСТЕМ ІоТ

Анотація. Цивільна авіація має важливе значення для України і світової спільноти в цілому. яка забезпечує глобальну мобільність, пов'язуючи людей, культури та економіки. Щорічно мільярди пасажирів і величезні обсяги вантажів перевозяться повітряними суднами, що робить авіацію критично важливим елементом глобальної економіки. Водночас ефективність експлуатації літаків залишається ключовим завданням для авіакомпаній усього світу, адже авіаційне паливо є найбільшою статтею витрат, яка становить близько 30% загального бюджету перевізників. Сучасні задачі включають не лише необхідність зниження витрат пального, а й досягнення екологічної стійкості, адже авіаційна галузь є значним джерелом викидів вуглекислого газу (CO₂). Вирішення цих проблем потребує інноваційних підходів і впровадження новітніх технологій, які уможливають оптимізувати використання палива, покращити експлуатаційні характеристики літаків та мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище. Серед сучасних технологій особливу увагу привертає Інтернет речей (ІоТ), який дає змогу інтегрувати численні сенсори, системи аналізу даних і алгоритми прогнозування для забезпечення безперервного моніторингу й управління різними компонентами літаків. ІоТ-технології пропонують унікальні можливості для вдосконалення паливної системи літака, роблячи її не лише більш ефективною, але й інтелектуальною. Для оптимізації паливних витрат літака пропонується модель ІоТ-системи, яка включає датчики для контролю рівня палива, температури та тиску, контролери для обробки даних і зв'язку з аналітичними платформами, хмарні платформи для аналізу даних за допомогою машинного навчання та комунікаційні протоколи (MQTT, LoRaWAN, 5G) для швидкої передачі інформації. Очікується, що зниження витрат пального на 5% забезпечить значну економію щорічно. Це не лише сприяє підвищенню ефективності експлуатації літаків, а й зменшує екологічне навантаження. Запропонована ІоТ-система вирішує низку важливих завдань, таких як: скорочення витрат палива, раннє виявлення витоків та несправностей, оптимізація планування польотів і технічного обслуговування, мінімізація впливу людського фактора на управління паливними ресурсами. Отже, інтеграція ІоТ-систем в авіацію відповідає глобальним трендам сталого розвитку та цифровізації транспортної галузі.

Ключові слова: ІоТ; паливна система літака; авіація; оптимізація; економія палива

Постановка проблеми

Проблема високих витрат пального є однією з ключових у сучасній авіації, оскільки паливо становить до 30% операційних витрат авіакомпаній. Значні витрати на паливо впливають на економічну ефективність авіаперевезень і створюють значне навантаження на довкілля у вигляді викидів CO₂ та інших шкідливих речовин. Технології альтернативних видів пального (біопаливо, водень) перебувають на стадії розвитку і поки не мають масового застосування. Неоптимізовані маршрути

польотів, тривалі затримки і неефективне технічне обслуговування сприяють перевитратам пального. Впровадження новітніх технологій, оптимізація процесів здатні вирішити проблему ефективного використання пального, що сприятиме зменшенню витрат авіакомпаній і забезпеченню стійкого розвитку авіації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У статті [1] зазначається, що протягом найближчого часу вартість нафти буде залишатися на

доволі високому рівні. Нині деякі авіакомпанії підвищують вартість паливних зборів під час продажу квитків, щоб компенсувати втрати від швидкого зростання цін на паливо. Враховуючи загальну динаміку розвитку галузі нафтопереробки, частина імпортованого готового палива для польотів постійно зростає, а от власне виробництво падає. Це залежить від різних політичних і економічних факторів у країнах. Питання паливної ефективності розглядали П. К. Козанджан, В. П. Алексєєв, А. Н. Говоров. Вони розглядали цю проблему з точки зору покращення експлуатаційних процедур.

У вищезазначених дослідженнях розглядалися економічні, експлуатаційні та технологічні заходи щодо ефективного використання авіапалива [2]. Економічний аспект розвитку цивільної авіації наведено в роботі [3], де зазначено важливість адаптувати наявні моделі управління до нових викликів, що постають перед авіаційною галуззю.

Мета статті

Метою розгляду проблеми витрат пального в авіації є розроблення ефективних підходів і технологій для зменшення споживання авіаційного пального, що сприятиме підвищенню економічної ефективності авіаперевезень, зниженню впливу авіації на довкілля та забезпеченню стійкого розвитку галузі. Це уможливить здійснити економічну оптимізацію перельотів, тобто зниження витрат авіакомпаній на пальне шляхом впровадження сучасних технологій і процесів та забезпечення доступності авіаперевезень для широкого кола споживачів через зменшення собівартості послуг. Для вирішення цих завдань пропонується інтеграція інновацій, таких як IoT-системи для моніторингу й аналізу витрат пального.

Виклад основного матеріалу

На сьогодні авіація є невід'ємною частиною інфраструктури багатьох країн. Щорічно авіакомпанії перевозять мільярди пасажирів, а авіаційні перевезення залишаються найбільш швидким і безпечним видом транспорту.

Цивільна авіація – це сфера, яка забезпечує перевезення пасажирів, вантажів і пошти повітряним транспортом, відіграючи важливу роль у світовій економіці та налагодженні зв'язків між регіонами. Вона охоплює різноманітні напрямки, зокрема регулярні та чартерні рейси, ділову авіацію і спеціалізовані послуги, такі як рятувальні операції чи обслуговування віддалених територій. Завдяки цивільній авіації світ став більш доступним, що сприяє зростанню туризму, міжнародної торгівлі та культурного обміну.

Літак цивільної авіації складається з кількох основних компонентів, кожен з яких виконує важливу функцію для забезпечення польоту, перевезення пасажирів і вантажів.

Літак зазвичай складається з ключових частин, таких як крила, фюзеляж, хвостове оперення, поверхні управління, шасі та силова установка. Його конструкція включає набір елементів, основною функцією яких є передавання і витримання прикладених навантажень, забезпечення аеродинамічної форми та захист пасажирів, вантажу, систем і обладнання від впливу зовнішнього середовища під час польоту.

Одна з ключових систем, яка забезпечує подачу палива від баків до двигунів у необхідній кількості та під потрібним тиском, є паливна система літака. Ефективність роботи паливної системи є критично важливою для забезпечення безпеки польоту, оптимальної витрати палива та досягнення необхідних льотних характеристик.

Зазвичай використовуваним паливом є бензин з високим октановим індексом для поршневих літаків та деякий тип гасу для реактивних літаків.

Незважаючи на те, що паливні системи сильно відрізняються залежно від типу палива та типу місії, можна виокремити такі потреби: заправка та знепалювання; зберігання; тиск палива; передача палива; подача двигуна тощо. Отже, система принципово складається з таких елементів, як-от:

- цистерни;
- паливні гідранти;
- живильні помпи;
- труби і провідники;
- клапани і фільтри;
- датчики, індикатори й елементи управління.

На рис. 1 представлено схематичне зображення паливної системи Boeing 737-300.

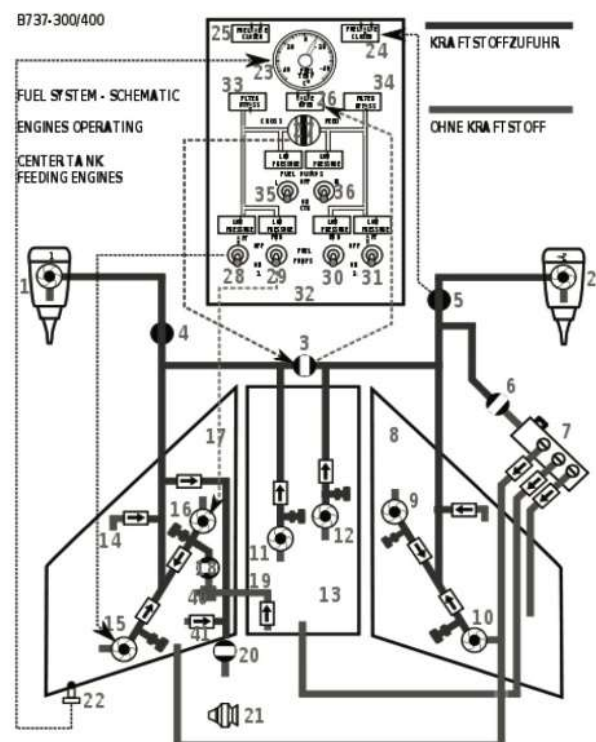


Рисунок 1 – Схематичне зображення паливної системи Boeing 737-300

Розшифрування позначень схеми рис. 1:

1 – паливна помпа з двигуном – лівий двигун; 2 – паливна помпа з приводом від двигуна – правий двигун; 3 – поперечний клапан подачі; 4 – лівий клапан відсікання палива двигуна; 5 – правий клапан відсікання палива двигуна; 6 – ручний клапан дозаправки; 7 – заправна станція; 8 – бак № 2 (праворуч); 9 – передня паливна помпа (бак № 2); 10 – кормова паливна помпа (бак № 2); 11 – ліва паливна помпа (центральный бак); 12 – права паливна помпа (центральный бак); 13 – центральный бак; 14 – перепускний клапан; 15 – кормова паливна помпа (бак № 1); 16 – передня паливна помпа (бак № 1); 17 – бак № 1 (лівий); 18 – клапан відсікання палива; 19 – зворотний клапан; 20 – АРУ паливний запірний клапан; 21 – АРУ; 22 – датчик температури палива; 23 – 36 – індикатори.

Баки використовуються для зберігання палива. Можна виокремити три основних типи: незалежні резервуари; інтегровані резервуари; змінні баки. Незалежні танки (концепція схожа на автомобільні танки) на сьогодні застаріли, просто наявні в регіональних літаках. Найбільш поширеними в комерційній авіації є інтегровані танки, це означає, що танк також є частиною структури (як правило) крила. Інтегральні резервуари пофарбовані всередині антикорозійною речовиною і герметизують всі штуцери та отвори. Змінні танки – це ті, що встановлюються для визначених місій [4].

Паливна система літака централізує процеси заправки та спорожнення через єдину точку – паливний гідрант. Паливо подається в резервуари літака за допомогою живильних pomp, які перекачують його через трубопроводи, що утворюють розгалужену розподільну мережу. Система передбачає два основних типи pomp: помпи для перекачування палива, які забезпечують переміщення палива між баками літака, та бустерні помпи (помпи подачі до двигуна), що підвищують тиск у системі та забезпечують безперебійну подачу палива до двигунів, запобігаючи ризику перебоїв у потоці.

Система включає клапани, фільтри, датчики, індикатори та елементи управління. Клапани виконують різні функції, зокрема можуть бути перекидними, зворотними (для збереження правильного напрямку потоку) або вентиляційними (для видалення повітря під час заправки). Фільтри очищують паливо від домішок, забезпечуючи надійну роботу системи.

Проблема економії палива приводить до модернізації конструкцій авіаційних двигунів та літаків. Біля 30% коштів авіакомпаній витрачається на авіаційне паливо. Економічна ефективність літака полягає у досягненні максимальної дальності польоту при обмеженому запасі палива на борту [5].

Для моніторингу стану палива використовуються датчики, які вимірюють кількість, властивості, рівень та інші параметри палива. Дані від датчиків відображаються на індикаторах: деякі доступні пілотам для негайного контролю, інші аналізуються автоматизованим блоком управління. Як пілот, так і автоматична система можуть вносити корективи в роботу паливної системи для забезпечення її оптимальної продуктивності.

Інтеграція технологій Інтернету речей у паливну систему літаків допомагає вирішувати велику кількість завдань шляхом забезпечення безперервного моніторингу, аналізу й оптимізації споживання палива в реальному часі. Технологія Інтернет-речей (англ. Internet of Things (IoT)) – це мережева система, заснована на мережі Інтернет та традиційних телекомунікаційних мережах, яка об'єднує різне обладнання для зчитування інформації. Така технологія дає змогу реалізувати взаємозв'язок людей, машин і речей в будь-який час і в будь-якому місці [6]. Більше того, значення інтернету речей і інтелектуального транспорту в розумних містах ретельно розглядається і впроваджується останні роки [7].

IoT забезпечує:

- моніторинг рівня палива, тиску та температури;
- виявлення витоків та несправностей у режимі реального часу;
- зв'язок із наземними службами для планування дозаправок;
- оптимізацію витрат палива через інтеграцію із системами управління польотом.

Оптимізація паливного комплексу літака із застосуванням систем IoT передбачає впровадження інтегрованої інфраструктури, яка забезпечує моніторинг, аналіз та управління витратами палива у реальному часі.

На моделі IoT-системи для оптимізації паливного комплексу літака представлено принцип поєднання паливної системи літака та IoT-системи, яка функціонує таким чином: датчики вимірюють рівень палива, витрати, температуру, тиск, а також фіксують координати та параметри польоту за допомогою GPS. Зібрані дані передаються до контролерів через локальну мережу літака. Контролери агрегують інформацію з усіх датчиків, перевіряють її на коректність (виявляють аномальні значення) та готують до передачі в аналітичний центр.

Контролери виступають вузлом передачі даних, забезпечуючи зв'язок між датчиками та зовнішніми аналітичними системами. Інформація передається через зашифровані канали комунікаційної мережі, використовуючи протоколи MQTT, LoRaWAN або 5G.



Рисунок 2 – Модель IoT-системи для оптимізації паливного комплексу літака

У таблиці представлено основні компоненти моделі IoT-системи.

Таблиця – Основні компоненти моделі IoT-системи

Назва компонента	Призначення
Датчики та пристрої збору даних	
Датчики рівня палива	вимірюють поточний обсяг у резервуарах.
Температурні датчики	відстежують зміну температури палива для запобігання його спалахам чи замерзанню.
Датчики тиску	контролюють стан у паливних магістралях.
Витратоміри	фіксують обсяги споживання палива двигунами.
GPS-модулі	забезпечують локалізацію та збір даних про погодні умови та польотний профіль.
Контролери	Попередня обробка даних. Забезпечення взаємодії із зовнішніми системами через комунікаційні протоколи (MQTT, CoAP).
Комунікаційна мережа	
Протоколи зв'язку	MQTT, LoRaWAN, 5G забезпечують передачу даних у реальному часі з низькою затримкою.
Захищені канали	TLS/SSL для захисту даних від несанкціонованого доступу.
Аналітичний центр	
Хмарна платформа IoT	зберігає, обробляє та аналізує дані.
Алгоритми машинного навчання (ML)	прогнозують витрати палива залежно від маршруту, погоди, ваги літака та інших параметрів.
Система раннього виявлення проблем	інформує про витoki палива, аномальні витрати або несправності в системі.
Інтерфейс користувача	
Кабіна пілота	панель моніторингу з інформацією про рівень палива, прогнозовані витрати та рекомендації.
Наземні служби	доступ до хмарної платформи для аналізу ефективності польотів і планування технічного обслуговування.

Контролери також можуть виконувати локальну обробку даних у разі втрати зв'язку із хмарною платформою.

Комунікаційна мережа забезпечує безперебійне передавання даних з літака до хмарної платформи для їхнього подальшого аналізу. Дані передаються у режимі реального часу із мінімальною затримкою. Використовуються захищені протоколи TLS/SSL для запобігання витоку або підробці інформації.

Хмарна платформа опрацьовує отримані дані, виконує аналітику, прогнозування та моделювання. Застосовуються алгоритми машинного навчання для визначення оптимального споживання палива з урахуванням погодних умов, профілю польоту, ваги літака та інших параметрів. Результати аналізу передаються назад до літака і наземних служб.

Хмарна платформа IoT взаємодіє з інтерфейсами користувача, а саме: дані відображаються в кабіні пілота на панелі моніторингу у вигляді прогнозів витрат палива, рекомендацій щодо маршруту або швидкості.

Наземні служби отримують доступ до аналітичних звітів через вебінтерфейси або спеціалізоване програмне забезпечення.

Інтерфейси користувача взаємодіють з пілотами та наземними службами, хмарною платформою IoT, пілоти та інженери можуть надсилати команди для налаштування роботи системи або запитувати додаткову аналітику. Також пілоти можуть вручну змінювати параметри маршруту або швидкості, які враховуються хмарною платформою для подальшого аналізу.

Наземні служби можуть оновлювати алгоритми аналізу або передавати команди на оновлення прошивки контролерів і датчиків.

Система забезпечує постійний обмін інформацією між усіма компонентами, що уможливає коригувати роботу та підвищувати ефективність. У разі виявлення несправностей, витоків чи аномальних витрат система автоматично інформує пілотів і наземні служби. Дані про інциденти аналізуються для вдосконалення аналітичних алгоритмів і запобігання подібним ситуаціям у майбутньому.

Ця інтегрована модель дає змогу досягти максимальної ефективності і безпеки при експлуатації літака, знижуючи вплив людського фактора і забезпечуючи точну та своєчасну оптимізацію витрат палива завдяки зменшенню витрат палива, завдяки прогнозуванню і своєчасній оптимізації процесів, ранньому виявленню витоків або несправностей, повній видимості стану паливної системи для всіх зацікавлених сторін та завдяки швидкій адаптації до змін у польотному середовищі.

Для оцінювання економічної доцільності впровадження IoT-системи в паливну систему літака

необхідно врахувати витрати на її встановлення, обслуговування та очікуваний економічний ефект від використання. Основними чинниками є скорочення витрат на пальне, оптимізація технічного обслуговування, запобігання аварійним ситуаціям і підвищення загальної ефективності експлуатації. В авіаційній галузі як паливо використовується авіаційний гас. Авіаційний гас є основним паливом для польотів реактивних лайнерів. Найпоширенішими на території України є три основні марки цього авіапалива: TC-1, PT і, з недавнього часу, JetA-1. Перші два активно використовуються в Україні. JetA-1 – європейське пальне, тільки нещодавно з'явилося в Україні в зв'язку з відмінностями норм на окремі показники якості [8].

Для прикладу було взято літак Boeing 737-800.

Середня витрата пального: 2,500 кг/год (залежить від типу двигунів, швидкості та ваги).

Середня тривалість польоту: 4 год.

Щільність авіаційного гасу (Jet A-1): 0.8 кг/л.

Вартість пального: \$2 (USD) за літр.

Річний наліт літака: 3000 годин (типовий показник для цивільної авіації).

Очікуване зниження витрат пального завдяки IoT (E): 5%

Розрахунок витрат пального за один рейс:

Витрата пального за рейс (кг):

$$2500 \text{ кг} / \text{год} \times 4 \text{ год} = 10000 \text{ кг} \quad (1)$$

Обсяг пального (літри):

$$\frac{10000 \text{ кг}}{0.8 \text{ кг} / \text{л}} = 12500 \text{ л} \quad (2)$$

Вартість пального за рейс:

$$12500 \text{ л} \times 2 \text{ USD} / \text{л} = 25000 \text{ USD} \quad (3)$$

Розрахунок річних витрат пального

Річна витрата пального (кг):

$$2500 \text{ кг} / \text{год} \times 3000 \text{ год} = 7500000 \text{ кг} \quad (4)$$

Обсяг пального за рік (літри):

$$\frac{7500000 \text{ кг}}{0.8 \text{ кг} / \text{л}} = 9375000 \text{ л} \quad (5)$$

Річна вартість пального:

$$9375000 \text{ л} \times 2 \text{ USD} / \text{л} = 18750000 \text{ USD} \quad (6)$$

Економія завдяки зниженню витрат пального (S):

$$S = 18750000 \text{ USD} \times 0.05 = 937500 \text{ USD} \quad (7)$$

Впровадження хмарної платформи IoT для оптимізації витрат пального літака є ефективним рішенням для зниження експлуатаційних витрат і підвищення екологічної ефективності авіації. Така платформа забезпечує збирання, аналіз і зберігання даних із численних сенсорів у реальному часі, а також надає інструменти для управління витратами

пального. Впровадження IoT-системи для оптимізації витрат пального літака вирішить не тільки завдання зниження витрат пального, підвищення безпеки, автоматизації процесів, а й скорочення викидів CO₂ за рахунок зменшення споживання пального, яке позитивно вплине на екологічність польотів.

Компанії, такі як GE Aviation (Predix), Honeywell Forge і IBM Watson IoT, уже впроваджують подібні рішення для авіаційного сектору. Вони уможливають авіаперевізникам знизити операційні витрати й підвищити ефективність обслуговування.

Отже, розвиток сучасних технологій спрямований на вирішення таких проблем, як розроблення більш ефективних та екологічно чистих літаків, покращення систем управління та безпеки, пошук способів зниження витрат на паливо та обслуговування [8].

Висновки

Оптимізація витрат пального в цивільній авіації із застосуванням IoT-систем демонструє високу

ефективність у вирішенні основних завдань сучасної авіаційної галузі. Впровадження таких технологій допомагає суттєво зменшити витрати пального, підвищити екологічну стійкість польотів та забезпечити надійну експлуатацію літаків завдяки інноваційним методам моніторингу, управління та аналізу паливних ресурсів. Інтеграція IoT-технологій у паливну систему літака відкриває нові перспективи для контролю рівня палива, виявлення витоків, оптимізації споживання й оперативного реагування на несправності. Завдяки взаємодії сенсорів, контролерів, аналітичних платформ та захищених каналів зв'язку забезпечується безперервний обмін даними між компонентами системи, що дає змогу своєчасно коригувати її роботу для досягнення максимальної продуктивності.

Окрім цього, зменшення викидів CO₂ сприяє екологізації польотів, що відповідає сучасним трендам сталого розвитку. IoT-технології також уможливають автоматизувати процеси, мінімізувати ризики помилок, пов'язаних із людським фактором, та забезпечують ефективне планування технічного обслуговування.

Список літератури

1. Вовк О. О., Яковлева А. В., Овчаренко Т. Л. Сучасний стан забезпеченості авіаційної галузі України паливами для повітряних суден. *Наукоємні технології*. 2013. № 3. С. 258 – 262. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nt_2013_3_4.
2. Олешко Т., Марусич О. Пошук альтернативних шляхів забезпечення економічної стабільності авіакомпаній. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Економіка*. 2014. Вип. 4. С. 70 – 75. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKNU_Ekon_2014_4_16/.
3. Коваленко, Н., & Горностаєв, О. (2024). Економічні аспекти розвитку цивільної авіації в умовах післявоєнної відбудови: виклики та перспективи. *Економіка та суспільство*, (67). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-67-66>.
4. Manuel Soler Arnedo. Universidad Carlos III de Madrid Основи аерокосмічної техніки (Arnedo). Паливна система. [https://ukrayinska.libretexts.org/Інженерна/Аерокосмічна_інженерія/Основи_аерокосмічної_техніки_\(Arnedo\)/05%3A_Літальні_прилади_та_системи/5.02%3A_Системи_літальних_апаратів/5.2.02%3A_Паливна_система](https://ukrayinska.libretexts.org/Інженерна/Аерокосмічна_інженерія/Основи_аерокосмічної_техніки_(Arnedo)/05%3A_Літальні_прилади_та_системи/5.02%3A_Системи_літальних_апаратів/5.2.02%3A_Паливна_система).
5. Єршов А. В., Зеленіна О. А., Гелетей І. А., Марченко А. А. Вплив оптимальної зміни висоти польоту на економію палива та збільшення максимальної дальності польоту літака. *Вісник двигунобудування*. 2019. № 1. С. 6 – 12.
6. Гончаренко Т. А. Сучасні інформаційні технології для моделювання міського середовища та розробки цифрових двійників міських об'єктів. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2022. № 51. С. 87 – 93, [dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2022.51.87-93](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2022.51.87-93).
7. Мазуренко Р. В., Єременко Б. М. Інтелектуальна система керування трафіком великого міста: концепт онтології «моделі рішень». *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2024. № 57. С. 174 – 180, [dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2024.57.174-180](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.57.174-180).
8. Лихова С. Я., Біленчук П. Д., Обіход Т. В. Авіаційна і космічна галузь України: технологічні і правові перспективи розвитку. *Юридичний вісник*. 2023. №3 (68). С. 25 – 35, [dx.doi.org/10.18372/2307-9061.68.17970/](https://doi.org/10.18372/2307-9061.68.17970/)

Стаття надійшла до редколегії 21.01.2025

Yevheniia Shabala

Ph.D., associate professor, associate professor of Department of cyber security and Computer Engineering,
<https://orcid.org/0000-0002-0428-9273>

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Borys Korniiichuk

Ph.D., associate professor, associate professor of Department of Vocation education,
<https://orcid.org/0000-0003-3881-1581>

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

OPTIMIZATION OF FUEL CONSUMPTION OF CIVIL AVIATION AIRCRAFT USING IOT SYSTEMS

Abstract. Civil aviation is of great importance to Ukraine and the global community as a whole. Which provides global mobility, connecting people, cultures and economies. Every year billions of passengers and huge volumes of cargo are transported by aircraft, which makes aviation a critically important element of the global economy. At the same time, the efficiency of aircraft operation remains a key task for airlines around the world, because aviation fuel is the largest expense item, occupying about 30% of the total budget of carriers. Today's challenges include not only the need to reduce fuel costs, but also achieving environmental sustainability, as the aviation industry is a significant source of carbon dioxide (CO₂) emissions. Solving these problems requires innovative approaches and the introduction of new technologies that optimize fuel use, improve aircraft performance, and minimize negative environmental impacts. Among modern technologies, the Internet of Things (IoT) attracts special attention, which allows the integration of numerous sensors, data analysis systems and predictive algorithms to ensure continuous monitoring and control of various aircraft components. IoT technologies offer unique opportunities for improving the aircraft fuel system, making it not only more efficient, but also intelligent. To optimize aircraft fuel consumption, an IoT system model is proposed, which includes sensors for monitoring fuel level, temperature, and pressure, controllers for data processing and communication with analytical platforms, cloud platforms for data analysis using machine learning, and communication protocols (MQTT, LoRaWAN, 5G) for rapid information transmission. It is expected that a 5% reduction in fuel consumption will provide significant savings annually. This not only contributes to increasing the efficiency of aircraft operation, but also reduces the environmental burden. The proposed IoT system solves a number of important tasks, such as: reducing fuel consumption, early detection of leaks and malfunctions, optimizing flight planning and maintenance, minimizing the impact of the human factor on fuel resource management. Therefore, the integration of IoT systems into aviation corresponds to global trends in sustainable development and digitalization of the transport industry.

Keywords: IoT; aircraft fuel system; aviation; optimization; fuel economy

References

1. Vovk, O., Yakovleva, A., Ovcharenko, T. (2013). Current state of supply of aviation industry of Ukraine with fuels for aircraft. *Scientific Technologies*. Vol.3, pp. 258-262. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nt_2013_3_4.
2. Oleshko, T., Marusych, O. (2014). Search for alternative ways to ensure the economic stability of airlines. *Bulletin of the Taras Shevchenko National University of Kyiv. Economics*, Issue 4, 70–75. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKNU_Ekon_2014_4_16
3. Kovalenko, N., Gornostaev, O. (2024). Economic aspects of the development of civil aviation in the conditions of post-war reconstruction: challenges and prospects. *Economy and Society*. Vol. 67, 6 p.
4. Manuel Soler Arnedo (2022). Universidad Carlos III de Madrid Fundamentals of Aerospace Engineering (Arnedo). Fuel System. URL: [https://ukrayinska.libretexts.org/Engineering/Aerospace_Engineering/Fundamentals_of_Aerospace_Engineering_\(Arnedo\)/05%3A_A_Flight_Instruments_and_Systems/5.02%3A_Flight_Systems/5.2.02%3A_Fuel_System](https://ukrayinska.libretexts.org/Engineering/Aerospace_Engineering/Fundamentals_of_Aerospace_Engineering_(Arnedo)/05%3A_A_Flight_Instruments_and_Systems/5.02%3A_Flight_Systems/5.2.02%3A_Fuel_System).
5. Yershov, A., Zelenina, O., Geletey, I., Marchenko, A. (2019). The influence of the optimal change in flight altitude on fuel economy and increasing the maximum flight range of an aircraft. *Visnyk dvigunobuduvannya*. Vol.1, 6–12.
6. Honcharenko, T. (2022). Modern information technologies for simulation of the urban environment and creation of digital duplicate of city objects. *Management of Development of Complex Systems*, 51, 87–93, [dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2022.51.87-93](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2022.51.87-93).
7. Mazurenko, R. & Yeremenko, B. (2024). Intelligent traffic management system of a big city: ontology concept “decision models”. *Management of Development of Complex Systems*, 57, 174–180, [dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2024.57.174-180](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.57.174-180).
8. Lykhova, S., Bilenchuk, P., Obikhod, T. (2023). Aviation and space industry of Ukraine: technological and legal prospects for development. *Legal Bulletin*. 3 (68), 25–35, [dx.doi.org\10.18372/2307-9061.68.17970](https://doi.org/10.18372/2307-9061.68.17970).

Посилання на публікацію

- APA Shabala, Ye., & Korniiichuk, B. (2025). Optimization of fuel consumption of civil aviation aircraft using IoT systems. *Management of Development of Complex Systems*, 61, 219–225, [dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2025.61.219-225](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2025.61.219-225).
- ДСТУ Шабала Є. Є., Корнійчук Б. В. Оптимізація паливних витрат літака цивільної авіації із застосуванням систем ІоТ. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2025. № 61. С. 219 – 225, [dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2025.61.219-225](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2025.61.219-225).