

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна наукова праця
На правах рукопису

СОЛДАТЕНКО ІГОР ОЛЕГОВИЧ

УДК 629.7.083:621.86

ДИСЕРТАЦІЯ
РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО БЛОЧНО-
МОДУЛЬНОГО МАШИННОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ НАЗЕМНОГО
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЛЬОТІВ АВІАЦІЇ

Спеціальність: 274 – «Автомобільний транспорт»

Галузь знань – 27 «Транспорт»

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії
Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ І.О. Солдатенко

Науковий керівник: Абрамов Дмитрій Володимирович, доктор технічних наук,
професор; Калініченко Олександр Петрович, кандидат технічних наук, доцент

Харків – 2026

АНОТАЦІЯ

Солдатенко І.О. Розробка та дослідження високоефективного блочно-модульного машинного комплексу для наземного забезпечення польотів авіації. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт». – Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, 2026р.

Підвищення ефективності процесів наземного (аеродромно-технічного) забезпечення (далі – АТЗ) польотів повітряних суден (далі – ПС) державної авіації (далі – ДА) є важливим науково-практичним і технічним завданням, вирішення якого на основі принципів модульності та інтелектуального управління логістичними потоками дозволяє забезпечити підвищення мобільності та боєздатності авіаційних підрозділів ДА, у тому числі безпосередньо в умовах воєнного стану. В умовах воєнного стану у зв'язку зі зростанням інтенсивності експлуатації ПС ДА особливого значення набуває удосконалення організації процесів наземного (АТЗ) забезпечення польотів ПС ДА з використанням спеціальних транспортних засобів на аеродромах ДА, раціональне використання рухомого складу, зниження енергетичних витрат і мінімізація потреби в обслуговуючому персоналі. Існуюча система перевезень в межах аеродрому ДА характеризується низьким коефіцієнтом використання вантажопідйомності та пробігу, дублюванням транспортної роботи та підвищеною питомою енергоємністю транспортних процесів, що не відповідає принципам енергоефективності та адаптивності, які закладені в основу сучасних тенденцій розвитку автомобільного транспорту.

Необхідність удосконалення системи наземного транспортного забезпечення узгоджується з положеннями Закон України «Про національну безпеку України» та Указ Президента України №121/2021 «Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 25 березня 2021 р. «Про Стратегію воєнної безпеки України»», які передбачають розвиток мобільності та технологічного оновлення сектору безпеки і оборони. Завдання впровадження

інноваційних технічних рішень у сфері авіаційної інфраструктури закріплено у Постанові Кабінету Міністрів України №951 від 2021 р. «Про затвердження Державної цільової науково-технічної програми розвитку авіаційної промисловості на 2021–2030 роки», що створює нормативні передумови для високотехнологічного розвитку транспортних систем, в тому числі засобів аеродромно-технічного обслуговування (далі ЗАТО) ПС ДА.

Актуальним є дослідження процесів формування транспортних потоків на обмеженій території аеродрому ДА, оптимізація структури парку спеціальних транспортних засобів (ЗАТО ПС ДА) та зниження питомих витрат енергії на одиницю виконаної транспортної роботи. Перехід до блочно-модульної технології, за якої один тягач транспортує декілька функціональних модулів змінного призначення, дозволяє розглядати систему наземного (АТЗ) забезпечення польотів ПС ДА як багатоланкову транспортну систему змінної конфігурації, а також впровадження електричного привода ведучих коліс, поворотних мостів і платформ, безпілотних енергомодулів відповідає сучасним вимогам до адаптивності, енергоефективності та маневреності спеціальних транспортних засобів (ЗАТО ПС ДА).

Таким чином, розробка та дослідження високоефективного блочно-модульного машинного комплексу для наземного (АТЗ) забезпечення польотів ПС ДА є актуальним науково-прикладним завданням, оскільки спрямована на вдосконалення методів організації транспортних процесів, підвищення ефективності використання рухомого складу та зниження енергетичних витрат у спеціальних умовах експлуатації.

Дисертаційну роботу було виконано у межах індивідуального плану роботи аспіранта, робота виконувалася:

– відповідно до рішення Ради національної безпеки і оборони України від 25 березня 2021 р. Про Стратегію воєнної безпеки України, введеного в дію Указом Президента України від 25 березня 2021 р. № 121/2021;

- Державної цільової науково-технічної програми розвитку авіаційної промисловості на 2021–2030 роки, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України №951 від 1 вересня 2021 р.;

- Дорожньою картою розвитку авіаційних спроможностей України відповідно до стандартів НАТО, розробленою і представленою Міністерством оборони України 3 серпня 2025 р.;

- «Транспортної стратегії України на період до 2020 року», схваленої розпорядження кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2010 р. № 2174-р.;

- Постанови Національної Ради з питань безпеки життєдіяльності населення № 3 від 25 грудня 1997 р. «Про відповідність вимог охорони праці машин, транспортних засобів, устаткування, які виготовляються в Україні»;

- згідно з планом виконання науково-дослідної та дослідно-конструкторської роботи за замовленням Національної академії Національної гвардії України державний реєстраційний № 0125U003321 від 12 вересня 2025 р. «Обґрунтування раціонального складу сил і засобів ремонтно-відновлювального органу при відновленні озброєння, військової та спеціальної техніки»;

- згідно з планом виконання науково-дослідної роботи за державним замовленням державний реєстраційний № 0126U002107 від 23 лютого 2026 р. «Удосконалення системи керування поворотом безпілотних вантажівок з поворотними візками, що мають електропривід коліс».

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є підвищення ефективності машинного комплексу для наземного аеродромно-технічного забезпечення польотів повітряних суден державної авіації шляхом використання модульного принципу побудови, за рахунок використання електричного приводу ведучих коліс та інтелектуального управління логістичними потоками.

Для досягнення поставленої мети, необхідно виконати наступні завдання:

- провести теоретичні дослідження визначення раціонального розподілу ресурсу спеціального автомобільного транспорту – засобів аеродромно-

технічного обслуговування для підготовки повітряних суден на аеродромах державної авіації;

- провести теоретичне дослідження можливості використання енергетичних модулів з електричними двигунами;
- провести експериментальні дослідження динамічних характеристик безпілотного енергомодуля з електричним приводом ведучих коліс.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у теоретичному обґрунтуванні та розробці нового методичного підходу до організації та проведення заходів наземного (аеродромно-технічного) забезпечення польотів повітряних суден державної авіації на основі принципів модульності та інтелектуального управління логістичними потоками.

При цьому *вперше* запропоновано та науково обґрунтовано концепцію переходу від традиційної детермінованої схеми обслуговування «одне повітряне судно – один автомобіль» до гнучкої технології використання багатоланкових модульних засобів аеродромно-технічного обслуговування. Це дозволило формалізувати процес транспортування засобів аеродромно-технічного обслуговування як систему змінного складу, де один тягач забезпечує одночасну доставку до чотирьох функціональних модулів, що суттєво змінює топологію логістичних маршрутів на території аеродрому державної авіації.

Удосконалено метод розрахунку процесу доставки технологічних матеріалів та інших матеріальних (матеріально-технічних) засобів, що на відміну від існуючих підходів, враховує в єдиному розрахунковому циклі техніко-експлуатаційні параметри рухомого складу, обсяги партій відправки та стохастичні чинники зовнішнього середовища.

Отримало подальший розвиток застосування методів лінійного програмування для розв'язання задач раціонального розподілу обмеженого ресурсу спеціального автомобільного транспорту на аеродромі державної авіації. Встановлено раніше не враховану технологічну значущість показника кількості модулів у блоці. Доведено, що цей параметр є ключовим

детермінантом мінімізації потреби у наземних авіаційних спеціалістах (технічному персоналі), навіть за умови його низької чутливості до прямих енергетичних витрат тягача. Отримала подальший розвиток теорія проектування модульних засобів аеродромно-технічного обслуговування повітряних суден державної авіації в напрямку використання електричного приводу ведучих коліс. Отримано взаємозв'язок між використанням електроприводу ведучих коліс і зменшенням непродуктивних втрат енергії на рух машин. Отримала подальший розвиток теорія повороту двовісних платформ в напрямку використання на двохланкових модульних засобах наземного забезпечення польотів повітряних суден державної авіації.

Практичне значення отриманих результатів полягає у створенні дієвого інструментарію для підвищення оперативної ефективності та боєздатності авіаційних підрозділів державної авіації за рахунок оптимізації наземних логістичних процесів.

Розроблено та програмно реалізовано алгоритм визначення оптимальної кількості спеціальних транспортних засобів у середовищі табличного процесора, що дозволяє службам та підрозділам аеродромно-технічного забезпечення польотів повітряних суден державної авіації здійснювати оперативне планування виробничого процесу в режимі реального часу, враховуючи конкретний тип повітряних суден та умови обстановки.

Впровадження запропонованої блочно-модульної технології на прикладі авіаційної ескадрильї забезпечує значний системний ефект – пряма економічна вигода від скорочення паливних витрат та пробігу становить 2048,15 грн за один цикл заправки. При цьому досягається радикальна оптимізація людського ресурсу – потреба у наземних авіаційних спеціалістах (водіях засобів аеродромно-технічного обслуговування) зменшується на 75 % (з 21 до 5 осіб), що дозволяє ефективно розподіляти кадровий потенціал під час ведення бойових дій та у складних умовах експлуатації.

Результати дослідження забезпечують скорочення загального часу підготовки ескадрильї повітряних суден державної авіації на 3,97 години на

добу, що безпосередньо трансформується у підвищення мобільності у підготовці повітряних суден до вильоту та можливість швидкого реагування на динамічні зміни бойової обстановки. Запропоновані рішення щодо використання універсальних енергоблоків (тракторів) дозволяють оновити парк спеціальних транспортних засобів наземного забезпечення польотів повітряних суден державної авіації з меншими капітальними вкладеннями порівняно з придбанням одиничних спеціальних автомобілів на застарілих базових шасі.

Основні положення дисертаційної роботи прийняті до впровадження на наступних підприємствах та в організаціях: Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті, Харківському національному університеті Повітряних Сил імені Івана Кожедуба.

Особистий внесок здобувача. Наукові результати досліджень, що винесені на захист, отримані автором самостійно. У спільних з іншими авторами роботах дисертантом використане наступне: у роботі [1] виконане дослідження транспортно-логістичного забезпечення ПС ДА на аеродромах ДА у контексті зв'язків між компонентами процесу, запропонована система, що оснащена багатоланковими модульними ЗАТО ПС ДА, які є найбільш економічно доцільними; у роботі [2] запропоновано алгоритм визначення оптимальної кількості спеціальних транспортних засобів (ЗАТО ПС ДА), в якому враховані умови підготовки ПС ДА, вплив зовнішніх природних умов та зміна нормативних значень визначених ресурсів; у роботі [3] запропоновано методику побудови транспортно-технологічних схем доставки матеріальних (матеріально-технічних) засобів забезпечення для обслуговування ПС ДА; в роботах [4-6] проведено аналіз проблем, наявних в системі наземного (АТЗ) забезпечення польотів ПС ДА, для подальшої постановки завдань дисертаційного дослідження; в роботі [7] запропоновано методику оцінки та розрахунків обґрунтування доцільності переходу до електроприводів ведучих коліс енергомодулів у складі блочно-модульних транспортно-технологічних систем з підвищеною енергоефективністю для наземного (АТЗ) забезпечення польотів ПС ДА; в роботі [8] розроблено схеми енерготехнологічних агрегатів,

що забезпечують підвищення маневреності блочно-модульних ЗАТО ПС ДА та проведено порівняльний аналіз сил і моментів опору повороту при схемі з поворотними колесами та схемі з поворотними мостами; в патенті [9] обґрунтовано доцільність конструкції автотранспортного засобу з можливістю швидкої зміни довжини колісної бази для потреб Збройних Сил України (далі – ЗСУ); в роботах [10-12] проаналізовано доцільність та запропоновано використання електричного або електромеханічного приводу ведучих коліс ЗАТО ПС ДА з метою підвищення їх енергоефективності за рахунок зменшення коливань крутного моменту в порівнянні з приводом від двигуна внутрішнього згоряння; в роботах [13-15] розроблена та апробована методика проведення експериментального дослідження динамічних характеристик безпілотного колісного візка, який може бути складовою комплексу блочно-модульних ЗАТО ПС ДА.

Ключові слова: авіація, автомобіль, алгоритм, безпілотник, експлуатація, електромобіль, ефективність, забезпечення, керованість, логістика, метод, моделювання, система, транспортний засіб.

Список публікацій здобувача.

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:

1. Kalinichenko, O., Pavlenko, O., Nagorny, Y., Sevidova, V., Soldatenko, I. (2023). Determination of Conditions to Provide Transport Logistics Support Service to Aircraft at Aerodromes in Ukraine. In: Arsenyeva, O., Romanova, T., Sukhonos, M., Biletskyi, I., Tsegelnyk, Y. (eds) Smart Technologies in Urban Engineering. STUE 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 807. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-46874-2_34.

Статті у наукових фахових виданнях України:

2. Калініченко О., Павленко О., **Солдатенко І.** Оперативне планування процесу транспортного обслуговування бойових літаків на летовищах України. Комунальне господарство міст // Транспортні технології (за видами), 2022. № 4(171). 173–178. DOI: [10.33042/2522-1809-2022-4-171-173-178](https://doi.org/10.33042/2522-1809-2022-4-171-173-178).

3. Нагорний Є., Калініченко О., Павленко О., **Солдатенко І.** Методика побудови транспортно–технологічних схем доставки засобів забезпечення для обслуговування бойових літаків на летовищах України // Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура, 2022. № 6(173). С. 183–188. DOI: [10.33042/2522-1809-2022-6-173-183-188](https://doi.org/10.33042/2522-1809-2022-6-173-183-188).

4. Солдатенко І. О. Напрями удосконалення засобів моніторингу технічного стану силових кабельних ліній систем електропостачання військових аеродромів / Лагутін Г. І., Хабоша С. М., Перепелиця В. О., Кулинич І. І., Солдатенко І. О. // Системи озброєння і військова техніка, 2021. № 2(66). С. 66–72. DOI: [10.30748/soivt.2021.66.09](https://doi.org/10.30748/soivt.2021.66.09).

5. Новічонок С. М. Методика скорочення часових витрат на засвоєння вимог нормативно-правових актів / Новічонок С. М., Усачова О. А., Бабіч О. В., Савченко О. О., Солдатенко І. О., Беляєв П. В. // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил, 2021. 3(69). С. 144–153. DOI: [10.30748/zhups.2021.69.19](https://doi.org/10.30748/zhups.2021.69.19).

6. Новічонок С. М. Встановлення відповідності основних термінів в галузі наземного забезпечення польотів авіаційної техніки країн-партнерів термінам аеродромно-технічного забезпечення польотів державної авіації України / Новічонок С. М., Усачова О. А., Солдатенко І. О., Кашаєв І. О., Терентьєва І. В. // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України, 2022. № 2 (47). С. 31-40. DOI: [10.30748/nitps.2022.47.03](https://doi.org/10.30748/nitps.2022.47.03)

7. Подригало М. А., Абрамов Д. В., **Солдатенко І. О.**, Вітрук І. С. Підвищення енергоефективності модульних засобів наземного забезпечення польотів авіації використанням електроприводу ведучих коліс // Наука і техніка

Повітряних Сил Збройних Сил України, 2024. № 5(58). С. 45–52. DOI: [10.30748/soivt.2025.82.04](https://doi.org/10.30748/soivt.2025.82.04).

8. Подригало М. А., Абрамов Д. В., **Солдатенко І. О.**, Вітрук І. С. Підвищення маневреності модульної техніки наземного забезпечення польотів авіації // Системи озброєння і військова техніка, 2025. Вип. 3 (83). С. 7–14. DOI: [10.30748/zhups.2025.85.01](https://doi.org/10.30748/zhups.2025.85.01).

Патенти:

9. Пат. 157448 Україна, МПК В62D 21/02 (2006.01) В62D 21/14 (2006.01). Поздовжньо-розсувна несуча система автотранспортного засобу / Абрамов Дмитрій Володимирович, Калініченко Олександр Петрович, Нагорний Євген Васильович, Подригало Михайло Абович, Рогозін Ігор Віталійович, **Солдатенко Ігор Олегович**; власник Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. – № у 2024 01677 ; заявл. 03.04.2024 ; опубл. 16.10.2024, Бюл. № 42. 4 с.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

10. Солдатенко І. О., Подригало М. А., Кайдалов Р. О., Абрамов Д. В. Підвищення енергоефективності наземної техніки забезпечення бойових дій авіації шляхом використання комбінованого електромеханічного приводу ведучих коліс // XIX міжнародна наукова конференція Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба “Новітні технології – для захисту повітряного простору”: тези доповідей, 12 – 13 квітня 2023 року. Харків: ХНУПС ім. І. Кожедуба, 2023. С. 390.

11. Солдатенко І. О., Подригало М. А., Абрамов Д. В. Аналіз можливості переведення машин наземного обслуговування літаків на електричний або гібридний привід // 79 наукова конференція Національного транспортного університету. Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: збірник тез доповідей, 17 – 19 травня 2023, К.: НТУ, 2023. Вип. 79. 760 с.

12. Солдатенко І. О., Абрамов Д. В. Визначення факторів, які впливатимуть на вибір типу силової установки машин наземного забезпечення

літаків // Збірник матеріалів II Всеукраїнського науково-практичного онлайн-семінару «Підвищення якості продукції машинобудівних та ремонтних підприємств», 25 травня 2023 р., Харків: ХНАДУ. С. 45–48.

13. Солдатенко І. О., Абрамов Д. В., Анацький М. О. Динамічні випробування безпілотного колісного візка, обладнаного сніговідвалом // Збірник матеріалів III Всеукраїнського науково-практичного онлайн-семінару «Підвищення якості продукції машинобудівних та ремонтних підприємств», 29 травня 2024 р., Харків: ХНАДУ. С. 88–89.

14. Солдатенко І. О., Абрамов Д. В., Хижняк К. С. Методика проведення експериментального дослідження динамічних характеристик безпілотного колісного візка, обладнаного сніговідвалом // Збірник матеріалів IV Всеукраїнського науково-практичного онлайн-семінару «Підвищення якості продукції машинобудівних та ремонтних підприємств», 29 травня 2025 р., Харків: ХНАДУ. С. 14–17.

15. Солдатенко І. О., Абрамов Д. В., Охріменко Е. І., Карабут Б. Р. Експериментальне дослідження впливу тиску в шинах на динамічні властивості легкового автомобіля // Збірник матеріалів Всеукраїнського науково-практичного онлайн-семінару «Підвищення якості продукції машинобудівних та ремонтних підприємств», 24 травня 2022 р., Харків: ХНАДУ. С. 36–41.

ABSTRACT

Soldatenko, I.O. Development and Research of a Highly Efficient Block-Modular Machine Complex for Ground Support of Aviation Flights. – Qualifying scientific thesis in manuscript form.

Doctoral dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 274 “Automotive Transport.” – Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, 2026.

Improving the efficiency of ground (airfield technical) support (hereinafter referred to as ATS) processes for aircraft flights (hereinafter referred to as «aircraft» or «AC») of the state aviation (hereinafter referred to as «SA») is an important scientific, practical and technical challenge. Addressing this challenge on the basis of the principles of modularity and intelligent management of logistics flows makes it possible to enhance the mobility and combat effectiveness of the SA’s aviation units, including directly under martial law. Under martial law, and in light of the increased operational intensity of Civil Aviation aircraft, particular importance is attached to improving the organisation of ground support (ATS) processes for Civil Aviation flights using specialised vehicles at SA airfields, the rational use of rolling stock, the reduction of energy consumption and the minimisation of the need for support staff. The existing transport system within civil aviation aerodromes is characterised by low utilisation rates of load capacity and mileage, duplication of transport operations and high specific energy consumption in transport processes, which is inconsistent with the principles of energy efficiency and adaptability that underpin current trends in the development of road transport.

The need to improve the ground transport support system is in line with the provisions of the Law of Ukraine «On the National Security of Ukraine» and Presidential Decree № 121/2021 «On the Decision of the National Security and Defence Council of Ukraine» of 25 March 2021 «On the Military Security Strategy of Ukraine», which provide for the development of mobility and technological modernisation of the security and defence sector. The task of implementing innovative technical solutions in the field of aviation infrastructure is enshrined in

Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine № 951 of 2021 «On the Approval of the State Targeted Scientific and Technical Programme for the Development of the Aviation Industry for 2021–2030», which establishes the regulatory framework for the high-tech development of transport systems, including airfield ground support equipment (GSE) AC SA.

Current research focuses on the formation of transport flows within the limited area of the SA aerodrome, the optimisation of the fleet structure of specialised vehicles (GSE AC SA) and the reduction of specific energy consumption per unit of transport work performed. The transition to block-modular technology, whereby a single tractor unit transports several functional modules of variable purpose, allows the ground support system (ATS) for SA aircraft to be viewed as a multi-link transport system of variable configuration; furthermore, the introduction of electric drive for the drive wheels, steering axles and platforms, and unmanned power modules meets modern requirements for adaptability, energy efficiency and manoeuvrability of specialised vehicles (GSE AC SA).

Consequently, the development and research into a highly efficient block-modular vehicle complex for ground-based (ATS) flight support for SA aircraft is a pressing scientific and applied task, as it is aimed at improving methods for organising transport processes, increasing the efficiency of rolling stock utilisation and reducing energy consumption under specific operating conditions.

This doctoral thesis was carried out as part of the postgraduate student's individual work plan, in accordance with:

- the decision of the National Security and Defence Council of Ukraine of 25 March 2021 on the Military Security Strategy of Ukraine, brought into force by Decree of the President of Ukraine № 121/2021 of 25 March 2021;

- the State Targeted Scientific and Technical Programme for the Development of the Aviation Industry for 2021–2030, approved by Resolution № 951 of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 1 September 2021;

- The Roadmap for the Development of Ukraine's Aviation Capabilities in accordance with NATO standards, drawn up and presented by the Ministry of Defence of Ukraine on 3 August 2025;
- «Ukraine's Transport Strategy for the Period up to 2020», approved by Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine № 2174-r of 20 October 2010;
- Resolution № 3 of the National Council for Public Safety of 25 December 1997 «On the compliance of machinery, vehicles and equipment manufactured in Ukraine with occupational health and safety requirements»;
- in accordance with the plan for the implementation of research and development work commissioned by the National Academy of the National Guard of Ukraine, state registration № 0125U003321 of 12 September 2025 «Justification of the optimal composition of personnel and resources for a repair and restoration unit in the restoration of armaments, military and specialised equipment»;
- in accordance with the plan for the implementation of research work under a state commission, state registration № 0126U002107 dated 23 February 2026. «Improvement of the steering control system for unmanned trucks with swivel bogies fitted with electric wheel drives».

Aims and objectives of the study. The aim of the study is to improve the efficiency of the vehicle fleet used for ground-based aerodrome technical support for state aviation flights by applying a modular design principle, utilising electric drive systems for the drive wheels and implementing intelligent management of logistics flows.

To achieve this aim, the following tasks must be carried out:

- to conduct theoretical research to determine the optimal allocation of specialised vehicle resources – airfield technical support vehicles for the preparation of aircraft at state aviation airfields;
- to conduct theoretical research into the feasibility of using power modules with electric motors;
- to carry out experimental research into the dynamic characteristics of an unmanned power module with electric drive to the drive wheels.

The scientific novelty of the results obtained lies in the theoretical justification and development of a new methodological approach to the organisation and implementation of ground (airfield and technical) support operations for state aviation aircraft, based on the principles of modularity and intelligent management of logistics flows.

In doing so, the concept of transitioning from the traditional deterministic «one aircraft – one vehicle» service model to a flexible technology utilising multi-link modular aerodrome technical support vehicles has been proposed and scientifically substantiated for the first time. This has made it possible to formalise the process of transporting airfield maintenance equipment as a variable-configuration system, in which a single tractor unit delivers up to four functional modules simultaneously, thereby significantly altering the topology of logistics routes within the state aviation airfield.

Improved. A method for calculating the delivery process for production materials and other material (logistical) resources has been refined; unlike existing approaches, this method takes into account, within a single calculation cycle, the technical and operational parameters of the rolling stock, the volumes of shipment batches and stochastic environmental factors.

It was further developed. The application of linear programming methods to solve problems concerning the rational allocation of a limited resource – specialised motorised transport—at a state aviation aerodrome. The technological significance of the number of modules in a block, which had not previously been taken into account, has been established. It has been demonstrated that this parameter is a key determinant in minimising the requirement for ground-based aviation specialists (technical personnel), even given its low sensitivity to the tractor's direct energy consumption. The theory of designing modular aircraft ground support equipment for state aviation has been further developed with a focus on the use of electric drive for the drive wheels. A correlation has been established between the use of electric drive for the drive wheels and a reduction in non-productive energy losses during vehicle movement. The theory of the rotation of two-axle platforms has been further

developed with a view to their use on two-link modular ground support vehicles for state aviation aircraft.

The practical significance of the results obtained lies in the creation of an effective set of tools for enhancing the operational efficiency and combat readiness of state aviation units through the optimisation of ground-based logistics processes.

An algorithm for determining the optimal number of specialised transport vehicles has been developed and implemented in a spreadsheet programme, enabling airfield and technical support services and units for state aviation aircraft to carry out operational planning of the production process in real time, taking into account the specific type of aircraft and operational conditions.

The implementation of the proposed block-modular technology, as demonstrated by the example of an aviation squadron, delivers a significant systemic benefit – the direct economic saving from reduced fuel consumption and mileage amounts to 2,048.15 UAH per refuelling cycle. At the same time, a radical optimisation of human resources is achieved – the requirement for ground-based aviation specialists (drivers of airfield maintenance vehicles) is reduced by 75 per cent (from 21 to 5 people), which allows for the effective allocation of personnel during combat operations and under challenging operating conditions.

The results of the study enable a reduction in the total preparation time for a squadron of state aviation aircraft by 3.97 hours per day, which directly translates into increased flexibility in preparing aircraft for take-off and the ability to respond rapidly to dynamic changes in the combat situation. The proposed solutions regarding the use of universal power units (tractors) make it possible to modernise the fleet of specialised ground support vehicles for state aviation aircraft with lower capital expenditure compared to the purchase of individual specialised vehicles based on obsolete chassis.

The main provisions of the thesis have been adopted for implementation at the following institutions and organisations: Kharkiv National Automobile and Highway University, and the Ivan Kozhedub National Air Force University in Kharkiv.

The candidate's personal contribution. The scientific findings of the research presented for defence were obtained by the author independently. In works co-authored with others, the candidate has utilised the following: in work [1], a study was carried out on the transport and logistical support of SA aircraft at SA aerodromes in the context of the interrelationships between the components of the process; a system was proposed, equipped with multi-stage modular SA aircraft support facilities, which are the most economically viable; in [2], an algorithm was proposed for determining the optimal number of specialised transport vehicles (air defence forces' transport vehicles), which takes into account the conditions for the preparation of air defence forces, the influence of external natural conditions and changes in the standard values of specified resources; In [3], a methodology is proposed for constructing transport and technological delivery schemes for material (logistical) support resources to service SA aircraft; In [4–6], an analysis is carried out of the problems existing in the ground-based (ATS) support system for SA aircraft flights, for the subsequent formulation of the research objectives of the thesis; in [7], a methodology is proposed for assessing and calculating the justification for the transition to electric drives for the drive wheels of power modules within block-modular transport and technological systems with enhanced energy efficiency for ground-based (ATS) support of SA aircraft flights; in [8], configurations of power-technological units have been developed to enhance the manoeuvrability of block-modular GSE systems for SA aircraft, and a comparative analysis of the forces and moments of rotational resistance has been carried out for a configuration with steering wheels and a configuration with steering axles; Patent [9] justifies the feasibility of a motor vehicle design with the capability of rapidly adjusting the wheelbase length to meet the requirements of the Armed Forces of Ukraine (hereinafter – AFU); in works [10–12], the feasibility of using an electric or electromechanical drive for the drive wheels of GSE AC SA vehicles is analysed, and its use is proposed with the aim of improving their energy efficiency by reducing torque fluctuations compared to a drive powered by an internal combustion engine; in works [13–15], a methodology was developed and tested for conducting experimental

research into the dynamic characteristics of an unmanned wheeled vehicle, which could form part of a block-modular GSE AC SA complex.

Key words: *aviation, car, algorithm, unmanned vehicle, operation, electric car, efficiency, support, controllability, logistics, method, modeling, system, vehicle.*

List of the candidate's publications.

Scientific works in which the main scientific results of the dissertation are published:

Articles in foreign publications or Ukrainian publications included in international scientometric databases:

1. Kalinichenko, O., Pavlenko, O., Nagornyy, Y., Sevidova, V., Soldatenko, I. (2023). Determination of Conditions to Provide Transport Logistics Support Service to Aircraft at Aerodromes in Ukraine. In: Arsenyeva, O., Romanova, T., Sukhonos, M., Biletskyi, I., Tsegelnyk, Y. (eds) Smart Technologies in Urban Engineering. STUE 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 807. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-46874-2_34

Articles in Ukrainian scientific journals:

2. Kalinichenko O., Pavlenko O., Soldatenko I. Operational planning of the process of transport servicing of combat aircraft at Ukrainian airfields. Municipal Economy of Cities // Transport Technologies (by Type), 2022. No. 4(171). 173–178. DOI: [10.33042/2522-1809-2022-4-171-173-178](https://doi.org/10.33042/2522-1809-2022-4-171-173-178).

3. Nahorny Y., Kalinichenko O., Pavlenko O., Soldatenko I. Methodology for Developing Transport and Logistical Schemes for the Delivery of Support Equipment for Combat Aircraft Maintenance at Airfields in Ukraine // Municipal Services. Series: Technical Sciences and Architecture, 2022. No. 6(173). pp. 183–188. DOI: [10.33042/2522-1809-2022-6-173-183-188](https://doi.org/10.33042/2522-1809-2022-6-173-183-188).

4. Soldatenko I. O. Directions for Improving Monitoring Methods for the Technical Condition of Power Cable Lines in Military Airfield Power Supply Systems / Lagutin G. I., Khabosha S. M., Perepelytsia V. O., Kulynich I. I., Soldatenko I. O. // Weapons Systems and Military Equipment, 2021. No. 2(66). Pp. 66–72. DOI: [10.30748/soivt.2021.66.09](https://doi.org/10.30748/soivt.2021.66.09).

5. Novichonok S. M. Methodology for Reducing the Time Required to Master the Requirements of Regulatory and Legal Acts / Novichonok S. M., Usachova O. A., Babich O. V., Savchenko O. O., Soldatenko I. O., Belyaev P. V. // Collection of Scientific Papers of Kharkiv National University of the Air Force, 2021. 3(69). P. 144–153. DOI: [10.30748/zhups.2021.69.19](https://doi.org/10.30748/zhups.2021.69.19).

6. Novichonok S. M. Establishing Correspondence Between Key Terms in the Field of Ground Flight Support for Aviation Equipment of Partner Countries and Terms of Aerodrome and Technical Flight Support for State Aviation of Ukraine / Novichonok S. M., Usachova O. A., Soldatenko I. O., Kashayev I. O., Terentyeva I. V. // Science and Technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine, 2022. No. 2 (47). Pp. 31–40. DOI: [10.30748/nitps.2022.47.03](https://doi.org/10.30748/nitps.2022.47.03).

7. Podrygalo M. A., Abramov D. V., Soldatenko I. O., and Vitruk I. S. Improving the energy efficiency of modular ground-based aviation support systems through the use of electric drive systems for drive wheels // Science and Technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine, 2024. No. 5(58). Pp. 45–52. DOI: [10.30748/soivt.2025.82.04](https://doi.org/10.30748/soivt.2025.82.04).

8. Podrygalo M. A., Abramov D. V., Soldatenko I. O., Vitruk I. S. Improving the Maneuverability of Modular Aviation Ground Support Vehicles // Weapons Systems and Military Equipment, 2025. Issue 3 (83). Pp. 7–14. DOI: [10.30748/zhups.2025.85.01](https://doi.org/10.30748/zhups.2025.85.01).

Patents:

9. Pat. 157448 Ukraine, IPC B62D 21/02 (2006.01) B62D 21/14 (2006.01). Longitudinal sliding load-bearing system for a motor vehicle / Abramov Dmytro Volodymyrovych, Kalinichenko Oleksandr Petrovych, Nahorny Yevhen Vasylovych, Podrygalo Mykhailo Abovych, Rogozin Ihor Vitaliyovych, Soldatenko Ihor Olegovych; Owner: Kharkiv National Automobile and Highway University – No. u 2024 01677 ; filed 03.04.2024 ; published 16.10.2024, Bulletin No. 42. 4 p.

Published experimental works:

10. Soldatenko I. O., Podrygalo M. A., Kaidalov R. O., Abramov D. V. Improving the energy efficiency of ground support equipment for aviation operations

through the use of a combined electromechanical drive for drive wheels // 19th International Scientific Conference of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University “Latest Technologies – for Airspace Defense”: abstracts, April 12–13, 2023. Kharkiv: I. Kozhedub Kharkiv National Air Force University, 2023. p. 390.

11. Soldatenko I. O., Podrygalo M. A., Abramov D. V. Analysis of the possibility of converting aircraft ground support vehicles to electric or hybrid drive // 79th Scientific Conference of the National Transport University. Scientific Conference of Faculty, Graduate Students, Undergraduate Students, and Staff of the University’s Separate Structural Units: Proceedings, May 17–19, 2023, Kyiv: NTU, 2023. Vol. 79. 760 pp.

12. Soldatenko I. O., Abramov D. V. Determination of factors influencing the selection of power plant types for aircraft ground support vehicles. Proceedings of the II All-Ukrainian Scientific and Practical Online Seminar “Improving the Quality of Products of Machine-Building and Repair Enterprises,” May 25, 2023, Kharkiv: KNUCA. Pp. 45–48.

13. Soldatenko I. O., Abramov D. V., Anatsky M. O. Dynamic testing of an unmanned wheeled vehicle equipped with a snow plow // Proceedings of the III All-Ukrainian Scientific and Practical Online Seminar “Improving the Quality of Products of Machine-Building and Repair Enterprises,” May 29, 2024, Kharkiv: KNUCA. Pp. 88–89.

14. Soldatenko I. O., Abramov D. V., Khizhnyak K. S. Methodology for conducting experimental research on the dynamic characteristics of an unmanned wheeled vehicle equipped with a snow plow. Proceedings of the IV All-Ukrainian Scientific and Practical Online Seminar “Improving the Quality of Products at Machine-Building and Repair Enterprises,” May 29, 2025, Kharkiv: KNUCA. Pp. 14–17.

15. Soldatenko I. O., Abramov D. V., Okhrimenko E. I., Karabut B. R. Experimental study of the effect of tire pressure on the dynamic properties of a passenger car. Proceedings of the All-Ukrainian Scientific and Practical Online Seminar “Improving the Quality of Products at Machine-Building and Repair Enterprises,” May 24, 2022, Kharkiv: KNUCA. Pp. 36–41.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	24
ВСТУП	26
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ НАЗЕМНОГО (АЕРОДРОМНО-ТЕХНІЧНОГО) ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЛЬОТІВ НА АЕРОДРОМАХ ДЕРЖАВНОЇ АВІАЦІЇ УКРАЇНИ.....	33
1.1 Особливості наземного (аеродромно-технічного) забезпечення польотів повітряних суден на аеродромах, вертодромах та злітно- посадкових майданчиках державної авіації України.....	33
1.2 Аналіз сучасного стану теорії та практики з визначення ефективної стратегії управління запасами при обслуговуванні повітряних суден.....	41
1.3 Визначення раціонального розподілу ресурсу спеціального автомобільного транспорту при обслуговуванні повітряних суден державної авіації як задачі лінійного програмування.....	48
1.4 Використання блочно-модульного принципу побудови засобів аеродромно-технічного обслуговування повітряного судна державної авіації, їх маневреність.....	52
1.5 Поліпшення енергоефективності засобів аеродромно-технічного обслуговування повітряного судна державної авіації	53
1.6 Висновки за розділом 1 та постановка завдань дослідження.....	57
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ РЕСУРСУ СПЕЦІАЛЬНОГО АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ПОВІТРЯНОГО СУДНА НА АЕРОДРОМАХ ДЕРЖАВНОЇ АВІАЦІЇ....	60
2.1 Структура технології обслуговування повітряних суден державної авіації	60
2.2 Розробка технології визначення оптимального розподілу ресурсу спеціального автомобільного транспорту для підготовки повітряного судна державної авіації на аеродромах.....	80

2.3 Проведення експериментальних досліджень щодо визначення оптимального розподілу ресурсу засобів аеродромно-технічного обслуговування для підготовки повітряного судна державної авіації	90
2.4 Визначення результативних показників застосування розробленої технології визначення оптимального розподілу ресурсу ЗАТО для підготовки ПС ДА.....	101
2.5 Висновки за розділом 2.....	105
РОЗДІЛ 3. ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГОМОДУЛІВ З ЕЛЕКТРИЧНИМ ПРИВОДОМ ВЕДУЧИХ КОЛІС.....	106
3.1 Визначення факторів, які впливатимуть на доцільність вибору електричної силової установки для засобів наземного забезпечення польотів повітряних суден державної авіації.....	106
3.2 Оцінка додаткових непродуктивних витрат енергії двигуна внутрішнього згоряння.....	111
3.2.1 Оцінка енергетичної ефективності використання енергетичних модулів з електроприводом ведучих коліс.....	111
3.2.2. Вибір раціонального співвідношення між потужністю двигунів тягача та причіпної ланки.....	112
3.3 Вибір раціонального співвідношення між потужністю електродвигунів, які встановлено на передніх та задніх колесах.....	115
3.4 Підвищення маневреності енергетичних модулів з електроприводом ведучих коліс.....	116
3.4.1 Схеми модульних енерготехнологічних агрегатів з електроприводом ведучих коліс, поворотними мостами та платформами	116
3.4.2 Порівняльний аналіз сил і моментів опору повороту при поворотних колесах та поворотних мостах.....	127
3.5 Висновки за розділом 3.....	129
РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕЗПІЛОТНОГО ЕНЕРГОМОДУЛЯ,	

ОБЛАДНАНОГО СНІГОВІДВАЛОМ З ЕЛЕКТРИЧНИМ ПРИВОДОМ ВЕДУЧИХ КОЛІС.....	131
4.1 Об'єкт, мета, умови та послідовність проведення експериментального дослідження.....	132
4.2 Оцінювання інструментальних та методичних похибок вимірювань..	142
4.3 Обробка результатів експериментального дослідження.....	146
4.4 Висновки за розділом 4.....	153
ВИСНОВКИ.....	155
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	158
ДОДАТОК А. Акти впровадження результатів роботи.....	175
ДОДАТОК Б. Список опублікованих праць за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації	179
ДОДАТОК В. Патент, який засвідчує права інтелектуальної власності...	183

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АА СВ – армійська авіація Сухопутних військ,
АЕТ – аеродромно-експлуатаційна техніка,
АМК – аеромобільний комплекс,
АПА – аеродромний рухомий електроагрегат,
АТЗ – аеродромно-технічне забезпечення,
БПЛА – безпілотний літальний апарат,
ВМС – Військово-морські Сили,
ДА – державна авіація,
ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння,
ДПСУ – Державна прикордонна служба України,
ДСНСУ – Державна служба України з надзвичайних ситуацій,
ДСТУ – Державний стандарт України,
ЕГТ – електрогазова техніка,
ЗАТЗ – засоби аеродромно-технічного забезпечення,
ЗАТО – засоби аеродромно-технічного обслуговування,
ЗЗ ПММ – засоби забезпечення пально-мастильними матеріалами,
ЗЛП – задачі лінійного програмування,
ЗНЗП – засобів наземного забезпечення польотів,
ЗПРЗ – засоби пошуково-рятувального забезпечення,
ЗПС – злітно-посадкова смуга,
ЗСР – заправник спец рідинами,
ІАЗ – інженерно-авіаційне забезпечення,
ККД – коефіцієнт корисної дії,
МК – мобільний комплекс,
МРВК – мобільний реєстраційно-вимірювальний комплекс,
НАТО – Організація Північноатлантичного договору,
НГУ – Національна гвардія України,
НПУ – Національна поліція України,

ОК – оперативний комплекс,
ПЗ – автопаливозаправник,
ПММ – паливно-мастильні матеріали,
ППО – протиповітряна оборона,
ПС – повітряне судно,
ПС ЗСУ – Повітряні Сили Збройних Сил України,
РТЗ – радіотехнічне забезпечення,
СБУ – Служба безпеки України,
УВЗ – установка повітряного запуску,
УГЗС – уніфікована газозарядна станція,
УМП – уніфікований моторний підігрівач,
УПГ – установка для перевірки гідросистеми,
ХТЗ – Харківський тракторний завод,
АС – aircraft flights,
ATS – airfield technical support,
GSE – ground support equipment,
SA – state aviation,

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Підвищення ефективності процесів наземного забезпечення польотів авіації є важливим науковопрактичним і технічним завданням, вирішення якого на основі принципів модульності та інтелектуального управління логістичними потоками дозволяє забезпечити підвищення мобільності та боєздатності авіаційних підрозділів, у тому числі в особливий період. В умовах воєнного стану та зростання інтенсивності експлуатації літаків особливого значення набуває удосконалення організації транспортних процесів на аеродромах, раціональне використання рухомого складу, зниження енергетичних витрат і мінімізація потреби в обслуговуючому персоналі. Існуюча система перевезень в рамках аеродрому характеризується низьким коефіцієнтом використання вантажопідйомності та пробігу, дублюванням транспортної роботи та підвищеною питомою енергоємністю транспортних процесів, що не відповідає принципам енергоефективності та адаптивності, які закладені в основу сучасних тенденцій розвитку автомобільного транспорту.

Необхідність удосконалення системи наземного транспортного забезпечення узгоджується з положеннями Указа Президента України №121/2021 «Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 25 березня 2021 року «Про Стратегію воєнної безпеки України»», який передбачає розвиток мобільності та технологічного оновлення сектору безпеки і оборони. Завдання впровадження інноваційних технічних рішень у сфері авіаційної інфраструктури закріплено у Постанові Кабінету Міністрів України №951 від 1 вересня 2021 р.. «Про затвердження Державної цільової науково-технічної програми розвитку авіаційної промисловості на 2021–2030 роки», що створює нормативні передумови для високотехнологічного розвитку транспортних систем, спеціалізованих транспортних засобів.

Актуальним є дослідження процесів формування транспортних потоків на обмеженій території аеродрому, оптимізація структури парку спеціалізованих машин та зниження питомих витрат енергії на одиницю виконаної транспортної

роботи. Перехід до блочно-модульної технології, за якої один тягач транспортує декілька функціональних модулів змінного призначення, дозволяє розглядати систему аеродромного забезпечення як багатоланкову транспортну систему змінної конфігурації, а також впровадження електричного привода ведучих коліс, поворотних мостів і платформ, безпілотних енергомодулів відповідає сучасним вимогам до адаптивності, енергоефективності та маневреності спеціалізованих машин.

Таким чином, розробка та дослідження високоефективного блочно-модульного машинного комплексу для наземного забезпечення польотів авіації є актуальним науково-прикладним завданням, оскільки спрямована на вдосконалення методів організації транспортних процесів, підвищення ефективності використання рухомого складу та зниження енергетичних витрат у спеціалізованих умовах експлуатації.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася:

- відповідно до рішення Ради національної безпеки і оборони України від 25 березня 2021 року Про Стратегію воєнної безпеки України, введеного в дію Указом Президента України від 25 березня 2021 року № 121/2021;
- Державної цільової науково-технічної програми розвитку авіаційної промисловості на 2021–2030 роки, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України №951 від 1 вересня 2021 р.;
- Дорожньою картою розвитку авіаційних спроможностей України відповідно до стандартів НАТО, розробленою і представленою Міністерством оборони України 3 серпня 2025 р.;
- «Транспортної стратегії України на період до 2020 року», схваленої розпорядження кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2010 року № 2174-р.;
- Постанови Національної Ради з питань безпеки життєдіяльності населення № 3 від 25 грудня 1997р. «Про відповідність вимог охорони праці машин, транспортних засобів, устаткування, які виготовляються в Україні»;
- згідно з планом виконання науково-дослідної та дослідно-конструкторської роботи за замовленням Національної академії Національної

гвардії України держ. реєстр. № 0125U003321 від 12 вересня 2025 р. «Обґрунтування раціонального складу сил і засобів ремонтно-відновлювального органу при відновленні озброєння, військової та спеціальної техніки»;

– згідно з планом виконання науково-дослідної роботи за державним замовленням держ. реєстр. № 0126U002107 від 23 лютого 2026 р. «Удосконалення системи керування поворотом безпілотних вантажівок з поворотними візками, що мають електропривід коліс».

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є підвищення ефективності машинного комплексу для наземного аеродромно-технічного забезпечення польотів повітряних суден державної авіації шляхом використання модульного принципу побудови, за рахунок використання електричного приводу ведучих коліс та інтелектуального управління логістичними потоками.

Для досягнення поставленої мети, необхідно виконати наступні завдання:

– провести теоретичні дослідження визначення раціонального розподілу ресурсу спеціального автомобільного транспорту – засобів аеродромно-технічного обслуговування для підготовки повітряних суден на аеродромах державної авіації;

– провести теоретичне дослідження можливості використання енергетичних модулів з електричними двигунами;

– провести експериментальні дослідження динамічних характеристик безпілотного енергомодуля з електричним приводом ведучих коліс.

Об'єктом дослідження є процес використання модульних енерготехнологічних агрегатів при наземному забезпеченні польотів авіації.

Предметом дослідження є методи та засоби підвищення ефективності транспортно-технологічних процесів наземного аеродромно-технічного забезпечення польотів повітряних суден державної авіації використанням блочно-модульного енергоефективного машинного комплексу та інтелектуального управління логістичними потоками.

Методи дослідження. У теоретичній частині дослідження

використовувалися методи теоретичного аналізу, класичної механіки, метод лінійного програмування. В експериментальній частині використовувалися метод електричних вимірювань механічних величин та метод парціальних прискорень.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у теоретичному обґрунтуванні та розробці нового методичного підходу до організації та проведення заходів наземного (аеродромно-технічного) забезпечення польотів повітряних суден державної авіації на основі принципів модульності та інтелектуального управління логістичними потоками.

При цьому *вперше* запропоновано та науково обґрунтовано концепцію переходу від традиційної детермінованої схеми обслуговування «одне повітряне судно – один автомобіль» до гнучкої технології використання багатоланкових модульних засобів аеродромно-технічного обслуговування. Це дозволило формалізувати процес транспортування засобів аеродромно-технічного обслуговування як систему змінного складу, де один тягач забезпечує одночасну доставку до чотирьох функціональних модулів, що суттєво змінює топологію логістичних маршрутів на території аеродрому державної авіації.

Удосконалено метод розрахунку процесу доставки технологічних матеріалів та інших матеріальних (матеріально-технічних) засобів, що на відміну від існуючих підходів, враховує в єдиному розрахунковому циклі техніко-експлуатаційні параметри рухомого складу, обсяги партій відправки та стохастичні чинники зовнішнього середовища.

Отримало подальший розвиток застосування методів лінійного програмування для розв'язання задач раціонального розподілу обмеженого ресурсу спеціального автомобільного транспорту на аеродромі державної авіації. Встановлено раніше не враховану технологічну значущість показника кількості модулів у блоці. Доведено, що цей параметр є ключовим детермінантом мінімізації потреби у наземних авіаційних спеціалістах (технічному персоналі), навіть за умови його низької чутливості до прямих енергетичних витрат тягача. Отримала подальший розвиток теорія

проектування модульних засобів аеродромно-технічного обслуговування повітряних суден державної авіації в напрямку використання електричного приводу ведучих коліс. Отримано взаємозв'язок між використанням електроприводу ведучих коліс і зменшенням непродуктивних втрат енергії на рух машин. Отримала подальший розвиток теорія повороту двовісних платформ в напрямку використання на двохланкових модульних засобах наземного забезпечення польотів повітряних суден державної авіації.

Практичне значення отриманих результатів полягає у створенні дієвого інструментарію для підвищення оперативної ефективності та боєздатності авіаційних підрозділів державної авіації за рахунок оптимізації наземних логістичних процесів.

Розроблено та програмно реалізовано алгоритм визначення оптимальної кількості спеціальних транспортних засобів у середовищі табличного процесора, що дозволяє службам та підрозділам аеродромно-технічного забезпечення польотів повітряних суден державної авіації здійснювати оперативне планування виробничого процесу в режимі реального часу, враховуючи конкретний тип повітряних суден та умови обстановки.

Впровадження запропонованої блочно-модульної технології на прикладі авіаційної ескадрильї забезпечує значний системний ефект – пряма економічна вигода від скорочення паливних витрат та пробігу становить 2048,15 грн за один цикл заправки. При цьому досягається радикальна оптимізація людського ресурсу – потреба у наземних авіаційних спеціалістах (водіях засобів аеродромно-технічного обслуговування) зменшується на 75 % (з 21 до 5 осіб), що дозволяє ефективно розподіляти кадровий потенціал під час ведення бойових дій та у складних умовах експлуатації.

Результати дослідження забезпечують скорочення загального часу підготовки ескадрильї повітряних суден державної авіації на 3,97 години на добу, що безпосередньо трансформується у підвищення мобільності у підготовці повітряних суден до вильоту та можливість швидкого реагування на динамічні зміни бойової обстановки. Запропоновані рішення щодо використання універсальних енергоблоків (тракторів) дозволяють оновити парк

спеціальних транспортних засобів наземного забезпечення польотів повітряних суден державної авіації з меншими капітальними вкладеннями порівняно з придбанням одиничних спеціальних автомобілів на застарілих базових шасі.

Основні положення дисертаційної роботи прийняті до впровадження на наступних підприємствах та в організаціях: Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті, Харківському національному університеті Повітряних Сил імені Івана Кожедуба.

Особистий внесок здобувача. Наукові результати досліджень, що винесені на захист, отримані автором самостійно. У спільних з іншими авторами роботах дисертантом використане наступне: у роботі [1] виконане дослідження транспортно-логістичного забезпечення ПС ДА на аеродромах ДА у контексті зв'язків між компонентами процесу, запропонована система, що оснащена багатоланковими модульними ЗАТО ПС ДА, які є найбільш економічно доцільними; у роботі [2] запропоновано алгоритм визначення оптимальної кількості спеціальних транспортних засобів (ЗАТО ПС ДА), в якому враховані умови підготовки ПС ДА, вплив зовнішніх природних умов та зміна нормативних значень визначених ресурсів; у роботі [3] запропоновано методику побудови транспортно-технологічних схем доставки матеріальних (матеріально-технічних) засобів забезпечення для обслуговування ПС ДА; в роботах [4-6] проведено аналіз проблем, наявних в системі наземного (АТЗ) забезпечення польотів ПС ДА, для подальшої постановки завдань дисертаційного дослідження; в роботі [7] запропоновано методику оцінки та розрахунків обґрунтування доцільності переходу до електроприводів ведучих коліс енергомодулів у складі блочно-модульних транспортно-технологічних систем з підвищеною енергоефективністю для наземного (АТЗ) забезпечення польотів ПС ДА; в роботі [8] розроблено схеми енерготехнологічних агрегатів, що забезпечують підвищення маневреності блочно-модульних ЗАТО ПС ДА та проведено порівняльний аналіз сил і моментів опору повороту при схемі з поворотними колесами та схемі з поворотними мостами; в патенті [9] обґрунтовано доцільність конструкції автотранспортного засобу з можливістю швидкої зміни довжини колісної бази для потреб Збройних Сил України (далі –

ЗСУ); в роботах [10-12] проаналізовано доцільність та запропоновано використання електричного або електромеханічного приводу ведучих коліс ЗАТО ПС ДА з метою підвищення їх енергоефективності за рахунок зменшення коливань крутного моменту в порівнянні з приводом від двигуна внутрішнього згоряння; в роботах [13-15] розроблена та апробована методика проведення експериментального дослідження динамічних характеристик безпілотного колісного візка, який може бути складовою комплексу блочно-модульних ЗАТО ПС ДА.

Апробація результатів дисертації. Основні результати теоретичних та експериментальних досліджень дисертаційної роботи були повідомлені на міжнародних і всеукраїнських науково-технічних і науковопрактичних конференціях: XIX міжнародній науковій конференції Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба “Новітні технології – для захисту повітряного простору”, м. Харків, 2023 р.; 79 науковій конференції Національного транспортного університету «Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету», м. Київ, 2023 р.; I, II, III, IV Всеукраїнському науково-практичному онлайн-семінарі Харківського національного автомобільно-дорожнього університету «Підвищення якості продукції машинобудівних та ремонтних підприємств», м. Харків, 2022 р., 2023р., 2024 р., 2025 р.

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи опубліковано в 15 наукових працях, у тому числі: 8 статей у фахових виданнях, з яких 1 стаття у виданні, що зареєстровано у науково метричній базі SCOPUS, та 7 статей, що входять до фахових видань, які відповідають переліку МОН; 1 патент на корисну модель; 6 публікацій тез у збірниках доповідей на міжнародних та Всеукраїнських наукових та науково-практичних конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації, змісту, переліку умовних скорочень, вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань та додатків. Повний обсяг дисертації становить 185 сторінки, з них 134 сторінки основного тексту, 41 рисунок, 19 таблиць.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ НАЗЕМНОГО (АЕРОДРОМНО-ТЕХНІЧНОГО) ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЛЬОТІВ НА АЕРОДРОМАХ ДЕРЖАВНОЇ АВІАЦІЇ УКРАЇНИ

1.1 Особливості наземного (аеродромно-технічного) забезпечення польотів повітряних суден на аеродромах, вертодромах та злітно-посадкових майданчиках державної авіації України

З метою недопущення аварій та катастроф з цивільними повітряними суднами (далі ПС) під час відсічи збройної агресії рф проти України повітряний простір України вимушено закритий, що зупиняє переміщення повітряним транспортом близько 3,3 % від загального обсягу пасажирських авіаперевезень в Європі та до 0,8 % від загального обсягу авіаперевезень у світі станом на 2021 рік. Окрім авіаперевезень, ведення бойових дій на території України впливає на торгівлю між державами в усьому світі. Залізничне сполучення між Азією та Європою через рф значно скорочено, а важливий чорноморський торговельний регіон повністю закритий для морського транспорту. Таким чином, значні проблеми з ланцюгами поставок, загострюватимуться і триватимуть значний час [16, 167].

На теперішній час в Україні на перший план виходить діяльність ДА, яка використовує ПС з метою виконання функцій із забезпечення національної безпеки і оборони держави та захисту населення, в тому числі забезпечення ефективності ведення бойових дій з відсічи збройної агресії рф після повномасштабного вторгнення на територію незалежної України.

Ефективне використання та підвищення боєздатності ПС ДА неможливі без виконання транспортних операцій, що пов'язані з проведенням робіт на території аеродромів ДА, виконання різноманітних робіт з обслуговування ПС ДА та інших операцій, що проводяться відповідними службами суб'єктів ДА

сторонніми організаціями та контролюючими органами, що визначаються типовими технологічними графіками (картами) [18].

На процес наземного обслуговування ПС ДА впливають різноманітні фактори, такі як час доби, умови навколишнього середовища та вибір визначеної схеми обслуговування ПС ДА. В сучасних умовах, для обслуговування транспортного ПС ДА застосовується принцип «одне повітряне судно – один автомобіль (ЗАТО ПС ДА)». Мається на увазі, що для обслуговування одного ПС ДА застосовують один транспортний засіб з встановленим на його шасі спеціальним обладнанням (ЗАТО ПС ДА). Обслуговування одного ПС ДА може виконуватись спеціальним обладнанням, що встановлене на одному або чотирьох транспортних засобах [19].

Основним недоліком такої схеми обслуговування є те, що для обслуговування ПС ДА використовуються вантажні автомобілі із змонтованим на його базі спеціальним обладнанням які мають значний час простою при виконанні зарядки ПС ДА боєкомплект, технічними газами та заправки паливом, спеціальними рідинами та технологічними матеріалами, а також потребують використання технічного персоналу (водіїв) для кожного ЗАТО ПС ДА, а в деяких випадках додаткових операторів.

Для підвищення ефективності обслуговування ПС на аеродромах ДА авторами [19] запропоновано застосування багатоланкових модульних ЗАТО ПС ДА, та розроблена нова технологія виконання доставки ЗАТО до ПС ДА. Але запропонований підхід дозволяє визначити фіксовану кількість ЗАТО ПС без урахування можливих збоїв в ході виконання обслуговування та заправки ПС ДА, або поломок і виходу з ладу транспортних засобів та спеціального обладнання для заправки, зарядки систем ПС ДА поповнення боєкомплекту та обслуговування.

На теперішній час правила обслуговування ПС ДА визначаються наказом Міністерства оборони України від 05.07.2016 р. № 343 “Про затвердження Правил інженерно-авіаційного забезпечення державної авіації України”, зареєстрованим в Міністерстві юстиції України 08.08.2016 р. за № 1101/29231

[20], а визначення кількості ЗНЗП ПС ДА наказом Міністерства оборони України від 26.06.2017 р. № 341 “Про затвердження Нормативів утримання засобів наземного забезпечення польотів повітряних суден та персоналу з їх експлуатації на аеродромах державної авіації України”, зареєстрованим в Міністерстві юстиції України 17.07.2017 за № 864/30732 [21], який визначає необхідну кількість ЗАТО ПС ДА в залежності від кількості ПС ДА, що знаходяться на аеродромах ДА, методика розрахунку яких також не враховує стохастичність транспортного та технологічного обслуговування, або поламок і виходу з ладу транспортних засобів та спеціального обладнання для заправки, поповнення боєкомплекту або обслуговування та призводить до збоїв у ході обслуговування ПС ДА та підвищення вартості таких робіт і загального зниження боєздатності авіаційних підрозділів ДА.

Тому, для підвищення ефективності виконання операцій з обслуговування, підтримання боєздатності ПС ДА необхідно приділяти увагу питанням визначення раціональної кількості спеціальних транспортних засобів (ЗАТО ПС ДА) та спеціального обладнання для заправки, поповнення боєкомплекту або обслуговування ПС ДА з урахуванням стохастичності транспортного та технологічного обслуговування, поламок і виходу з ладу транспортних засобів та спеціального обладнання для заправки. Для вирішення таких питань необхідно розглядати процес обслуговування ПС на аеродромах ДА як стаціонарний стохастичний процес – такий, що розподіл ймовірностей якого постійно змінюється протягом певного періоду часу, для якого значення часових характеристик елементів процесу обслуговування ПС може виглядати хаотично, але приймати значення в обмеженому діапазоні [22], що можливо досягти шляхом застосування методів імітаційного моделювання.

Особливе місце в ДА займає система технічної експлуатації, яка являє собою сукупність об'єктів і засобів технічної експлуатації, льотного, інженерно-технічного складу, інших наземних авіаційних спеціалістів і системи керування процесом технічної експлуатації, які взаємодіють з метою підтримання й відновлення справності і працездатності ПС ДА. Важливою

складовою частиною системи технічної експлуатації ПС ДА є система технічного обслуговування і ремонту, яка являє собою сукупність взаємодіючих об'єктів і засобів технічного обслуговування й ремонту, інженерно-технічного складу, інших наземних авіаційних спеціалістів і відповідної програми. Технічне обслуговування ПС ДА відіграє важливу роль в забезпеченні високого рівня ефективності й безпеки польотів в авіації [23]. При обслуговуванні ПС ДА на аеродромах ДА розрізняють чотири види підготовки – передпольотна підготовка ПС ДА, підготовка ПС ДА до повторного польоту, післяпольотна підготовка ПС ДА, попередня підготовка ПС ДА до польотів [20]. Кожен вид підготовки визначає вимоги щодо його обслуговування та заправки (зарядки) технологічними матеріалами (рис.1.1).

Самими напруженими видами підготовки є передпольотна підготовка ПС ДА та підготовка ПС ДА до повторного польоту (табл.1.1), які виконуються безпосередньо на технічній позиції підготовки ПС ДА. При виконанні робіт з передпольотної підготовки ПС ДА та підготовки ПС ДА до повторного польоту максимально використовуються ресурс спеціального автомобільного транспорту (ЗАТО ПС ДА). Затримки виконання робіт з обслуговування можуть призвести до вкрай негативних наслідків.

В умовах сьогодення для успішного розв'язання проблем оборони країни, захисту її суверенітету, забезпечення територіальної цілісності та недоторканності одне з основних завдань – створення та реалізація механізму забезпечення боєздатності суб'єктів ДА та авіаційних підрозділів [24, 25].

Основним елементом цього механізму є забезпечення сучасними видами озброєння, ЗАТО ПС ДА їх мобільної доставки до місць базування та своєчасного приведення в готовність до бойового застосування, а також модернізація, підготовка і ремонт шляхів сполучення [26].

Рациональне використання ресурсу ЗАТО ПС ДА при підготовці до вильоту є важливим етапом у підтримці високих бойових характеристик ПС ДА і підвищення ефективності використання авіаційної техніки. Перед зльотом тягач буксирує ПС ДА до місця стоянки для етапу підготовки до вильоту, де

Вид підготовки	Зміст підготовки	Місце проведення підготовки	Особливості підготовки
Передпольотна підготовка	комплекс зазначених робіт, що їх виконують на ПС безпосередньо перед польотами відповідно до завдань льотного дня (ночі) чи льотної зміни, з приведення ПС у вихідне положення, яке забезпечує виконання завдання першого польоту	злітно-посадкова смуга місця тимчасового розміщення	жорстко обмежений час виконання робіт висока інтенсивність робіт
Підготовка до повторного польоту	комплекс зазначених робіт, що їх виконують на ПС перед кожним, крім першого, польотом льотного дня (ночі) чи льотної зміни, з приведення ПС у вихідне положення, яке забезпечує виконання польотного завдання	злітно-посадкова смуга місця тимчасового розміщення	жорстко обмежений час виконання робіт висока інтенсивність робіт
Післяпольотна підготовка	комплекс зазначених робіт, що їх виконують на ПС наприкінці льотного дня (ночі) чи льотної зміни та після закінчення бойового чергування з метою приведення ПС у встановлений ступінь готовності до польотів	місця постійного розміщення місця тимчасового розміщення	значний час виконання робіт низька інтенсивність
Попередня підготовка	комплекс зазначених робіт, що їх виконують на ПС завчасно і спрямовані на підтримання ПС у встановленому ступені готовності до польотів	місця постійного розміщення	значний час виконання робіт низька інтенсивність

Рисунок 1.1 – Характеристика видів підготовки повітряних суден до польотів

Таблиця 1.1 – Нормування часу підготовки повітряних суден до польотів

№ з/п	Тип ПС	Передпольотна підготовка		Підготовка до повторного польоту		Післяпольотна підготовка	
		одиначне ПС	Авіаційна ланка	одиначне ПС	Авіаційна ланка	одиначне ПС	Авіаційна ланка
1	Су-27	50 хв.	1 год. 20 хв.	50 хв.	1 год. 20 хв.	1 год. 30 хв.	1 год. 40 хв.
2	МіГ-29	1 год. 10 хв.	1 год. 20 хв.	40 хв.	55 хв.	1 год.	1 год. 50 хв.
3	Су-24	1 год. 50 хв.	2 год.	50 хв.	1 год. 10 хв.	1 год. 10 хв.	1 год. 40 хв.
4	Су-25	50 хв.	2 год. 30 хв.	30 хв.	1 год. 40 хв.	50 хв.	1 год. 10 хв.
5	Мі-8	1 год. 10 хв.	2 год. 10 хв.	30 хв.	50 хв.	50 хв.	1 год. 50 хв.

будуть виконуватися операції з заправлення паливом, спеціальними рідинами та іншими ПММ, перевірка, зарядка систем ПС ДА стиснутими газами (кисень, азот, повітря) встановлення озброєння тощо, що мають виконуватися авіаційним персоналом різних професій на аеродромах ДА. На цьому етапі всі категорії авіаційного персоналу в основному виконують фактичну операцію, а стаціонарні ресурсні станції різних типів, встановлені на території аеродрому ДА, в основному забезпечують різні типи основних ресурсів постачання (наприклад, кисень, паливо, озброєння) для виконання операцій [27, 28].

Засоби технічного обслуговування ПС ДА можуть бути транспортабельними і нетранспортабельними (стаціонарними). В таблиці 1.2 представлені ЗАТО ПС ДА.

Існує багато досліджень, пов'язаних із плануванням операцій передпольотної підготовки [29-32]. У більшості літературних джерел проблему планування операцій передпольотної підготовки розглядали як задачу планування проекту з обмеженими ресурсами.

Таблиця 1.2 – Засоби аеродромно-технічного обслуговування повітряних суден державної авіації

Група	Склад групи
Засоби заправки паливом, мастильними матеріалами та спеціальними рідинами	Автопаливозаправники, причіп-цистерни для збільшення паливозаправником запасів палива, групові заправники паливом, маслозаправники, заправники спеціальними рідинами, водоспіртозаправники, універсальні заправники рідинами, малогабаритні засоби заправки паливом, маслом і спецрідинами для оперативного комплексу (ОК), мобільного комплексу (МК) і аеромобільного комплексу (АМК)
Засоби видобутку, отримання, транспортування, зберігання зріджених газів, контроль якості стиснених та зріджених газів	Автомобільні кисневозарядні станції, уніфіковані газозаправні станції, повітрязаправники, резервуари (цистерни) для зріджених газів, автомобільні вуглекислотозаправні станції, малогабаритні засоби заправки газами для ОК, МК і АМК
Засоби забезпечення ПС електро- і пневмоенергією під час запуску авіаційних двигунів та перевірки електро- і радіообладнання	Аеродромні електричні установки, перетворювачі електричної енергії, електрогідроустановки, установки повітряного запуску, установки подачі приводного палива, малогабаритні блоки живлення для ОК, МК і АМК
Засоби кондиціювання, підігріву повітря та перевірки герметичності кабін ПС	Аеродромні кондиціонери, підігрівачі, кондиціонери льотного складу
Засоби наддуву	Аеродромні опресовщики кабін
Засобів буксирування ПС	Автомобілі, придатні для буксирування, спеціальні тягачі
Підйомно-транспортні засоби	Підйомні крани, самонавантажувачі, майданчики обслуговування, аеродромні самохідні підйомники, підйомні майданчики, телескопічні майданчики обслуговування, самохідні подавачі вантажів
Засоби очищення і спеціальної обробки	Мийні машини, машини для нанесення антиобмерзаючих засобів і теплові антиобльодинітельні машини, аеродромні асенізаційні машини, машини для проведення дегазації і дезактивації

Обмеження за ресурсами і пріоритети на етапі передпольотної підготовки проаналізовано в [33], і представлено математичну модель задачі планування операцій. Беручи до уваги невизначеність (наприклад, пошкодження обладнання, поломку транспортного засобу та невизначену тривалість робіт з обслуговування ПС ДА) в операціях на аеродромі ДА, запропоновано розглядати поставлену задачу, як задачу динамічного планування.

Щоб отримати найкращий план застосування ресурсу спеціального автомобільного транспорту (ЗАТО ПС ДА), широко використовуються інтелектуальні алгоритми оптимізації, такі як генетичний алгоритм [34, 35], та гіперевристичний [28].

Крім того, методи моделювання широко застосовуються в інших аспектах планування польотів ПС ДА, наприклад, диспетчерського планування [33], планування маршрутів руху спеціального автомобільного транспорту (ЗАТО ПС ДА) [36-38]. Оскільки стаціонарні ресурсні склади (паливо, стиснені, зріджені гази, озброєння та інші) надають обмежені ресурси для операцій, кількість спеціального автомобільного транспорту (ЗАТО ПС ДА), що задіяні в обслуговуванні ПС ДА тісно пов'язана з операціями з передпольотної підготовки. Однак дослідження здебільшого зосереджені на проблемі планування роботи в разі детермінованої конфігурації складів з фіксованими ресурсами.

У сучасних наукових та прикладних дослідженнях особливої актуальності набуває імітаційне моделювання, що дозволяє детально відтворювати функціональні особливості та динаміку розвитку складних явищ. Залежно від методологічного підходу та складу учасників, імітаційні моделі класифікують на ігрові, де основний акцент зміщено на рольову взаємодію людей, та суто машинні, які функціонують як автономні програмні аналоги досліджуваних систем. Окреме місце в цій ієрархії посідають людино-машинні моделі, що представляють собою інтерактивні діалогові системи для симуляції реальних соціальних чи технічних процесів. Їхня ключова перевага полягає в інтеграції евристичного досвіду фахівців безпосередньо в обчислювальний

цикл, що дозволяє поєднувати когнітивні можливості експерта з високою швидкістю обробки даних комп'ютерними системами для отримання найбільш достовірних прогнозів [39].

Впровадження імітаційного моделювання передбачає послідовне уточнення цифрового аналога об'єкта через серію зворотних зв'язків: від початкової концептуалізації до емпіричної верифікації даних. Кожен цикл моделювання дозволяє чітко окреслити напрямки необхідних додаткових досліджень, результати яких інтегруються в оновлені версії моделі. Головна цінність методу полягає у переході до модельного експерименту, який імітує реакції об'єкта на різноманітні сценарії та обмеження, виступаючи ефективною та гнучкою альтернативою традиційним природним експериментам.

Особливо доцільно використовувати імітаційне моделювання саме для вирішення задач пов'язаних з підготовкою наземних авіаційних спеціалістів для суб'єктів ДА, саме для цих задач визначально і використовувалось саме імітаційне моделювання.

1.2 Аналіз сучасного стану теорії та практики з визначення ефективної стратегії управління запасами при обслуговуванні повітряних суден

Обслуговування ПС ДА включає капітальний ремонт, ремонт, огляд, заміна, модифікація або усунення дефекту ПС ДА чи комплектуючих або будь-яка комбінація цих робіт, за винятком передпольотного огляду. Для ефективного виконання цих робіт необхідно створювати запаси в складських системах на аеродромах ДА.

Головною метою обслуговування ПС ДА на будь-якому сучасному аеродромі ДА або аеропорту цивільної авіації – є ефективна організація процесу обслуговування ПС ДА шляхом максимального скорочення терміну обслуговування та підготовки. В наш час зліт та посадка ПС ДА на аеродромі ДА можуть здійснюватися з періодичністю в кілька хвилин, а такий режим роботи дає велике навантаження на всі служби та підрозділи АТЗ польотів ПС

ДА суб'єктів ДА [40]. Тому необхідно розробляти сучасні підходи, які б дозволяли вирішувати завдання по оптимізації взаємодії всіх ланок обслуговування ПС ДА, в тому числі, складських систем та вибір раціональних стратегій управління запасами.

Головне завдання менеджменту полягає у пошуку оптимального балансу між конфліктними цілями різних підрозділів задля забезпечення інтересів підприємства як єдиної системи. Досягнення високих кінцевих результатів і максимізація ефективності торговельної діяльності стають можливими лише за умови впровадження науково обґрунтованих методів управління запасами. Це передбачає адаптацію успішного світового досвіду та широку імплементацію передових інформаційних технологій, що дозволяють здійснювати точне прогнозування та оперативний контроль логістичних процесів у режимі реального часу [41].

Склад – це комплекс виробничих будівель, інженерних споруджень, підйомно-транспортних машин і устаткування, засобів обчислювальної техніки (керуючих, регулюючих і контролюючих його роботу), призначений для приймання, розміщення, накопичення, збереження, переробки, відпуску і доставки продукції споживачам [42].

У сучасній ринковій економіці змінився сам зміст поняття «склад», від споруди для збереження матеріальних цінностей, до ефективного засобу управління запасами на різних ділянках логістичного ланцюга і матеріальних потоків в цілому [43].

Проблема ефективного управління запасами має універсальний характер і є актуальною для суб'єктів господарювання незалежно від їхньої галузевої приналежності чи форми власності [44]. Формування певного обсягу запасів зумовлене низкою об'єктивних чинників, серед яких пріоритетним є забезпечення безперервності та стабільності виробничого циклу. Наявність оптимального резерву матеріальних (матеріально-технічних) ресурсів виступає базовою умовою операційної стійкості підприємства, оскільки дефіцит необхідних компонентів може призвести до дезорганізації процесів та суттєвих економічних втрат [45].

Окрім базової потреби в забезпеченні виробництва, вагомим чинником формування запасів є сезонний характер постачання окремих видів ресурсів. Це зумовлено обмеженими часовими вікнами для логістики певних сировинних категорій, таких як річковий пісок для будівельної індустрії чи сільськогосподарська продукція для переробних підприємств, що змушує суб'єктів господарювання накопичувати значні обсяги активів для стабільної роботи протягом усього року. При плануванні таких резервів критично важливо враховувати динаміку ринку: розширення товарного асортименту провокує скорочення життєвого циклу продукції та безпосередньо корегує стратегію взаємодії з партнерами й конкурентами.

З фінансової точки зору запаси розглядаються як заморожений оборотний капітал, тому підвищення ефективності виробничих процесів прямо залежить від мінімізації їхнього рівня. Ключовим критерієм оптимізації в даному випадку виступає сукупна величина витрат на закупівлю та подальше утримання ресурсів. Структура витрат на здійснення закупівель є комплексною і включає в себе видатки на адміністрування та оформлення замовлень, супровід договірної діяльності, а також транспортні витрати та витрати на складську логістику [46].

Варто зауважити, що структура видатків при формуванні замовлення характеризується неоднорідністю: певна частина витрат є фіксованою і не корелює з обсягом партії, тоді як інші складники, зокрема транспортні та складські операції, перебувають у прямій детермінованій залежності від кількісних параметрів поставки [47].

Фундаментальну основу сучасної системи управління запасами складають інструментарій для моніторингу внутрішнього стану ресурсів і зовнішньої кон'юнктури, а також формалізовані правила прийняття управлінських рішень щодо формування складських активів. Практична імплементація цих правил здійснюється через інтеграцію в спеціалізоване програмне забезпечення або шляхом розробки детальних операційних регламентів для персоналу [48].

У науковій та практичній діяльності з регулювання ресурсів критично важливе значення має точне визначення моменту ініціації закупівлі, що позначається як точка замовлення, а також обґрунтування необхідного обсягу партії постачання [49].

Особливої уваги заслуговує концепція «виробництва без складів», де обсяги випуску продукції суворо лімітовані поточними потребами збуту. За такої моделі закупівля вихідної сировини та компонентів здійснюється виключно в межах, необхідних для задоволення реального попиту в конкретний момент часу. Сутність даного підходу, відомого в міжнародній практиці як Just-in-Time (Точно в строк), полягає у виготовленні лише затребуваного продукту, строго у визначений термін та в обсязі, що відповідає актуальному замовленню [50].

Дослідницька робота [51] присвячена проблемі вибору багатoproфільного постачальника з управлінням запасами і розподілом спеціального автомобільного транспорту (ЗАО ПС ДА) в невизначених умовах. У цій статті розроблений надійний підхід до зваженого цільового програмування для вирішення проблеми вибору постачальників з декількох продуктів. Мета полягає в тому, щоб врахувати невизначеність параметрів, контролюючи вплив помилок оцінки на ефективність стратегії закупівель. У запропонованій моделі загальні витрати, відхилені позиції і товари з пізньої доставкою розглядаються як три мети, які необхідно мінімізувати в період прийняття рішень.

Авторами в [52] було визначено, що вибір позицій, в яких товари повинні зберігатися на складах, є важливим завданням в управлінні логістикою, оскільки це рішення може вплинути на вартість і рівень обслуговування всього ланцюжка поставок. Розподіл продуктів за доступними площами на складах може скоротити загальну відстань, необхідне для навантажувально-розвантажувального обладнання і людей для зберігання, переміщення та зберігання на складі. Таким чином, правильне призначення може привести до зниження витрат на електроенергію, скорочення числа навантажувачів і людей, а також часу, необхідного для таких операцій в сховищах. З цієї причини дуже

важливо створення оптимальних місць зберігання, пошук кращих умов прибутковості та рівня обслуговування в компаніях. У цій статті представлена математична модель для розподілу товарів в доступних складських приміщеннях на складах, заснована на мінімізації загальної відстані, необхідного для глобальної операції складу.

Автором Олініченко К.С. у межах дослідження проведено систематизацію концептуальних підходів до структурування механізму управління товарними запасами, а також обґрунтовано необхідність упорядкування всього спектра чинників, що визначають специфіку формування та ефективність використання складських активів у роздрібній торгівлі. Крім того, здійснено комплексний аналіз детермінант зовнішнього середовища, які безпосередньо корегують управлінські процеси та визначають стабільність функціонування системи менеджменту запасів торговельних підприємств у сучасних ринкових умовах [53].

У статті [54] висвітлюється проблема моделювання системи зберігання-розподілу, в якій товари відправляються зі складу готової продукції безпосередньо покупцям на основі мінімальних взаємопов'язаних витрат на виробництво, зберігання і транспортування. Псевдокод, заснований на припущеннях специфікації, супроводжуваних наступним проектом, також підкреслюється. Різні моделі диспетчеризації підлягають аналізу витрат. Рівняння стану системи представлені для того, щоб проілюструвати потік продуктів в розподільчій частини логістичного ланцюжка.

Авторами Кулик А.Б. та Манжос Т.В. розроблено математичний інструментарій для регулювання товарних потоків у межах вертикально інтегрованої холдингової структури, що охоплює дворівневий технологічний цикл. Методологія побудови моделі базується на застосуванні функцій витрат, де головним орієнтиром для вибору стратегії управління обрано мінімізацію сукупних логістичних видатків всієї системи.

Авторами науково обґрунтовано, що за визначених загальних умов знайдені параметри забезпечують досягнення глобального оптимуму для

холдингу як цілісного організму. Практична спроможність запропонованого алгоритму підтверджена на прикладі реального об'єкта господарювання: на основі трирічної статистичної звітності було формалізовано витратні характеристики, детально досліджено динаміку споживчого попиту та сформовано ймовірнісний прогноз на перспективу. Підсумкова математична модель дозволяє не лише встановлювати цільовий рівень консолідованого запасу для всього підприємства холдингового типу, а й розраховувати диференційовані нормативи резервів для кожної окремої виробничої ланки [55].

Методологія «точно в строк» (Just-in-Time), що набула глобального визнання завдяки успішній імплементації в Японії та країнах Заходу, ґрунтується на трьох фундаментальних принципах, неодноразово підтверджених практичним досвідом [56].

Метод управління за точкою переказу, або точкою замовлення, ґрунтується на визначенні критичного порогу складських залишків, досягнення якого слугує автоматичним сигналом для ініціації процедури поповнення ресурсів [57].

Метод «точно в строк» (Just-in-Time) базується на принципі максимальної синхронізації логістики та виробництва, коли доставка матеріалів здійснюється безпосередньо перед початком їхньої обробки. Такий підхід дозволяє суттєво скоротити обсяги проміжних складських запасів, вивільняючи оборотний капітал підприємства. Проте успішна імплементація цієї системи вимагає переходу до потокового принципу організації виробництва. Це створює певні обмеження для великих промислових об'єктів із серійним типом випуску, де повна синхронізація всіх етапів ланцюга постачання не завжди є технічно чи економічно досяжною [58].

Група компаній «Нова Пошта» ініціювала будівництво масштабного сортувального хабу поблизу міжнародного аеропорту «Бориспіль», що охоплюватиме площу близько 35000 м². Концепція об'єкта передбачає створення багатофункціонального логістичного простору, де розмістяться потужності «Нова Пошта Глобал» для опрацювання міжнародного трафіку,

підрозділи внутрішнього фулфілменту, а також високотехнологічні корпуси для сортування посилок і важких вантажів. Особливий акцент у реалізації проєкту зроблено на застосуванні передових систем автоматизації та робототехніки, що забезпечить високу пропускну здатність та ефективність операційних процесів терміналу. Дане розширення інфраструктури є прикладом переходу до концепції Smart Logistics, де географічна близькість до авіаційного вузла поєднується з інтелектуальними системами розподілу вантажів. [59].

Аналіз роботи складської системи підприємства за 2020 рік по переробці відповідних видів вантажів дозволив визначити мінімальні та максимальні значення параметрів (табл.1.3): середній розмір партії, коефіцієнт варіації попиту, інтенсивність надходження заявок.

Таблиця 1.3 – Значення зміни показників роботи складської системи підприємства

Параметри Значення	Середній розмір партії, т.	Коефіцієнт варіації попиту	Інтенсивність надходження заявок, од./доб.
Мінімальне	0,5	0,1	1
Максимальне	4	0,3	20

Міжнародні аеропорти України надають послуги по зберіганню вантажів на складах, а також здійснюють обслуговування ПС, які здійснюють перевезення пасажирів та вантажів. Так, наприклад, вантажний термінал Харківського аеропорту має площу 1100 м² [60], здатний забезпечити обробку 10 тон вантажів на годину в тому числі в митному режимі імпорتنих і експортних вантажів. Можлива обробка наступних категорій вантажів: звичайні вантажі, спеціальні вантажі (великогабаритні, цінні, небезпечні та швидкопсувні вантажі, тварини, лікарські засоби і вироби медичного призначення). Митний вантажний термінал обладнаний відповідно до європейських стандартів безпеки. Вантажний термінал надає наступний

комплекс складських послуг: митне оформлення вантажів в режимі імпорту і експорту; зберігання (в тому числі консигнаційних вантажів); навантаження-розвантаження, комплектація партій; виписка товаросупровідних документів; доставка вантажоодержувачам.

1.3 Визначення раціонального розподілу ресурсу спеціального автомобільного транспорту при обслуговуванні повітряних суден державної авіації як задачі лінійного програмування

Обслуговування ПС ДА за типовими технологічними графіками досить трудомісткий процес не тільки з точки зору виконання технологічних операцій, а й з точки зору технології планування виконання такого типу робіт. Досить часто такі види робіт з визначення необхідної кількості транспортних засобів та спеціального обладнання, та розстановка їх за місцями обслуговування виконується вручну, та з великим запасом ресурсних можливостей.

З огляду на вимоги ринкового середовища та висновки, отримані в ході бойових дій на Сході України, актуальним напрямом модернізації військ є інтеграція сучасних логістичних підходів у систему автотехнічного та електрогазового забезпечення польотів ПС ДА. Ефективна трансформація цієї галузі вимагає розробки системних програм розвитку, успішна імплементація яких сьогодні безпосередньо залежить від рівня використання інформаційного інструментарію як базової умови досягнення високих показників операційної стійкості [61].

Найважливішою тенденцією стає перехід від застосування комп'ютерів для вирішення важливих, але часто ізольованих завдань до створення комплексних інформаційних систем служб та підрозділів АТЗ польотів ПС ДА суб'єктів ДА [62].

Питання визначення оптимального розподілу ресурсу спеціального автомобільного транспорту (ЗАО ПС ДА) відносяться до задач лінійного програмування. Лінійне програмування є одним із найбільш досліджених та розроблених розділів математичного програмування, який застосовують під час

розв'язання оптимізаційних задач при знаходженні максимального (мінімального) значення цільової функції в певній області, що визначається заданими обмеженнями [63]. Разом з основною задачею – обґрунтування оптимальних рішень вирішуються й інші важливі прикладні задачі:

- порівняльна оцінка різних варіантів організації операції;
- оцінка впливу на результат операції різних варіантів її організації;
- дослідження функціонування систем у різних експлуатаційних умовах.

Лінійне програмування – це наука про методи дослідження та відшукування екстремальних (найбільших і найменших) значень лінійної функції, на невідомі якої накладено лінійні обмеження. Ця лінійна функція називається цільовою, а обмеження, які математично записуються у вигляді рівнянь або нерівностей, називаються системою обмежень.

Вирішення такого роду задач зустрічається у найрізноманітніших сферах практики - організація виробництва і постачання, експлуатація спеціального автомобільного транспорту (ЗАО ПС ДА), бойові дії і озброєння, розстановка кадрів, побутове обслуговування, охорона здоров'я, зв'язок, обчислювальна техніка тощо. Часто виникають завдання, подібні між собою по постановці, що володіють рядом загальних ознак і можуть бути вирішені подібними методами, які зручно об'єднувати під загальною назвою «завдання дослідження операцій» [64].

Значний вклад у теорію та методи лінійного програмування внесли С. С. Гасс, А. Таккер, Р. Гоморі, Г. Кун, Т. Саати, Г. Вагнер, Д. Б. Юдин, Е. Г. Гольштейн, В. А. Булавський, Г. Ш. Рубинштейн, С. І. Черников, С. І. Зуховицький та інші, (класична транспортна задача була сформована Ф. Хічкоком у 1941 р.).

Методологія лінійного програмування базується на розв'язанні систем лінійних рівнянь та нерівностей у ситуаціях, коли взаємозв'язки між досліджуваними явищами мають суворо функціональний характер [65-68]. Цей підхід вимагає чіткої математичної формалізації змінних, суворого дотримання алгоритмічної послідовності обчислень та глибокого логічного аналізу отриманих результатів. Ефективне застосування методу стає можливим лише за

умов кількісної визначеності всіх чинників та їхньої взаємозамінності в межах заданих розрахунків, де абстрактна математична логіка поєднується з ґрунтовним розумінням сутності досліджуваного процесу.

Процес пошуку рішення зводиться до селекції єдиного оптимального варіанта з усього масиву допустимих альтернатив, що є критично важливим для підвищення ефективності управління. Фундаментальна цінність лінійного програмування в економічному аналізі полягає у здатності опрацьовувати надзвичайно велику кількість сценаріїв, де використання інших аналітичних способів є практично неможливим через високу складність та обсяг обчислень. Загальна класифікація задач лінійного програмування представлена на рисунку 1.2.

Методи лінійного програмування застосовуються для вирішення задач пов'язаних з обороноспроможністю країни. Так автор [69] науковій праці обґрунтував методологічний підхід до визначення раціональної структури та кількісного складу озброєння мобільних тактичних груп, призначених для стримування противника на розтягнутих ділянках фронту. Теоретичний базис даної методики складає математичний апарат лінійного програмування загального виду, що дозволяє оптимізувати розподіл ресурсів у межах заданих операційних обмежень. При побудові моделі було інтегровано критичні змінні, зокрема вогневі спроможності базового підрозділу, що виступає основою для формування групи, а також прогнозу величину шкоди, що завдається ворожому озброєнню та військовій техніці в ході бойового зіткнення. Процес оцінювання оборонного потенціалу власних сил здійснюється через системне порівняння вогневих потенціалів протиборчих сторін, що забезпечує математичну обґрунтованість висновків щодо достатності обраної конфігурації озброєння для ефективного виконання бойових завдань у межах визначеного фронту.

Мережеві графіки досить наочно дозволяють вирішувати задачі, що пов'язані з визначенням кількості спеціального автомобільного транспорту (ЗАО ПС ДА) та розробкою графіків доставки вантажів. Автором [70] запропонована модель наземного (АТЗ) забезпечення польотів ПС ДА, яка

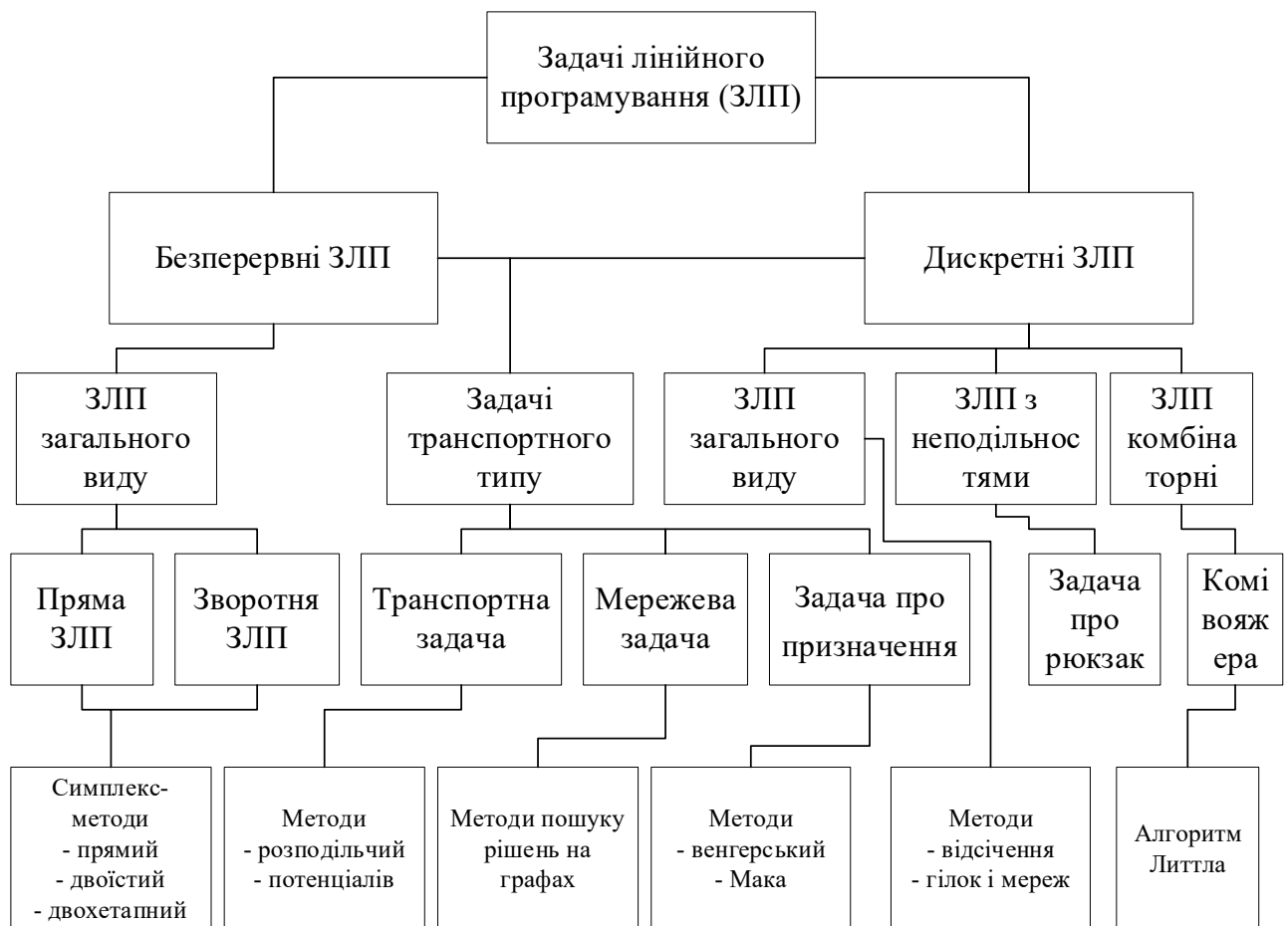


Рисунок 1.2 – Загальна класифікація задач лінійного програмування

враховує показники раціональних маршрутів перевезення, графіки доставки та точність термінів. Всі роботи проводяться по мережевому графіку. Логістична модель підвищить ефективність транспортного процесу, зменшить витрати на перевезення, та призведе до збільшення економічного ефекту перевізного процесу.

У дослідженні [71] розглядається визначення мінімальної кількості вантажних автомобілів та маршруту транспортування твердих побутових відходів, де надані вантажівки мають різну місткість. У цьому дослідженні евристичний метод використовує жадібний алгоритм, оскільки очікується, що оптимальний локальний оптимум приведе до глобального рішення, так що глобальна очікувана загальна вартість може бути оптимальною.

Дослідження [72] спрямоване на визначення маршруту для оцінки необхідної кількості вантажівок за рахунок періодичної доставки. Маршрут

розповсюдження розроблено з використанням матричного алгоритму для кластеризації рітейлерів одним маршрутом, тоді як порядок доставки отримується методом Найближчого сусіда.

1.4 Використання блочно-модульного принципу побудови засобів аеродромно-технічного обслуговування повітряного судна державної авіації, їх маневреність

Блочно-модульний метод побудови транспортних і транспортно-технологічних машин дозволяє підвищити ефективність їх використання завдяки зменшенню парку ЗНЗП ПС ДА. Блочно-модульний принцип знайшов використання в автомобілебудуванні, тракторобудуванні та дорожньо-будівельній техніці. Принципам раціонального формування модульних будівельних і дорожніх машин присвячено роботу І.Г. Кириченка [73]. У цій роботі сформульована концепція функціонально-технологічного аналізу сукупності технічних об'єктів, що збираються з модульних елементів, а також розроблена методика синтезу і оптимізації комп'ютерних рішень технологічних машин, що складаються з функціональних та конструктивних модулів. Однак автор роботи [73] обмежився тільки розглядом будівельних і дорожніх машин.

Дослідженню питань модульної побудови ЗНЗП ПС ДА під час ведення бойових дій ДА присвячено роботи В.В. Кириченка [74-76]. В роботі [76] показано, що використання модульних ЗАТО польотів ПС ДА дозволяє скоротити витрати палива за годину на 28,7%. В роботі показано, що при модульній побудові ЗНЗП ПС ДА здійснюється зменшення питомої витрати палива з 326 г/(кВт·год) до 217-231 г/(кВт·год). Це зменшення обумовлено тим, що в якості енергомодуля використовується трактор з дизельним двигуном, а не автомобіль з карбюраторним бензиновим двигуном [74-76].

Таким чином, на мій погляд подальшим напрямком підвищення енергоефективності блочно-модульної ЗАТО ПС ДА є використання енергомодулів з електричним приводом ведучих коліс.

1.5 Поліпшення енергоефективності засобів аеродромно-технічного обслуговування повітряного судна державної авіації

Проведені раніше дослідження дозволили отримати результати, що свідчать про наявність резервів зменшення непродуктивних втрат енергії двигуна колісної машини [77-97]. Важливим є також забезпечення високих показників енергоефективності колісних машин в процесі експлуатації, що визначає стабільність їхнього функціонування. Питанню дослідження і забезпечення функціональної стабільності колісних машин, а більш конкретніше – стабільності показників енергоефективності колісних машин присвячено наступні роботи: [77, 98-104]. В дослідженні [77] запропоновано енергетичний підхід до оцінки стабільності поступального руху автомобіля та при виконанні маневру. Також запропоновано показник енергетичної завантаженості автомобіля [77] – рівень енергетичної завантаженості, який визначається наступною залежністю

$$Y_w = \frac{2N_{e\max}}{m_{\text{пов}} \cdot V_{\max}^2}, \quad (1.1)$$

де $N_{e\max}$ – максимальна ефективна потужність двигуна;

$m_{\text{пов}}$ – повна маса автомобіля;

$V_{\max}$ – максимальна швидкість руху автомобіля.

В таблиці 1.4 для 12 моделей автомобілів наведено рівень енергетичної навантаженості в якості прикладу [77]. Для порівняння в цій таблиці наведено також показники питомої потужності автомобілів

$$N_{\text{нм}} = \frac{N_{e\max}}{m_{\text{пов}}}, \quad (1.2)$$

які раніше використовувалися для оцінки енергонавантаженості автомобілів [77, 98, 99]. Порівняльний аналіз показників Y_w та $N_{\text{нм}}$, що наведено в таблиці 1.4, показує менше розсіювання по відношенню до $N_{\text{нм}}$. Це свідчить,

Таблиця 1.4 – Рівень енергетичної завантаженості 12-ти моделей легкових автомобілів [77]

№ п.п	Модель автомобіля	Рік випуску	Максимальна швидкість $V_{\max}$		Максимальна потужність двигуна $N_{\max}$		Повна маса $m_{\text{пов}}, \text{кг}$	Максимальна кінетична енергія автомобіля ($W_{\text{кін}})_{\max},$ кДж	$\gamma_w,$ кВт/Дж	$N_{\min},$ кВт/Т
			м/с	км/год	к.с.	кВт				
1	ЗАЗ-966	1968	33,33	120	43	32	1080	28,63	0,053	28,63
2	М-408	1964	33,33	120	50	36,75	1330	27,63	0,050	27,63
3	М-412	1967	38,89	140	75	55	1340	41,04	0,054	41,04
4	ВАЗ-2101	1970	38,89	140	60	44	1345	32,71	0,043	32,71
5	ВАЗ-2112	2004	47,22	170	91	66,7	1500	44,77	0,040	44,77
6	ГАЗ-21	1965	36,11	130	75	55	1875	29,33	0,045	29,33
7	ГАЗ-24	1968	40,28	145	98	72	1825	39,45	0,049	39,45
8	ГАЗ-13	1959	44,44	160	195	143	2625	54,48	0,055	54,48
9	ЗІЛ-111Г	1963	47,22	170	200	147	3130	46,96	0,042	46,96
10	ЗІЛ-114	1967	52,77	190	300	220	3610	60,94	0,044	60,94
11	Honda S2000	1999	66,67	240	241	177	1535	115,37	0,052	115,37
12	Volvo VT0T5	2004	58,33	210	180	132	2100	62,86	0,037	62,86

що показник Y_w є більш перспективним до використання, тому що дозволяє не тільки порівнювати між собою сучасні моделі, але і прогнозувати параметри $N_{e\max}$, $m_{нов}$, $V_{\max}$ для перспективних моделей автомобілів [77, 94, 95, 98, 99].

Величина, що обернена до Y_w , являє собою показник енергетичної ефективності автомобіля [77, 94, 95].

$$E_w = \frac{1}{Y_w} = \frac{m_{нов} \cdot V_{\max}^2}{N_{e\max}}. \quad (1.3)$$

В роботі [77] показано також, що причиною погіршення енергоефективності автомобілів може бути функціональна нестабільність ходової частини (наявність дисбалансу на колесах передньої та задньої осей). При русі автомобіля крабом [77] також зменшуються витрати енергії у порівнянні з традиційним поворотом.

Використання автомобілів з електричним і комбінованим електромеханічним (гібридним) приводом ведучих коліс дозволяє зменшити витрати енергії двигуна та поліпшити енергоефективність колісних машин [78, 105, 106].

В роботах [78, 105, 106] врахування непродуктивних витрат енергії в моторно-трансмісійній установці гібридного автомобіля запропонована коефіцієнт непродуктивних втрат енергії автомобіля

$$\eta_{\Delta W} = \frac{\Delta W}{A_0} = \frac{K_1}{2\pi} (1 - K_{ed}), \quad (1.4)$$

де A_0 – робота сил зовнішнього опору руху автомобіля,

$$A_0 = S \Sigma P_0; \quad (1.5)$$

S – шлях, що пройдено автомобілем;

ΣP_0 – сума сил зовнішнього опору руху автомобіля;

ΔW – додаткові витрати енергії автомобіля, що обумовлені нерівномірністю крутного моменту;

K_1 – коефіцієнт нерівномірності крутного моменту [107];

K_{ed} – доля крутного моменту, що створюється на ведучих колесах електродвигунами [78, 105, 106].

В таблиці 1.5 наведено результати розрахунку коефіцієнта $\eta_{\Delta W}$ додаткових витрат енергії для автомобілів з різним числом циліндрів ДВЗ та коефіцієнтом K_{ed} .

Таблиця 1.5 – Коефіцієнт $\eta_{\Delta W}$ додаткових витрат енергії [78, 105, 106]

$i_{ц}$	$\eta_{\Delta W}$					
	$K_{ed} = 0$	$K_{ed} = 0,2$	$K_{ed} = 0,4$	$K_{ed} = 0,6$	$K_{ed} = 0,8$	$K_{ed} = 1,0$
1	2,310	1,849	1,386	0,924	0,462	0
2	1,162	0,929	0,697	0,464	0,232	0
4	0,587	0,470	0,352	0,235	0,117	0
6	0,396	0,317	0,237	0,158	0,079	0
8	0,300	0,24	0,180	0,120	0,060	0
10	0,242	0,194	0,145	0,097	0,048	0
12	0,204	0,163	0,123	0,082	0,040	0

Аналіз результатів розрахунку коефіцієнту непродуктивних втрат енергії $\eta_{\Delta W}$, що наведено в таблиці 1.5, показує що зі збільшенням кількості циліндрів ДВЗ ці втрати зменшуються. Зі збільшенням коефіцієнту K_{ed} величина $\eta_{\Delta W}$ зменшується і при відсутності ДВЗ ($K_{ed} = 1$) величина $\eta_{\Delta W} = 0$.

В роботі [98] запропоновано показник енергетичної ефективності автомобіля – енергетична економічність, який дозволил узагальнити відомі показники на автомобілі з альтернативними джерелами енергії. Визначені витрати енергії на одиницю довжини шляху, який пройдено [98]

$$\frac{\Delta W_{\partial}}{S_M} = \frac{m_a \cdot g \cdot \psi + K_x \cdot F \cdot V^2}{\eta_e \cdot \eta_{mp}}, \quad (1.6)$$

де ΔW_{∂} – зміна енергії джерела за час руху автомобіля на вимірній ділянці шляху;

S_M – довжина вимірної ділянки шляху;

m_a – маса автомобіля;

g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

ψ – коефіцієнт сумарного дорожнього опору;

F – площа лобового перерізу (мідель) автомобілю;

K_x – коефіцієнт опору повітря;

V – миттєва швидкість автомобіля;

η_e – ефективний коефіцієнт корисної дії двигуна;

η_{mp} – коефіцієнт корисної дії трансмісії.

Якщо визначати [98] вимірну кількість енергії $\Delta W_{\partial M}$ джерела, то пройдений автомобілем при витраті зазначеної кількості енергії буде дорівнювати

$$S = \Delta W_{\partial M} \cdot \frac{\eta_e \cdot \eta_{mp}}{m_a \cdot g \cdot \psi + K_x \cdot F \cdot V^2}, \quad (1.7)$$

Таким чином, використання енергетичних модулів з електричним приводом ведучих коліс для ЗАТО ПС ДА є перспективним напрямом, що дозволяє підвищити енергоефективність парку цих ЗАТО ПС ДА.

1.6 Висновки за розділом 1 та постановка завдань дослідження

1. У першому розділі дисертаційної роботи проведено комплексний аналіз сучасного стану та проблем наземного (АТЗ) забезпечення польотів ПС ДА на аеродромах ДА, що дозволило встановити стратегічне значення ДА для

підтримання суверенітету та оборонного потенціалу держави в умовах воєнного стану. Дослідження наявної технологічної бази засвідчило, що на теперішній час основним інструментом логістичного забезпечення передпольотної підготовки є спеціальна автомобільна техніка (ЗАТО ПС ДА), яка працює переважно за принципом закріплення одного автомобіля (ЗАТО ПС ДА) за одним ПС ДА. Виявлено, що така схема обслуговування характеризується значними недоліками, зокрема тривалими простоями дороговартісного обладнання під час заправки та високою потребою у водіях і технічному персоналі для кожної одиниці спеціальної техніки.

2. Аналіз нормативно-правового регулювання показав, що чинні методики розрахунку кількості ЗНЗП ПС ДА мають детермінований характер і не враховують стохастичність процесів, імовірність поламок спеціальної техніки або збоїв у ланцюгах постачання, що призводить до зниження боєздатності авіаційних підрозділів ДА. Обґрунтовано доцільність переходу до використання багатоланкових модульних ЗАТО ПС ДА, які дозволяють оптимізувати доставку технологічних матеріалів та підвищити мобільність служб та підрозділів АТЗ польотів ПС ДА суб'єктів ДА.

3. Систематизація наукових підходів до управління запасами та логістичними потоками підтвердила ефективність впровадження концепцій «точно в строк» та економічно обґрунтованого замовлення для синхронізації роботи складських систем аеродромів ДА за існуючими потребами. Встановлено, що розв'язання задачі раціонального розподілу ресурсів потребує застосування математичного апарату лінійного програмування та імітаційного моделювання, що дозволить відійти від суб'єктивного ручного планування та забезпечити мінімізацію сукупних витрат при дотриманні жорстких часових регламентів підготовки ПС ДА до вильоту. Таким чином, результати аналізу підтвердили актуальність обраного напрямку дослідження та сформували необхідне теоретичне підґрунтя для розробки нових транспортно-технологічних схем обслуговування ПС ДА.

4. Використання концепції блочно-модульної побудови спеціальної техніки для наземного (АТЗ) забезпечення польотів ПС ДА дозволяє не тільки підвищити коефіцієнти технічної готовності і використання парку ЗАТО ПС ДА, але і зменшити розміри цього парку (кількість ЗАТО ПС ДА) та витрати енергії та палива. Перехід на використання енергетичних модулів з електричним приводом дозволяє також зменшити додаткові непродуктивні витрати енергії, що підвищує енергоефективність парку ЗАТО ПС ДА. Використання енергетичних модулів в цьому випадку дозволяє значно простіше використання їх в режимі безпілотного та автоматичного управління.

Результати проведеного аналізу літературних джерел і отримані висновки дозволили сформулювати наступні завдання дослідження:

- провести теоретичні дослідження визначення раціонального розподілу ресурсу спеціального автомобільного транспорту – засобів аеродромно-технічного обслуговування для підготовки повітряних суден на аеродромах державної авіації;
- провести теоретичне дослідження можливості використання енергетичних модулів з електричними двигунами;
- провести експериментальні дослідження динамічних характеристик безпілотного енергомодуля з електричним приводом ведучих коліс.

Основні результати дослідження по даному розділу опубліковані в роботах [4, 5, 6].

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ РЕСУРСУ СПЕЦІАЛЬНОГО АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ПОВІТРЯНОГО СУДНА НА АЕРОДРОМАХ ДЕРЖАВНОЇ АВІАЦІЇ

2.1 Структура технології обслуговування повітряних суден державної авіації

До основних завдань ДА відносяться:

- авіація ЗСУ:
- авіація Повітряних Сил (ПС ЗСУ) – завоювання переваги у повітрі; забезпечення охорони повітряного простору; ураження наземних та морських цілей; вогнева підтримка сухопутних військ; виконання заходів повітряної розвідки; евакуація поранених; проведення пошуково-рятувальних операцій; протиповітряного прикриття важливих державних та військових об'єктів; здійснення повітряних перевезень (аеромедичної евакуації).

До складу ПС ЗСУ належать:

- тактична авіація: винищувальна Су-27, МіГ-29, бомбардувальна Су-24М, штурмова Су-25, розвідувальна Су-24МР, Ан-30;
- транспортна авіація: транспортні Іл-76МД, Ан-26, спеціальні ПС.
- армійська авіація Сухопутних військ (АА СВ) – вогнева підтримка наземних військ; знищення малорозмірних наземних цілей та живої сили противника; боротьба з повітряними цілями на малих висотах; транспортування та висадка десантів; виконання заходів повітряної розвідки та радіоелектронної боротьби; забезпечення маневру; військ; евакуація поранених.

До складу АА СВ належать авіаційні бригади, які використовує переважно вертольоти: бойові типу Ми-24 та транспортно-бойові типу Ми-8.

- авіація Військово-морських Сил (ВМС ЗСУ) – ураження морських

цілей; вогнева підтримка висадки морських десантів; пошук підводних цілей; боротьба з повітряними цілями на малих висотах; виконання заходів повітряної розвідки; виконання заходів повітряної розвідки та радіоелектронної боротьби; евакуація поранених; проведення пошуково-рятувальних операцій; протиповітряного прикриття важливих морських державних та військових об'єктів; здійснення повітряних перевезень та евакуація поранених.

До складу авіації ВМС ЗСУ належать морська авіаційна бригада, яка використовує переважно: вертольоти бойові типу Ка-52, транспортні літаки типу Ан-26.

– авіація Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНСУ) – завдання з гасіння масштабних пожеж (лісових, об'єктів), проведення пошуково-рятувальних операцій, аеромедичної евакуації, доставки рятувальників та вантажів у важкодоступні зони.

До складу авіації ДСНСУ належать спеціальний авіаційний загін, який використовує вертольоти типу Ми-8, спеціальні літаки типу Ан-32П.

– авіація Державної прикордонної служби України (ДПСУ) – повітряний моніторинг кордону, патрулювання територіального моря, виявлення протиправної діяльності (контрабанди, міграції), повітряні перевезення особового складу, військової техніки, евакуація поранених та забезпечення підрозділів та підтримку наземних підрозділів. Пілотована та безпілотна авіація (БПЛА) гарантує швидке реагування, припинення діяльності диверсійно-розвідувальних груп та здійснює моніторинг екологічного стану.

Авіаційні підрозділи ДПСУ використовують легкі патрульні ПС Diamond DA20, DA40, DA42 та вертольоти Airbus H125.

– авіація Служби безпеки України (СБУ) – захист державного суверенітету, конституційного ладу та територіальної цілісності, контррозвідувального захисту, боротьби з тероризмом, а також виконання спеціальних завдань у зонах бойових дій, включаючи мобільну підтримку спецпризначенців, використання БПЛА та знищення ворога.

Авіаційні підрозділи використовують різні типи ПС ДА.

– авіація Національної поліції України (НПУ), є частиною єдиної Системи авіаційної безпеки Міністерства внутрішніх справ України та призначена для оперативного реагування на загрози, охорони правопорядку, аеромедичної евакуації, пошуку та порятунку людей, перевезення особового складу та вантажів, а також підтримки спецпідрозділів.

Авіаційні підрозділи використовують сучасні гелікоптери Airbus H-125, H-145, H-225, а також інші літальні апарати.

– авіація Національної гвардії України (НГУ) виконує бойові завдання, тактичних повітряних перевезень особового складу, озброєння, боєприпасів, а також евакуації поранених і хворих, забезпечує підтримку підрозділів НГУ, участь у стабілізаційних діях, охорону критичної інфраструктури та участь в обороні України.

Значення ДА обумовлене перевагами наявності різних родів авіації, яка використовується як у мирний та воєнний час. На теперішній час військово-повітряна міць стала сутністю військової переваги будь-якої країни для підтримання суверенітету країни в мирний час і здатності до наступальних дій для перемоги у війні через знищення життєво важливих об'єктів противника, стримування перекидання військ і військових поставок.

Армії всього світу використовують ПС ДА як у наступальних, так і в оборонних цілях. У наступальних цілях ПС ДА використовуються для знищення життєво важливих об'єктів противника, злітно-посадкових смуг (ЗПС) аеродромів, пунктів управління, складів боєприпасів та матеріально-технічних засобів. В оборонних цілях ПС ДА забезпечують безпосередню підтримку з повітря наземних військ, а також стримує загрози повітряного удару противника. На морському театрі бойових дій авіація відіграє важливу роль щодо виявленні та нейтралізації підводних човнів і військових кораблів, з метою захисту морського узбережжя від атак противника. Державна авіація також забезпечує матеріально-технічне забезпечення передових баз, здійснює повітряні перевезення (вантажі та війська) і бере участь у рятувальних операціях під час національних лих.

Державна авіація включає в себе винищувальну, бомбардувальну, штурмову, розвідувальну, транспортну, спеціальну та безпілотну авіацію.

Авіаційні підрозділи ДА в основному експлуатують ПС ДА радянського виробництва. Одним із важливих етапів розвитку авіації ПС ЗСУ стало отримання літаків F-16 та Mirage 2000, що значно підвищило обороноздатність України. Ці багатоцільові авіаційні платформи дозволяють здійснювати високоточні удари по наземних цілях ворога, ефективно боротися з його авіацією, а також підтримувати інші види та роди військ із повітря. Використання цих літаків у війні проти рф стало символом модернізації української армії та її інтеграції до стандартів НАТО.

Українські військові льотчики відзначилися не лише своєю відважною роботою в повітряних боях. Вони відіграли ключову роль у визволенні острова Зміїний, знищенні складів боєприпасів ворога та ліквідації ворожих систем протиповітряної оборони (ППО) на тимчасово окупованих територіях. Їхня участь у битві за Київ, обороні Харківщини, Донбасу та Херсона, а також у визволенні тимчасово окупованих територій є блискучим прикладом відданості своїй країні.

Здобутки воїнів-авіаторів у цій війні - це знищення сотень ворожих літаків, вертольотів, безпілотників та ракет, а також ліквідацію важливих стратегічних об'єктів противника.

Постійні навчання за стандартами НАТО, вдосконалення тактики і техніки бою дозволяють авіації ПС ЗСУ зберігати високий рівень бойової готовності та ефективності.

З перших днів військового вторгнення рф до України стало зрозуміло, що перевага в повітрі є конче важливою для перемоги у війні, а також для підтримки суверенітету будь-якої країни.

ПС ДА можна загалом розділити на літальні апарати, легші за повітря (повітряні кулі та дирижаблі), які створюють підйомну силу завдяки силам летучості, і літальні апарати, важчі за повітря (літаки, гелікоптери та безпілотні

літальні апарати (БПЛА)). На теперішній час основну роль у веденні бойових дій на території України відіграють бойові літаки, гелікоптери та БПЛА.

Для безпечного функціонування ДА необхідне проведення всебічного наземного аеродромно-технічного забезпечення польотів ПС ДА на аеродромах ДА, що виконується спеціальним автомобільним транспортом (ЗАТО ПС ДА), що обумовлює необхідність розгляду спільного функціонування цих двох видів транспорту. Ефективне застосування ресурсу спеціального автомобільного транспорту (ЗАТО ПС ДА), людських, енергетичних та інших видів ресурсів, застосування інноваційних транспортно-технологічних схем перевезення вантажів до локацій дислокації та обслуговування ПС ДА може зменшити загальні витрати на обслуговування ПС ДА та підвищити його мобільність, ефективність та боєздатність авіаційних підрозділів ДА.

За допомогою засобів аеродромно-технічного забезпечення (далі – ЗАТЗ) польотів ПС ДА виконуються такі роботи: заправлення пально-мастильними матеріалами (далі – ПММ); перевірка та дозаправлення гідравлічних систем; отримання, видобуток, зберігання, транспортування та зарядка стисненими, зрідженими газами; кондиціонування повітря; електроживлення та перевірка радіо-, електрообладнання; пошуково-рятувальне, радіотехнічне та інженерно-авіаційне забезпечення; перевезення авіаційного персоналу та підвезення матеріальних (матеріально-технічних) засобів до ПС ДА; буксирування, огляд та підготовка до польотів ПС ДА, підготовка та утримання ЗПС, руліжних доріжок, місць стоянок, та технічної позиції підготовки ПС ДА.

Уся наземна техніка, яка залучається до обслуговування ПС ДА та забезпечення польотів, належить до ЗНЗП ПС ДА та за своїм призначенням поділяється на:

- ЗАТЗ польотів ПС ДА (ЗАТО ПС; аеродромно-експлуатаційна техніка (далі – АЕТ); засоби перевезення авіаційного персоналу);
- засоби пошуково-рятувального забезпечення (далі – ЗПРЗ) польотів (пошуково-евакуаційна та рятувальна техніка; аеродромні пожежні (пожежні) автомобілі; санітарні автомобілі);

- засоби зв'язку та радіотехнічного забезпечення (далі – РТЗ) польотів (приводні аеродромні радіостанції; автоматичні радіопеленгатори; радіолокаційні системи посадки (аеродромні оглядові, вторинні та посадкові радіолокатори); радіотехнічні системи ближньої навігації; радіомаякові системи інструментального заходу на посадку; обладнання пунктів управління повітряним рухом (автоматизовані системи управління); обладнання електрозв'язку; світлотехнічне обладнання);

- засоби інженерно-авіаційного забезпечення (далі – ІАЗ) (універсальні повірочні лабораторії; контрольно-ремонтні станції; авіаремонтні майстерні, станції та лабораторії; фотографічні лабораторії).

До ЗАТО ПС ДА належать:

- електрогазова техніка (далі - ЕГТ);
- засоби забезпечення пально-мастильними матеріалами (далі – ЗЗ ПММ);
- засоби буксирування ПС ДА;
- рухомі засоби мийки та спеціальної обробки ПС ДА.

До АЕТ належать:

- комбіновані поливально-мийні машини;
- вакуумно-прибиральні машини;
- шнекороторні снігоочисники;
- теплові машини, маркувальні машини;
- ґрунтові ущільнюючі машини;
- пневматичні катки та трамбувальні машини;
- машини для догляду за дерновим покриттям льотного поля аеродрому та інша техніка для утримання аеродромів.

До засобів перевезення авіаційного персоналу належать:

- легкові автомобілі;
- пасажирські автобуси всіх типів;
- вантажні автомобілі, обладнані для перевезення людей.

До електрогазової техніки належать спеціальні автомобілі (причепи), станції та установки, які призначені для виконання таких завдань:

- видобуток, отримання, транспортування і зберігання стиснених та зріджених газів;
- зарядка (заправка) систем ПС ДА стисненими (зрідженими) газами;
- забезпечення ПС ДА електро- і пневмоенергією під час запуску авіаційних двигунів та перевірка електро- і радіобладнання;
- кондиціонування повітря в кабінах ПС ДА та місцях перебування льотного складу, підготовленого до польотів;
- газифікація зріджених газів, очищення та осушення стиснених газів;
- знежирення і вакуумування резервуарів;
- перевірка і опосвідчення балонів для стиснених газів з комплекту електрогазової техніки;
- перевірка герметичності кабін ПС ДА;
- перевірка і заправка гідросистем ПС ДА;
- зарядка бортових систем ПС ДА вогнегасними сумішами.

Для підтримання високої інтенсивності вильотів ПС усі операції на території аеродрому ДА, на етапі передпольотної підготовки, мають виконуватися протягом одного циклу, тому проблема планування етапів (операцій) передпольотної підготовки потребує вивчення і стає актуальною проблемою.

Процес технічного обслуговування повітряних суден регламентується типовими технологічними графіками, які визначають оптимальну структуру робіт для забезпечення мінімально можливої тривалості перебування літака на стоянці. Ключовим компонентом такої документації є масштабно-лінійний графік, побудований у відповідній системі координат, що деталізує перелік необхідних операцій, склад виконавців та розрахункову трудомісткість кожного етапу підготовки.

Для глибшого моделювання процесів використовується мережевий технологічний графік, який фіксує логічну послідовність подій та встановлює

часові межі – ранні й пізні терміни – завершення окремих стадій комплексної підготовки до польоту. У структурі такого графіка зв'язки між ключовими подіями відображають як реальні виробничі процеси, так і умовні (логічні) операції, що вводяться для формалізації залежностей між етапами, які не пов'язані прямими фізичними діями, але впливають на загальний хід робіт.

Кожен вид регламентної підготовки потребує суворого дотримання встановленої черговості операцій, що безпосередньо зумовлює потребу в точному розрахунку кількості та типів транспортних засобів для логістичного забезпечення конкретних вантажних перевезень. На сьогодні в аеропортах України ключову роль у транспортуванні ресурсів для передпольотної підготовки відіграє автомобільна техніка, яка виступає основним інструментом забезпечення мобільності та оперативності наземного обслуговування авіаційних систем. Автомобільна техніка є ключовим інструментом забезпечення мобільності військ на оперативному та тактичному рівнях. Вона інтегрована в усі елементи бойових порядків, слугує універсальною платформою для розміщення озброєння та безпосередньо впливає на рівень бойової спроможності підрозділів.

Недостатність досвіду українських підприємств у сфері управління запасами, як однієї з головних сфер управління, впливає на роботу підприємства в цілому. На сучасному етапі розвитку реалізації продукції в Україні торговельним підприємствам слід зосередити свої зусилля на виконанні найважливіших завдань у сфері управління запасами, оскільки від ефективності їх управління залежить фінансова стабільність та економічна перспектива підприємства, у зв'язку з цим виникає необхідність удосконалювати методи управління запасами на торговельних підприємствах. Формування стійкого зростання торговельної діяльності та безперебійна реалізація неможливі без управління запасами.

Процес управління запасами спрямований на їх стратегічну оптимізацію, що передбачає формування такого обсягу та асортименту продукції, які б максимально корелювали з прогностичними показниками попиту при одночасному

досягненні мінімально можливих витрат на зберігання. Ефективне функціонування цієї системи не лише забезпечує високу якість обслуговування споживачів, а й безпосередньо сприяє максимізації чистого прибутку підприємства. Ключовою методологічною проблемою в даному контексті постає необхідність гармонізації часто дивергентних (суперечливих) цілей різних функціональних підрозділів – зокрема маркетингу, збуту та фінансової служби – щодо політики формування запасів.

На сучасному етапі розвитку вітчизняні суб'єкти господарювання ще не повною мірою інтегрували управління запасами до переліку пріоритетних стратегічних напрямів своєї діяльності, що обмежує використання цього чинника як інструменту підвищення конкурентоспроможності на ринку. Оскільки політика формування запасів має наскрізний вплив на ключові сфери бізнесу – зокрема на фінансову стійкість, ефективність торгівлі та результативність маркетингу – виникає гостра потреба у розв'язанні внутрішніх міжфункціональних суперечностей.

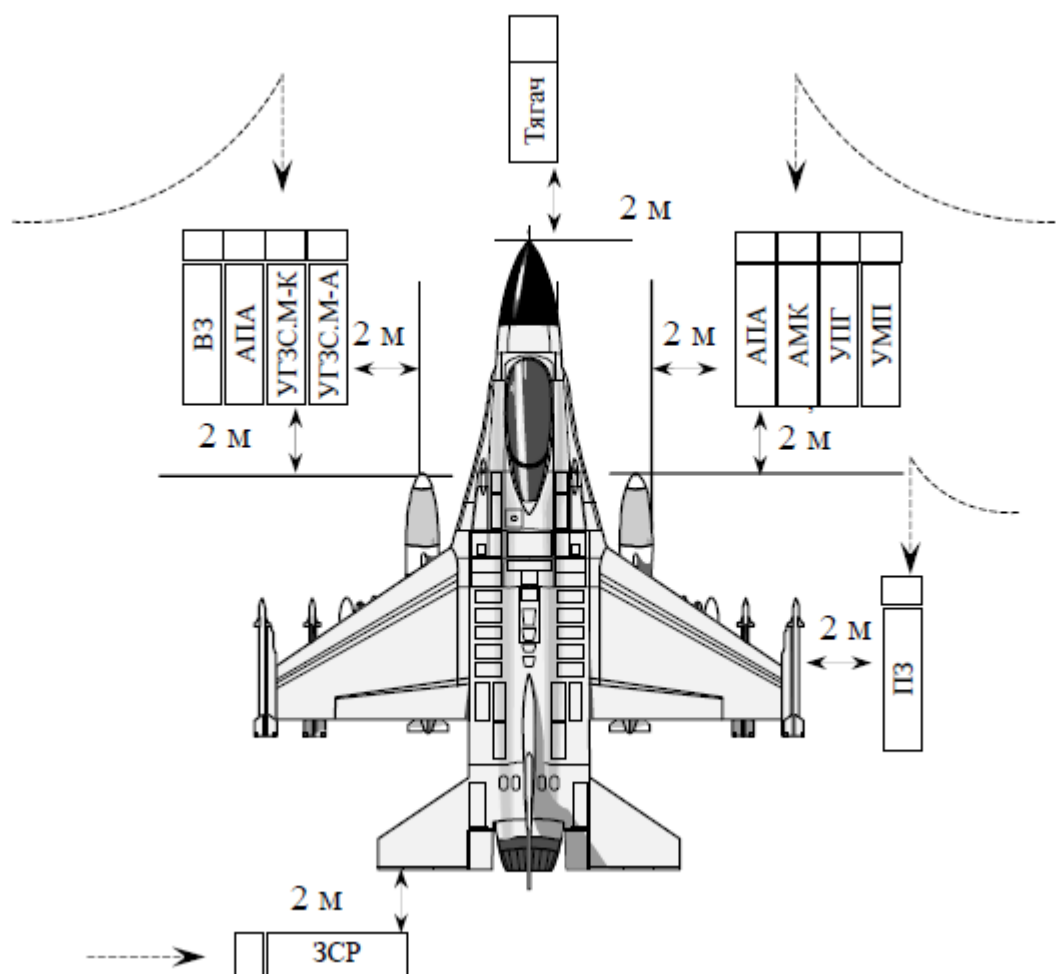
Логістичний цикл переміщення вантажів зі складських приміщень аеродромів ДА безпосередньо до ПС ДА інтегрований у чотири ключові види передпольотної підготовки. На ефективність та швидкість цього процесу суттєво впливають детермінанти зовнішнього середовища, такі як природно-кліматичні чинники та добові цикли, а також обрана стратегія наземного обслуговування ПС ДА. На сучасному етапі домінуючим підходом у забезпеченні авіаційним паливом залишається принцип «одне ПС – один автомобіль (ЗАО ПС ДА), засіб заправки ПММ», що передбачає залучення одиниці спеціальної техніки з відповідним стаціонарним обладнанням для кожного окремого ПС ДА, причому одночасно в обслуговуванні можуть бути задіяні від одного до чотирьох таких транспортних засобів. З метою підвищення ефективності логістичних операцій доцільно провести порівняльний аналіз двох альтернативних моделей: існуючої, яка спирається на парк традиційних спеціальних автомобілів, та перспективної, що базується на використанні модульних конструкцій. Запропоноване рішення передбачає

використання колісного трактора вітчизняного виробництва як універсального енергоблока, до якого приєднуються мобільні модулі – спеціальні засоби заправки ПММ, змонтовані на причіпних базових шасі. Така конфігурація дозволяє формувати енергоефективний транспортний поїзд, що може одночасно включати до чотирьох функціональних модулів, забезпечуючи значну гнучкість та оптимізацію експлуатаційних витрат під час обслуговування ПС ДА.

Для ЗАТО ПС ДА рухомість забезпечується такими властивостями, як маневреність, прохідність, стійкість при русі, безвідмовність шасі, здатність транспортування спеціального обладнання будь-якими серійними або спеціальними автомобілями (універсальність) та швидкої заміни автомобілів на марші. Визначені властивості залежать від схеми застосування ЗАТО ПС ДА та технологій керування маневруванням [108]. З метою наочної демонстрації багатоаспектності та складності логістичних процесів наземного обслуговування ПС ДА представлено схему дислокації спеціальних транспортних засобів (ЗАТО ПС ДА). Дана графічна модель дозволяє детально проаналізувати просторове розміщення спеціальної техніки, а також верифікувати встановлені траєкторії маневрування, включаючи регламентовані маршрути під'їзду до ПС ДА та від'їзду від нього після завершення відповідних технологічних операцій. (рис. 2.1) [109].

Обслуговування ПС ДА може проводитись чотирьома ЗАТО ПС ДА різного призначення одночасно. Тому, при проведенні експериментальних досліджень така кількість ЗАТО ПС ДА буде максимальною, мінімальна кількість таких ЗАТО ПС ДА приймається рівною одиниці.

Запропонована технологія обслуговування ПС ДА відрізняється від існуючою використанням модульних конструкцій у максимальній кількості чотири, що буксируються трактором вітчизняного виробництва, час на виконання регламентних робіт приймається рівним існуючій схемі, відмінність



АМК – кондиціонер; УМП – уніфікований моторний підігрівач;

АПА – аеродромний рухомий електроагрегат; ВЗ – повітрозаправник;

ЗСР – заправник спецрідинами; ПЗ – автопаливозаправник;

Тягач – автомобільний тягач; УВЗ – установка повітряного запуску;

УПГ – установка для перевірки гідросистеми; УГЗС.М-К – уніфікована газозарядна станція для роботи на кисні, УГЗС.М-А – уніфікована газозарядна станція для роботи на азоті

Рисунок 2.1 – Схема розташування засобів аеродромно-технічного обслуговування повітряних суден, їх під'їзд та від'їзд від повітряного судна

полягає у складанні маршрутів перевезення матеріальних (матеріально-технічних) засобів та закріплених за ними транспортних засобів, та у можливості використання одного водія для одночасного переміщення чотирьох спеціальних обладнань ЗАТО ПС ДА. Приклад використання таких

багатоланкових модульних аеродромних тягачів представлено на рисунку 2.2. За допомогою таких модульних конструкцій вдається знизити час на подачу спеціальних обладнань ЗАТО ПС ДА, зменшити ризики травмування на виробництві, зменшити час підготовки ПС ДА до вильоту то що. Також можливе використання одновісних причепів для модульних машин під якими розуміються не тільки причепи з однією віссю, а й з декількома зближеними (наближеними) осями – рисунок 2.3.

Аналіз показує цілу низьку переваг таких модульних машин по зрівнянню з використанням двовісних причепів.



Рисунок 2.2 – Приклад багатоланкових модульних ЗАТО ПС ДА

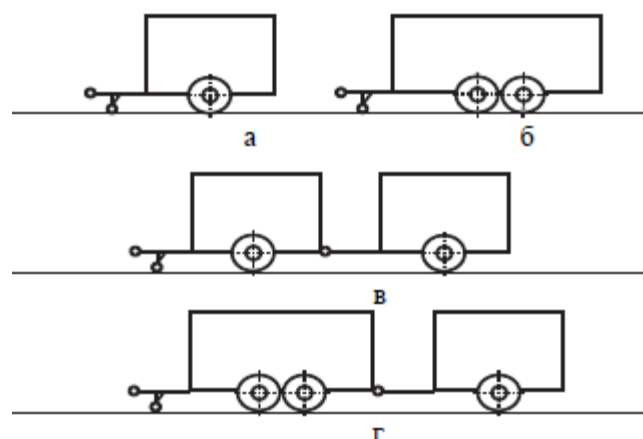


Рисунок 2.3 – Варіанти створення конструкцій на основі одновісних причепів з неповоротними колесами, приєднаних до тягача позаду або попереду:
а – звичайний одновісний причеп; б – одновісний причеп з двома наближеними вісями; в, г – схеми причіпних модулів для триланкових ЗАТО ПС ДА

Для інформаційного забезпечення дослідження скористаємось вихідними даними, що було отримано на аеродромі державної авіації Чугуїв. Аеродром Чугуїв є аеродромом I класу, пілпорядкований КПС ЗСУ, експлуатант аеродрому військова частина А0742. Аеродром призначений для виконання навчально-тренувальних, бойових, демонстраційних польотів, польотів для виконання прижків парашутистами та інших видів польотів, обльоту ПС ДА та наземних радіотехнічних засобів. Характеристика аеродрому представлена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Загальна характеристика аеродрому Чугуїв

Характеристики злітно-посадкової смуги		Позначення злітно-посадкових смуг			
		ЗПС34	ЗПС16	ГЗПС3	ГЗПС16
Клас злітно-посадкової смуги		1			
Географічні координати порога злітно-посадкової смуги		49°49'37,60"N; 036°38'35,82"E	49°50'57,95"N; 036°38'20,73"E	-	-
Напрямок	справжній	343°	163°	343°	163°
	магнітний	353°04'	173°04'	353°04'	173°04'
Розміри (м)	злітно-посадкової смуги	2000x60+	500x48+	2500x	2500x
		500x48	2000x48	100	100
Дистанції (м)	наявна дистанція розбігу	2500			
	наявна дистанція зльоту	2900			
	наявна дистанція перерваного зльоту	2500			
	наявна посадкова дистанція	2500			
Поверхня покриття	злітно-посадкова смуга	Бетон		Грунт	
Вантажонапруга	злітно-посадкова смуга	PCN20/R/B/X/T	PCN12/R/B/X/T	-	-

На території аеродрому знаходяться необхідні ЗАТО ПС ДА, що використовуються для обслуговування ПС ДА в місцях їх постійної дислокації, та в місцях тимчасового розміщення у випадку виконання завдань за

призначенням. Місця розташування ЗПС, місця розміщення ЗАТО ПС ДА та складів матеріальних (матеріально-технічних) засобів зображено на рис. 2.4.

На основі вихідних даних для аеродрому ДА Чугуїв визначаємо діапазони зміни техніко-експлуатаційних показників, що характеризують процес доставки ЗАТО ПС ДА, матеріальних (матеріально-технічних) засобів та вантажів для обслуговування ПС та сам процес обслуговування ПС ДА.



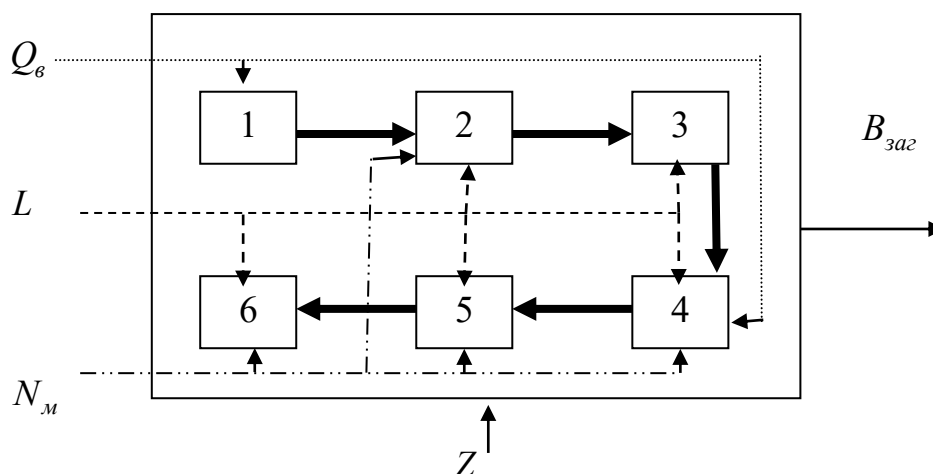
Рисунок 2.4 – Місця розташування злітно-посадкової смуги, технічних позицій підготовки повітряних суден, розміщення засобів аеродромно-технічного обслуговування повітряних суден та складів матеріальних (матеріально-технічних) засобів

У межах даного дослідження під категорією «модель» розглядається формалізована структура логістичної задачі, що інтегрує детальну характеристику вхідних параметрів та інформаційну базу для їхнього формування разом із визначенням цільових вихідних величин. Центральним

елементом такої побудови виступає математична функція, яка встановлює аналітичну залежність між вхідними даними та результативними показниками, відображаючи внутрішню логіку досліджуваного процесу. При цьому як основний результуючий параметр, що підлягає оптимізації, приймається показник сукупних витрат на здійснення доставки вантажів $B_{заг}$.

У модель будуть входити вхідні фактори та зовнішні (випадкові) фактори, які будуть змінюватися в залежності від умов транспортування вантажів.

Для того, щоб оцінити вплив вхідних параметрів та зовнішніх факторів на елементи процесу транспортування та в цілому на витрати на переміщення вантажів, необхідно представити об'єкт дослідження у вигляді моделі «біла скриня» (рис. 2.5).



1 – процес зберігання вантажу; 2 – процес формування модульної конструкції; 3 – процес транспортування до повітряного судна; 4 – процес обслуговування повітряного судна; 5 – процес повернення рухомого складу; 6 – процес розформування модульної конструкції

Рисунок 2.5 – Модель процесу доставки вантажів для обслуговування повітряних суден на аеродромах державної авіації

Вхідними параметрами, які впливають на об'єкт дослідження є (рис 2.5):

N_m – кількість модулів в модульній конструкції, од;

L – відстань перевезення, км;

Q_{ε} – обсяг партії відправки, т.

Зовнішні фактори:

Z – природно-кліматичні умови, час доби (впливають на швидкість руху спеціального автомобільного транспорту (ЗАТО ПС ДА) та часу на проведення обслуговування ПС ДА.

У якості цільової функції розглянуто загальні витрати на доставку вантажів, які мають прагнути до мінімуму:

$$B_{\text{заг}} = \sum_{i=1}^n B_i \longrightarrow \min, \quad (2.1)$$

$$B_{\text{заг}} = B_n + B_{\phi} + B_{\text{транс}} + B_p + B_{\text{нов}} \rightarrow \min, \quad (2.2)$$

де B_n – витрати на підготовку та зберігання вантажу (формування партії вантажу), грн;

B_{ϕ} – витрати на формування-розформування модульної конструкції, грн;

$B_{\text{транс}}$ – витрати на транспортування, грн;

B_p – витрати на обслуговування ПС ДА, грн;

$B_{\text{нов}}$ – витрати на повернення рухомого складу, грн.

Система обмежень та допущень має наступний вигляд:

$$\begin{cases} 1 \leq N_m \leq 4 \\ 0,02 \leq Q_{\varepsilon} \leq 10 \\ 0,5 \leq L \leq 5 \\ 5 \leq V_T \leq 40 \end{cases}, \quad (2.3)$$

де V_T – технічна швидкість автомобіля, км/год.

Система обмежень та наукових допущень у запропонованій моделі розроблена на основі ретельного аналізу техніко-експлуатаційних параметрів аеродромів ДА, що дає змогу оперувати усередненими показниками, релевантними для цього специфічного виду логістичних операцій. Це забезпечує баланс між теоретичною узагальненістю моделі та її практичною відповідністю реальним умовам вітчизняної аеродромної інфраструктури ДА.

Для математичного опису просторових умов функціонування системи використовується графовий підхід, де транспортна мережа аеродрому ДА постає у вигляді топологічної структури. Шляхи руху формалізуються як зв'язний граф, що складається із сукупності вершин, які символізують ключові локації чи пункти зупинки (склади, стоянки ПС ДА, зарядні станції), та дуг, що відображають безпосередні маршрути сполучення між ними. Така декомпозиція реальної інфраструктури до рівня абстрактної математичної мережі є фундаментом для подальшого застосування алгоритмів оптимізації траєкторій та мінімізації логістичних витрат у межах заданої топології:

$$\text{Road}[\text{Top}(\text{Integer}), \text{Arc}(\text{Integer})],$$

$$\text{Top}, \text{Arc} = \{1, 2, 3, \dots, N\}, \quad (2.4)$$

$$\text{Arc} : N \times M = \begin{pmatrix} l_{11}(\text{Integer}), l_{12}, \dots, l_{nm} \\ \varphi_{21}(\text{Boolean}), \varphi_{22}, \dots, \varphi_{nm} \\ \eta_{31}(\text{Boolean}), \eta_{32}, \dots, \eta_{nm} \end{pmatrix},$$

де Top – множина вершин дорожньої мережі, од.;

N, M – кількість відповідно точок вантажовідправників та ПС ДА, що необхідно обслужити, од.;

Arc – множина дуг мережі, од.;

l – довжина дуги, км;

φ – індекс напрямку руху (дозволений рух за часовою стрілкою чи проти);

η – індекс пріоритетності руху (пріоритет руху для визначеної категорії спеціального автомобільного транспорту (ЗАТО ПС ДА)).

У формалізованому представленні логістичної системи параметризація ключових вузлів, що відповідають пунктам відправлення ресурсів та місцям дислокації ПС ДА, здійснюється через формування вектору операційних запитів. Кожен такий об'єкт розглядається як дискретна точка мережі з чітко визначеною сукупністю потреб, що відображає обсяг та специфіку технологічних операцій, необхідних для всебічного наземного забезпечення конкретного ПС ДА в межах заданого циклу підготовки:

$$A: N \times M \rightarrow \text{Airplane} = \begin{pmatrix} name_{11}(\text{Object}), name_{12}, \dots, name_{nm} \\ coord_{21}(\text{Byte}), coord_{22}, \dots, coord_{nm} \\ time_{31}(\text{Date}), time_{32}, \dots, time_{nm} \end{pmatrix}, \quad (2.5)$$

$$N, M, coord_{ij} = \{1, 2, 3, \dots\},$$

$$time_{ij} \subset R, \forall x \forall y \forall z ((x \in X) \wedge (z \in X) \wedge (x < y < z) \Rightarrow y \in X),$$

де $A \rightarrow \text{Airplane}$ – матриця характеристик ПС ДА;

$name_{mn}$ – назва та номер ПС ДА;

$coord_{mn}$ – координати розташування ПС ДА;

$time_{mn}$ – час, до якого має бути обслугованим ПС ДА.

З метою формалізації математичного апарату для оптимального розподілу та закріплення наявного парку спеціальної техніки за об'єктами обслуговування, ми спираємося на класичну методологію розв'язання задач раціонального використання обмежених ресурсів (рис. 2.6). У цій аналітичній конструкції параметр O визначає потужність системи через кількісний склад наявних ЗНЗП ПС ДА, тоді як змінна Π характеризує обсяг замовлення, тобто

кількість ПС ДА, що потребують підготовки у межах жорсткого часового ліміту. Відповідно, величина S виступає ключовим економічним індикатором, що акумулює в собі сукупні витрати на реалізацію технологічних операцій, і саме вона слугує базисом для пошуку найбільш ефективного управлінського рішення.

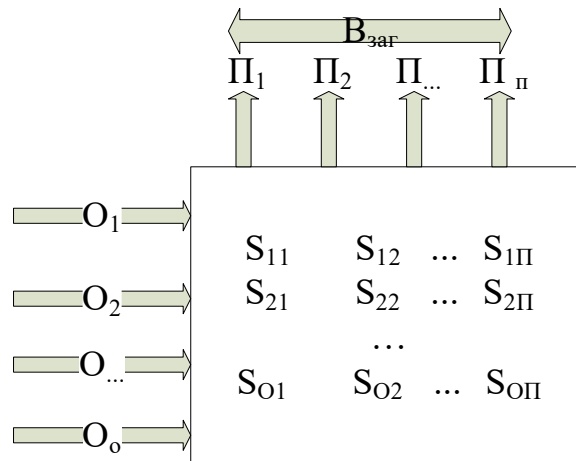


Рисунок 2.6 – Графічна модель формалізації процесу призначення логістичних ресурсів

За умови, що питомі витрати на наземне (АТЗ) забезпечення польотів одного типу ПС ДА визначаються величиною S , сумарний обсяг логістичних видатків розраховується як добуток $S_i \Pi_i$. Виходячи з наведеної залежності, стає можливим сформулювати цільову функцію математичної моделі, яка дозволить мінімізувати сукупні витрати в межах встановленої системи ресурсних та часових обмежень. Це аналітичне формулювання виступає головним критерієм ефективності при пошуку оптимального варіанта закріплення транспортних засобів за об'єктами обслуговування

$$B_{\text{заг}} = S_1 \cdot \Pi_1 + S_2 \cdot \Pi_2 + \dots = \sum_{i=1}^n S_j \cdot \Pi_j \rightarrow \min. \quad (2.6)$$

Процес знаходження оптимального розв'язку передбачає обов'язкову імплементацію системи обмежень, що регламентують використання наявних ресурсів. У випадку, коли для технічного супроводження визначеної кількості ПС ДА P_1 прогнозується обсяг фінансових видатків S_{11} , а гранична потужність парку техніки обмежена значенням O_1 , математична формалізація умов допустимості розв'язку набуває наступного вигляду

$$S_{11} \cdot P_1 + S_{21} \cdot P_1 + \dots \leq O_1, \quad (2.7)$$

або

$$\sum_{i=1}^n S_{1i} \cdot P_i \leq O_1. \quad (2.8)$$

Така постановка дозволяє чітко окреслити область допустимих значень, у межах якої здійснюється пошук найбільш економічно вигідного сценарію розподілу ЗАТО ПС ДА. Це забезпечує математичну гарантію того, що запропонований план підготовки ПС ДА не перевищить фактичні технічні та фінансові спроможності суб'єкту ДА.

Аналогічним чином можливо визначити систему обмежень по іншим існуючим засобам обслуговування ПС ДА:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n S_{1i} \cdot P_i \leq O_1 \\ \sum_{i=1}^n S_{2i} \cdot P_i \leq O_2 \\ \dots \\ \sum_{i=1}^n S_{ji} \cdot P_i \leq O_j \\ P_i \geq 0 \\ P_i - \text{ціле} \end{array} \right. \quad (2.9)$$

2.2 Розробка технології визначення оптимального розподілу ресурсу спеціального автомобільного транспорту для підготовки повітряного судна державної авіації на аеродромах

Для побудови раціональної технології визначення оптимального розподілу ресурсу спеціального автомобільного транспорту (ЗАТО ПС ДА) для підготовки ПС ДА на аеродромах ДА зазначено послідовність операцій, що направлені на порівняння різних технологій доставки вантажів з використанням двох форм – «одному ПС – один ЗАТО ПС (автомобіль)» та з використанням модульних конструкцій, що буксирує трактор [2].

Для обслуговування ПС ДА, на аеродромах ДА застосовуються наступні ЗАТО ПС:

Електрогазова техніка:

- уніфікована газозарядна станція (киснева), автомобільна киснезарядна станція;
- уніфікована газозарядна станція (азотна);
- повітрязаправник;
- уніфікована компресорна станція (тиск не менше 400 кгс/см²);
- автомобільна вуглецевозарядна станція;
- резервуар транспортний для рідкого кисню й азоту (ємністю до 1,5 м³);
- аеродромний пересувний електроагрегат;
- електрогідроустановка;
- установка для перевірки і дозаправки гідросистем;
- аеродромний кондиціонер;
- уніфікований моторний підігрівач.

Засоби заправки авіаційним паливом, мастилами, спеціальними рідинами:

- автопаливозаправник (ємністю до 7,5 м³);
- автомобіль-цистерна;

- автопаливозаправник (ємністю до 22 м³);
- заправник спеціальними рідинами.

Засоби буксирування ПС:

- автотягач (масою не менше 8 т);
- автотягач (масою не менше 12 т);
- автотягач (масою не менше 38 т).

Мінімальна кількість ЗАТЗ польотів ПС ДА визначається з розрахунку:

- для підрозділів винищувальної, бомбардувальної, розвідувальної, штурмової авіації, навчальних підрозділів: ланка – 4 ПС, ескадрилья – 12 ПС;
- для підрозділів транспортної авіації: загін – від 2 до 4 ПС, ескадрилья – від 6 до 12 ПС;
- для підрозділів розвідувальної авіації, які експлуатують безпілотні ПС: загін – 4 ПС, ескадрилья – 12 ПС;
- для вертолітних підрозділів: ланка – 4 ПС, ескадрилья – від 20 до 24 ПС;
- для підрозділів морської авіації, які експлуатують літаки: загін – 3 ПС, ескадрилья – 12 ПС; які експлуатують вертольоти: загін – 4 ПС, ескадрилья – 12 ПС.

Виходячи з мінімально необхідної кількості ЗАТО ПС ДА визначаємо, що мінімально необхідна їх кількість складає 15 одиниць. Слід зауважити, що аеродромний пересувний електроагрегат використовується для одночасного обслуговування двох ПС ДА, а автомобілі-тягачі не будуть розглядатись в запропонованій технології, як обов'язково необхідні для транспортування ПС ДА «одне ПС – один ЗАТО ПС ДА (автомобіль)». Усі інші ЗАТО ПС ДА можливо розглядати як модульні буксирувальні пристрої змонтовані на причепах.

Технологія виконання доставки ЗАТО ПС ДА наступна – засоби знаходяться в місцях їх постійної дислокації, закачуються технологічними газами, та заправляються паливом та спеціальними рідинами в незалежності від потреби в обслуговуванні ПС ДА. При виникненні потреби в обслуговуванні

ПС ДА, визначається необхідність в використанні конкретних ЗАТО ПС ДА та оцінюється можливість складання з них модульної конструкції з трактором в якості тягача. Необхідно зазначити, що максимальна кількість модулів які можуть входити в конструкцію і які можуть одночасно обслуговувати ПС ДА дорівнює чотирьом.

Тягач доставляє модульні конструкції до ПС ДА на аеродромі ДА по розробленим розвізним маршрутам, які в подальшому трансформуються в розвізно-збірні маршрути з паралельно-послідовним обслуговуванням запланованих ПС ДА.

Найбільш напруженою є підготовка ПС ДА до повторного польоту (рис.1.1). Вона потребує достатньої кількості сил і засобів з метою своєчасної підготовки групи ПС ДА. Оптимальну кількість ЗАТО ПС ДА та тракторів визначаємо саме для цього виду підготовки. Інші види підготовки потребують менш напруженої роботи і можуть виконуватись на протязі тривалого часу.

Попередня підготовка ПС ДА до польотів включає в себе комплекс зазначених в експлуатаційній документації робіт, що їх виконують на ПС ДА завчасно і спрямовані на підтримання його у встановленому ступені готовності до польотів, виконується на протязі тривалого часу, тому не нормується.

Вихідними даними для розрахунку потрібної кількості паливозаправників для підготовки ПС ДА до повторного польоту є:

- тип ПС ДА та їх експлуатаційні характеристики;
- кількість ПС ДА, запланована на польоти;
- середній час польоту ПС ДА;
- наявна кількість, тип та характеристики паливозаправників;
- середній час заправки паливом одинокого ПС ДА;
- допоміжний час при заправці ПС ДА одним паливозаправником;
- час рейсу паливозаправника на склад ПММ для поповнення цистерни паливом;
- стартовий час (час підготовки до повторного польоту).

Час циклу одного паливозаправника дорівнює

$$T_{\text{ц}} = t_{\text{роб}} + t_{\text{рейс}}, \quad (2.10)$$

де $t_{\text{роб}}$ – час роботи одного паливозаправника до повного виробітку палива та необхідності його поповнення на складі паливно-мастильних матеріалів, год.

$$t_{\text{роб}} = (t_{\text{запр}} + t_{\text{дод}}) \cdot N_{\text{ПС}}, \quad (2.11)$$

де $N_{\text{ПС}}$ – кількість ПС ДА, яку може заправити один паливозаправник без поїздки на поповнення своєї цистерни, од.

Час рейсу визначається за формулою

$$t_{\text{рейс}} = \frac{2 \cdot L}{V_t} + t_{\text{скл}}, \quad (2.12)$$

де L – відстань від місця стоянки ПС ДА до складу паливно-мастильних матеріалів, км;

V_t – технічна швидкість руху паливозаправника до складу паливно-мастильних матеріалів та назад до місця стоянки ПС ДА, км/год;

$t_{\text{скл}}$ – середній час заправки цистерни паливозаправника на складі, год.

Кількість циклів, які може виконати один паливозаправник за стартовий час, дорівнює

$$n_{\text{ц}} = \frac{t_{\text{ст}}}{t_{\text{ц}}} \quad (2.13)$$

де $t_{\text{ст}}$ – стартовий час, год.

Кількість ПС ДА яку може заправити один паливозаправник за один цикл дорівнює

$$N_{\text{ПС}} = \frac{t_{\text{роб}}}{t_{\text{запр}}}, \quad (2.14)$$

$$t_{\text{запр}} = t_0 + t_{\text{доод}} = t_0 + t_{\text{розг}} + t_{\text{згор}} + t_{\text{переїзд}}, \quad (2.15)$$

де t_0 – технологічний час заправки паливної системи одного ПС ДА, год;

$t_{\text{розг}}$ – час на під'їзд паливозаправника до ПС ДА, розгортання шлангів, під'єднання штуцера заправки чи встановлення пістолета заправки через заправну горловину паливної системи ПС ДА, год;

$t_{\text{згор}}$ – час на від'єднання штуцера заправки від паливної системи ПС ДА, згортання шлангів паливозаправника, год;

$t_{\text{переїзд}}$ – час на переїзд від одного ПС ДА до іншого, год.

Кількість ПС ДА, які можуть бути заправлені одним паливозаправником за стартовий час, визначається за таким виразом

$$N_{\text{ст}} = N_{\text{ПС}} \cdot n_{\text{ц}}, \quad (2.16)$$

Наявна інтенсивність заправки ПС ДА паливозаправниками за стартовий час визначається

$$\lambda_{\text{наяв}} = \frac{N_{\text{ст}}}{t_{\text{ст}}}. \quad (2.17)$$

Потрібна (задана) інтенсивність підготовки ПС ДА визначається за формулою

$$\lambda_{\text{потр}} = \frac{N_{\text{ПС}} \cdot n_{\text{пол}}}{t_{\text{ст}}}, \quad (2.18)$$

де $n_{\text{пол}}$ – кількість запланованих польотів на один ПС.

Час підготовки заданої кількості ПС ДА до повторного польоту дорівнює

$$t_{\text{підг}} = \frac{N_{\text{ПС}}}{\lambda_{\text{наяв}}}. \quad (2.19)$$

Тоді, потрібна кількість паливозаправників для забезпечення заданої інтенсивності підготовки ПС ДА до чергового польоту розраховується за формулою

$$n_{\text{ПЗ}} = \frac{\lambda_{\text{потр}}}{\lambda_{\text{наяв}}}. \quad (2.20)$$

Особливість заправки групи ПС ДА стиснутим повітрям під час підготовки до повторного польоту полягає у необхідності заправки систем усіх ПС ДА.

Необхідна кількість повітряних балонів розраховується за формулою

$$N_6 = \frac{V_{6\text{Л}} \cdot (P_2 - P_{02}) \cdot c}{V_6 \cdot (P_1 - P_{01})}, \quad (2.21)$$

де $V_{6\text{Л}}$ – ємність балонів, л.;

V_6 – ємність балонів повітрязаправника, л.;

P_2 – кінцевий тиск зарядки балонів ПС ДА, Па;

P_{02} – початковий тиск перед зарядкою в балонах ПС ДА, Па;

c – кількість літако-заправок повітрям, що плануються, од.;

P_1 – тиск в балонах повітрязаправника, Па;

P_{01} – залишковий тиск у балонах, Па.

Сумарний час зарядки повітрям одного ПС ДА розраховується за формулою

$$\sum t_{\text{зп}} = t_{\text{зп1}} + t_{\text{доп}}, \quad (2.22)$$

де $t_{\text{зп1}}$ – час зарядки повітряних балонів ПС ДА;

$t_{\text{доп}}$ – допоміжний час на під'їзд ПЗ, під'єднання і від'єднання шлангів, він визначається типом ПС ДА.

Найбільш критичним є розрахунковий інтервал при підготовці ПС ДА до повторного вильоту.

Тому, кількість ПС ДА яку можна зарядити стислим повітрям під час підготовки до повторного вильоту розраховується за формулою

$$N_{\text{ПС}} = \frac{t_{\text{повт}}}{\sum t_{\text{зп}}}. \quad (2.23)$$

Необхідна кількість електроагрегатів для живлення ПС ДА електроенергією розраховується за формулою

$$N_{\text{е}} = \frac{N_{\text{ПС}} (t_{\text{е}} + t'_{\text{е}})}{T_{\text{е}}}, \quad (2.24)$$

де $t'_{\text{е}}$ – час, який витрачається біля кожного ПС ДА на виконання допоміжних операцій $t'_{\text{е}} = 5$ хв;

$t_{\text{е}}$ – час живлення електроенергією одного ПС ДА, хв.

Заданий час підготовки ПС ДА до польотів визначається за формулою

$$T_{\text{е}} = t_{\text{е}} + \left[\frac{N_{\text{ПС}}}{n_{\text{т.р}}} - 1 \right] t_{\text{макс}}, \quad (2.25)$$

де $n_{т.р}$ – кількість технічних розрахунків, од.;

t_{max} – максимальний час підготовки ПС ДА технічним розрахунком.

Для кожного варіанту доставки вантажів розраховуються конкретні характеристики транспортного процесу з урахуванням умов виконання робіт, природно-кліматичних умов, та часу доби.

Системне порівняння сукупних операційних витрат, пов'язаних із логістичним забезпеченням передпольотної підготовки ПС ДА, дозволяє провести чітке розмежування між традиційними методами та інноваційними технологічними рішеннями. Такий підхід дає змогу не лише оцінити поточний стан справ, а й ідентифікувати специфічні зони раціонального застосування кожної з концепцій. Визначення цих зон базується на знаходженні критичних порогів ефективності (точок беззбитковості), де впровадження модульних засобів обслуговування ПС ДА починає забезпечувати стійку економічну вигоду порівняно з експлуатацією класичного парку одиничних автомобілів спеціального призначення.

Глибока інтерпретація результатів емпіричних досліджень дозволяє виявити складні функціональні залежності, що відображають ступінь впливу ключових вхідних факторів на результуючий показник сукупних витрат. До таких чинників належать не лише технічні характеристики транспортних засобів, а й параметри зовнішнього середовища: інтенсивність повітряного трафіку, просторова топологія аеродромної мережі та динаміка часових обмежень. Отримана математична модель трансформації вхідних даних у вартісні показники дозволяє перетворити теоретичні розрахунки на дієвий інструмент стратегічного планування. Це дає можливість менеджменту оптимізувати склад служб та підрозділів АТЗ польотів ПС ДА суб'єктів ДА логістичного забезпечення залежно від інтенсивності використання аеродрому ДА, забезпечуючи при цьому безкомпромісну якість та швидкість технічного супроводу ПС ДА.

Для проведення експериментальних досліджень та визначення оптимального розподілу ресурсу спеціального автомобільного транспорту

(ЗАО ПС ДА) для підготовки ПС ДА на аеродромах ДА розроблено алгоритм визначення оптимальної кількості ЗАО ПС ДА 7 видів, для зарядки ПС ДА різними технологічними газами та заправки паливом та спеціальними рідинами.. Кількість ЗАО ПС ДА визначається за двома варіантами – одиничний автомобіль та модульна конструкція [3].

Математичне ядро розробленого алгоритму ґрунтується на методології лінійного програмування, що дозволяє формалізувати складні логістичні процеси у вигляді чітких математичних залежностей. Побудова моделі у формі «прямої задачі» забезпечує високу обчислювальну стійкість та детермінованість результатів, оскільки за умови дотримання опуклості області допустимих рішень отриманий результат є глобальним оптимумом і існує в єдиному варіанті. Такий підхід виключає суб'єктивізм при прийнятті управлінських рішень, замінюючи інтуїтивне планування суворим аналітичним розрахунком, який гарантує максимально ефективне використання наявних технічних ресурсів аеродрому. При виконанні розрахунків враховуються можливі умови, що пов'язані з добовим періодом часу, та з кліматичними умовами. Для зазначених умов обслуговування виділяються чотири види підготовки ПС ДА до польотів. Для кожного з видів підготовки за існуючими регламентами визначаються необхідні операції з заправки ПС ДА відповідними рідинами та газами. Визначається їх необхідна кількість та обсяг, що буде впливати на подальший час обслуговування та на порядок обслуговування.

В залежності від обраного виду підготовки визначається необхідна кількість ЗАО ПС ДА з урахуванням обмежень за термінами виконання таких робіт. Кількість ЗАО ПС ДА визначається за існуючою технологією обслуговування та за запропонованою технологією з використанням модульних конструкцій у складі тягача та чотирьох модулів, що дозволяють проводити заправку ПС ДА необхідними речовинами, та обсяг цих речовин дозволяє виконувати такі роботи на протязі мінімум доби. Розроблений алгоритм представлено на рисунку 2.7.

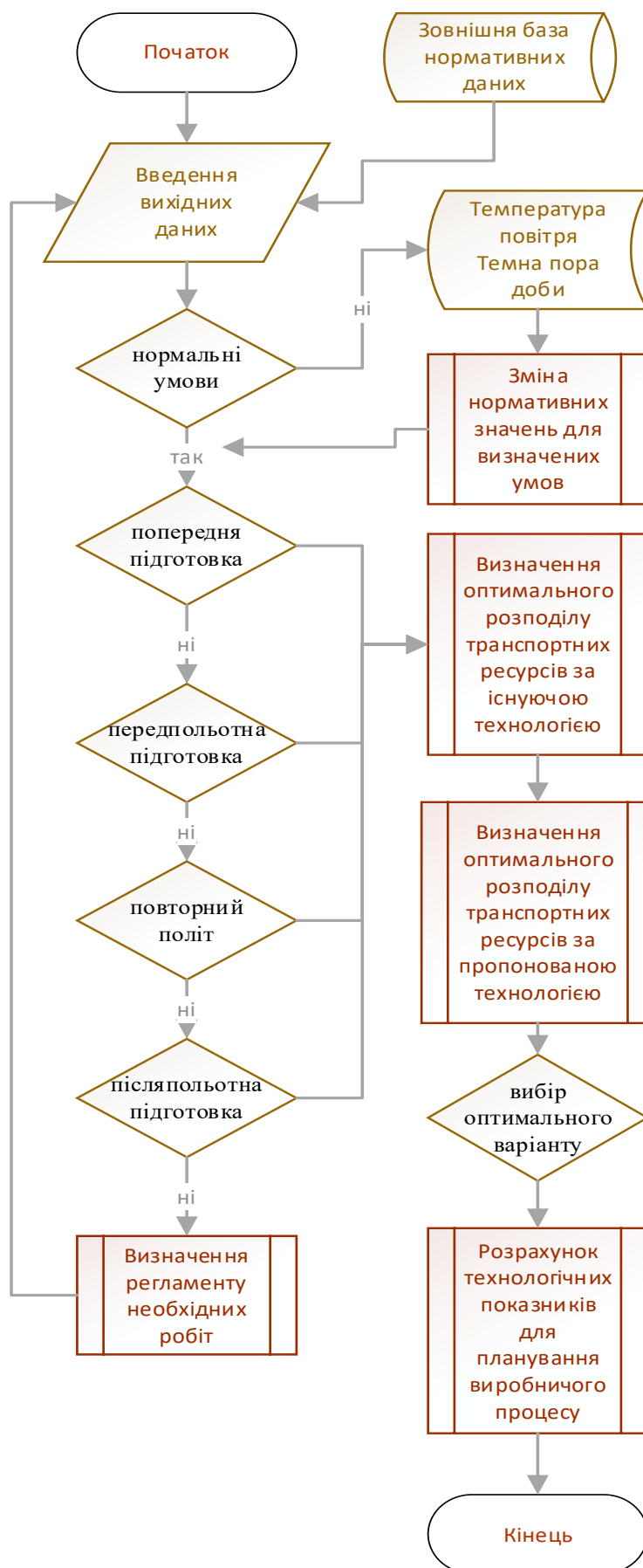


Рисунок 2.7 – Алгоритм визначення оптимальної кількості засобів аеродромно-технічного обслуговування повітряного судна

Розроблений алгоритм програмно реалізовано у «Microsoft Office Excel» – табличному процесорі, що представляє собою програму для роботи з електронними таблицями. Приклад розрахунку представлено на рисунку 2.8.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1				кількість літаків							
2				2	4	8	10	12			
3		Відстань від складу 1	L1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2			
4		Відстань від складу 2	L2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2			
5		Відстань від складу 3	L3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2			
6		Відстань від складу 4	L4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2			
7		Відстань від складу 5	L5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2			
8		Відстань від складу 6	L6	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2			
9		Відстань від складу 7	L7	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2			
10		Відстань магістралі	Lm	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4			
11		Відстань між літаками	Lnc	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02			
12		Відстань склад-ангар	Lc	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5			
13		Час формування модуля	Tмод	5	5	5	5	5			
14		Час маневрування модуля	Tман	1	1	1	1	1			
15		Час обслуговування літака	Тобсл	10	10	10	10	10			
16		Максимальний час обслуговування	Тобсл макс	50	50	50	50	50			
17		Обсяг партії відправки	Q	10	10	10	10	10			
18		Кількість модулів	N	1	1	1	1	1			
19		Кількість маршрутів	Nмар	7	7	7	7	7			
20		Кількість автопоїздів	Навт	7	7	14	14	21			
21		Технічна швидкість	Vt	27	27	27	27	27			
22		Сумарний пробіг на маршруті	Lзаг	4,64	4,68	4,76	4,8	4,84			
23		Сумарний пробіг на маршрутах	Lсум	64,96	65,52	133,28	134,4	203,28			
24		Середній час руху	Трух	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18			
25		Середній час оберту	Тоб	0,51	0,84	1,51	1,84	2,18			
26		Загальний час роботи	Tзаг	3,54	5,88	21,13	25,82	45,76			
27		Необхідний час обслуговування	Tнеобх	1	1	2	2	3			
28		Середній час обслуговування	Tсер	0,25259	0,21	0,1887	0,18444	0,1816			
29		Постійна складова витрат	Спост	120	120	120	120	120			
30		Змінна складова витрат	Сзмін	6	6	6	6	6			
31		Загальні витрати	Взаг	814,116	1098,72	3335,86	3905,07	6711,41			
32											
		Автомобіль_1 серія	Автомобіль_6 серія	Автомобіль_7 серія	Автомобіль_8 серія	Модульна конструкція					

Рисунок 2.8 – Приклад розрахунку за розробленим алгоритмом

2.3 Проведення експериментальних досліджень щодо визначення оптимального розподілу ресурсу засобів аеродромно-технічного обслуговування для підготовки повітряного судна державної авіації

Повний факторний експеримент – це сукупність декількох вимірів, що відповідають наступним умовам: кількість серій дослідів складає k^n , де k – кількість рівнів варіювання факторів; n – кількість факторів; кожен фактор має тільки два значення – верхнє і нижнє; в процесі вимірювання, верхнє і нижнє значення факторів комбінуються в усіх можливих варіантах.

Кількість серій дослідів для проведення експериментальних досліджень складає

$$k^n = 2^3 = 8 \text{ серій дослідів.}$$

Вхідні параметри при різних рівнях варіювання факторів представлені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Рівні варіювання факторів

Параметр	Мінімальне значення	Максимальне значення
Кількість модулів, од.	1	4
Відстань перевезення, км	0,5	5
Обсяг партії відправки, т	0,02	10

Оскільки було обрано 2 рівні варіювання, позначимо їх наступним чином: «-» - 1-й рівень варіювання (min), «+» - 2-й рівень варіювання (max). Після цього усі можливі комбінації сполучень заносимо до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – План експерименту

Серія	Рівні варіювання вхідних факторів		
	Кількість модулів, од.	Відстань перевезення, км	Обсяг партії відправки, т
1	-	-	-
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	-
5	-	-	+
6	+	-	+
7	-	+	+
8	+	+	+

На основі розробленого плану експерименту, згідно з зазначенням максимального та мінімального значень аргументів, складено план варіювання факторів при експериментальних розрахунках, він представлений в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – План експерименту за вхідними даними

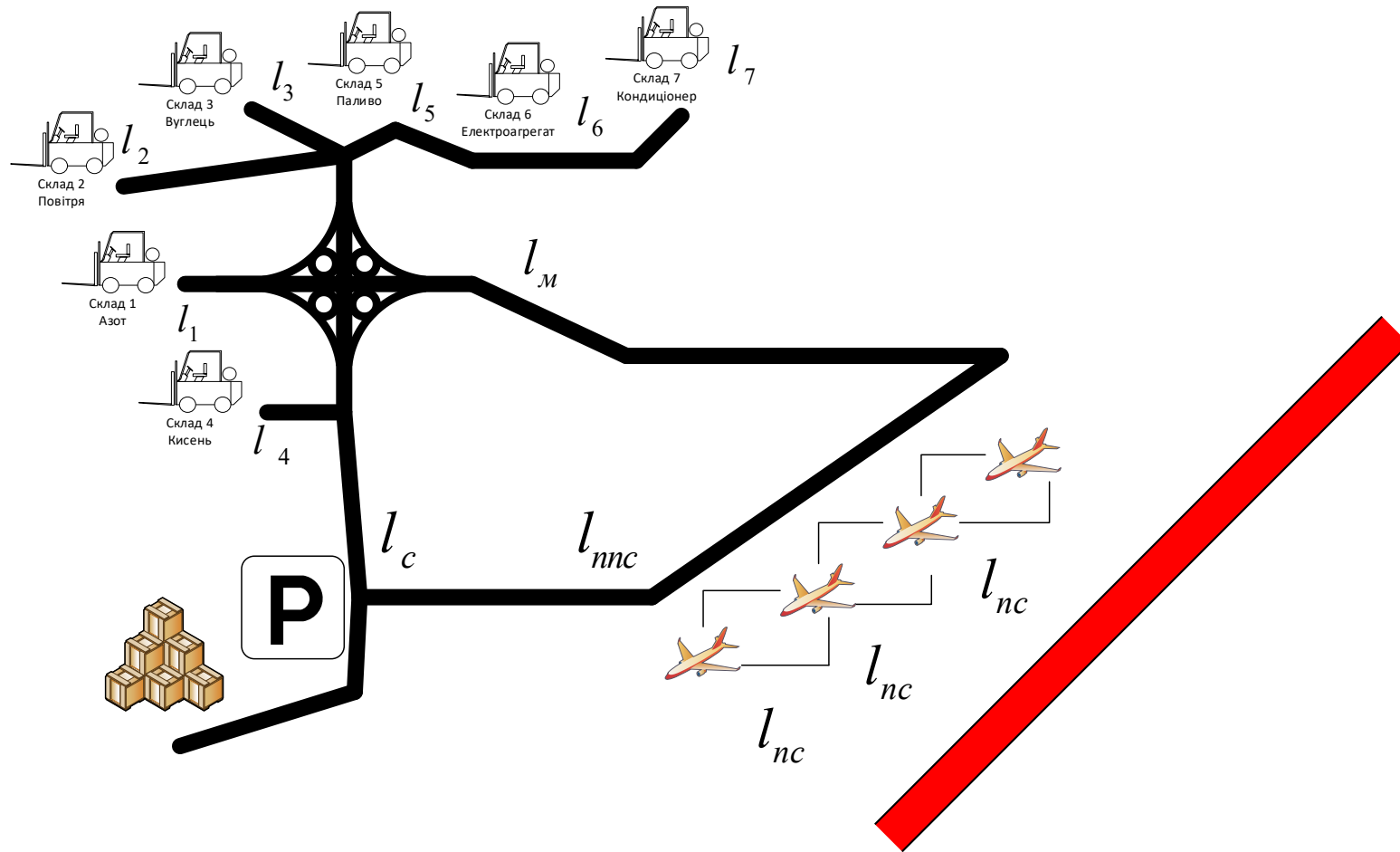
Серія	Рівні варіювання вхідних факторів		
	Кількість модулів, од.	Відстань перевезення, км	Обсяг партії відправки, т
1	1	0,5	0,02
2	4	0,5	0,02
3	1	5	0,02
4	4	5	0,02
5	1	0,5	10
6	4	0,5	10
7	1	5	10
8	4	5	10

Для кожної із серій дослідів будувались маршрути перевезень технологічних матеріалів заправки ПС ДА із урахуванням зміни вхідних параметрів, та проводилось моделювання роботи ЗАТО ПС ДА [1].

Для існуючої технології обслуговування розроблялись розвізні маршрути із залученням окремих ЗАТО ПС ДА, для запропонованої будувались маятникові та збірно-розвізні маршрути.

Після формування модульної конструкції перевезення відбувались на маятникових маршрутах по «магістралі» – відстань між транспортним вузлом на якому перетинаються всі шляхи з існуючих складів.

Схема району перевезень представлена на рисунку 2.9.



$l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, l_7$ – відстані між відповідним складом та транспортним вузлом, l_m – відстань «магістралі», l_{nc} – відстань між ПС ДА, l_{nnc} – відстань між останнім ПС ДА, що потребує обслуговування та ангаром, l_c – відстань між транспортним вузлом та ангаром

Рисунок 2.9 – Схема району перевезень

На рисунку відмічені $l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, l_7$ – відстані між відповідним складом та транспортним вузлом, l_m – відстань «магістралі», l_{nc} – відстань між ПС ДА, l_{nnc} – відстань між останнім ПС ДА, що потребує обслуговування та ангаром, l_c – відстань між транспортним вузлом та ангаром.

Для розроблених маршрутів перевезень визначалась необхідна кількість ЗАТО ПС ДА та визначались загальні витрати на основі загального пробігу ЗАТО ПС ДА та загального часу роботи. Витрати на кількість водіїв ЗАТО ПС ДА не враховувались, тому що прийнято, що перевезення, як правило, виконують військовослужбовці, що проходять військову службу. Приклад розрахунку для максимальних рівнів зміни вхідних параметрів (для 8 серії дослідів) для визначення необхідної кількості одиночних спеціальних автомобілів представлені в таблиці 2.5. Для розрахунку приймається зміна кількості ПС ДА від 2 до 12 одиниць, що представляє собою ланку та ескадрилью.

Таблиця 2.5 – Результати розрахунків для 8 серії дослідів

Показник	Кількість ПС ДА				
	2	4	8	10	12
Сумарний пробіг на маршруті, км	4,64	4,68	4,76	4,8	4,84
Сумарний пробіг на маршрутах, км	64,96	65,52	133,28	134,4	203,28
Середній час руху, год.	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18
Середній час оберту, год.	0,51	0,84	1,51	1,84	2,18
Загальний час роботи, год.	3,54	5,88	21,13	25,82	45,76
Середній час обслуговування, год.	0,25	0,21	0,19	0,18	0,18
Загальні витрати, грн	814,12	1098,72	3335,86	3905,07	6711,41

В ході виконання статистичної обробки результатів досліджень визначили регресійні моделі залежностей вихідного показника – загальних витрат на перевезення технологічних матеріалів для зарядки ПС ДА різними технологічними газами та рідинами від вхідних показників – кількості модулів, відстані перевезення, обсягу партії відправки вантажу для різної кількості ПС

ДА, результати визначення коефіцієнтів отриманих моделей представлені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Коефіцієнти отриманих регресійних моделей

Коефіцієнт моделі	Кількість повітряних суден				
	2	4	8	10	12
Y-перетин	41,53787	42,42226	76,45828	75,99568	322,1007
Змінна X_1	1E-14	2,18E-14	5,69E-14	5,69E-14	1,11E-13
Змінна X_2	23,75309	35,62963	47,50617	59,38272	83,1358
Змінна X_3	10,02004	54,2574	162,3944	273,9813	384,5313

Хоча регресійний аналіз загальних витрат демонструє низьку чутливість до кількісного складу модулів у блоці (X_1), цей результат потребує глибокої технологічної інтерпретації. Математична «незначущість» даного фактору в межах обраної моделі пояснюється специфікою цільової функції, де домінуючими чинниками залишаються енергетичні витрати тягача та загальна дистанція перевезення. Проте низька варіативність прямих витрат при зміні кількості модулів не нівелює стратегічні переваги запропонованої технології, а навпаки – підкреслює її системну ефективність за іншими критичними параметрами.

Оптимізація людських ресурсів – використання максимальної конфігурації блоку ($N=4$) дозволяє забезпечити доставку необхідного обсягу технологічних засобів силами одного водія замість залучення окремих операторів для кожної одиниці спеціальної техніки.

Синхронізація технологічних операцій – блочно-модульна конструкція гарантує одночасне прибуття всього комплексу ЗАТО до ПС ДА, що виключає міжопераційні простої, характерні для послідовного під'їзду одиночних спеціальних транспортних засобів (ЗАТО ПС ДА).

Підвищення коефіцієнта використання робочого часу – завдяки можливості розформування автопоїзда, водій тягача звільняється від

непродуктивного очікування завершення циклу обслуговування одного ПС ДА, що дозволяє перейти до обслуговування наступних об'єктів.

Гнучкість логістичних маршрутів – принцип модульності дозволяє трансформувати стандартні розвізні маршрути у складні збірно-розвізні схеми, що забезпечує високу адаптивність системи до динамічних змін у плані польотів.

Таким чином, значення показника X_1 слід розглядати не як лінійний фінансовий аргумент, а як фундаментальний технологічний параметр, що визначає спроможність служб та підрозділів АТЗ польотів ПС ДА суб'єктів ДА забезпечувати високу інтенсивність підготовки ПС ДА в умовах обмежених часових та людських ресурсів.

Для найбільш напруженого варіанту виконання робіт з обслуговування ПС ДА, для 12 одиниць ПС регресійна залежність буде мати вигляд

$$B_{заг} = 322 + 83,13 \cdot L + 384,531 \cdot Q_6.$$

В результаті проведених досліджень визначили, що загальні витрати на перевезення технологічних матеріалів для зарядки ПС ДА різними технологічними газами та заправки паливом, спеціальними рідинами та іншими ПММ при використанні модульних конструкцій нижче чим при використанні одиничних автомобілів, що пояснюється як меншими значеннями постійної та змінної складової вартості перевезень при використанні трактора, так і меншим пробігом на розроблених маршрутах перевезень, а відповідно і меншим часом, що витрачається на виконання обслуговування. Значення загальних витрат за першою серією дослідів при мінімальних значеннях вхідних показників представлено на рисунку 2.10, при екстремальних значення вхідних показників значення загальних витрат значно збільшуються, що пов'язано з різким збільшенням необхідної кількості ЗАТО для обслуговування ПС ДА, значення загальних витрат за восьмою серією дослідів при максимальних значеннях вхідних показників представлено на рисунку 2.11. За результатами досліджень

можливо відзначити, що витрати при використанні модульних конструкцій нижче ніж у одиночних автомобілів.

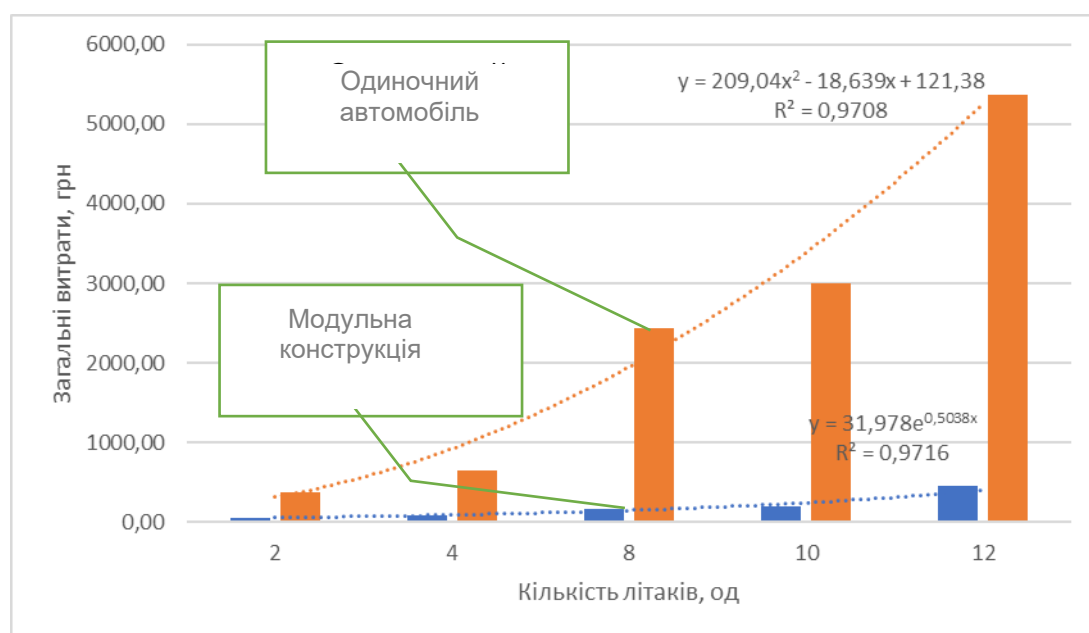


Рисунок 2.10 – Графік залежності витрат на доставку вантажу від кількості повітряних суден при мінімальних значеннях вхідних параметрів

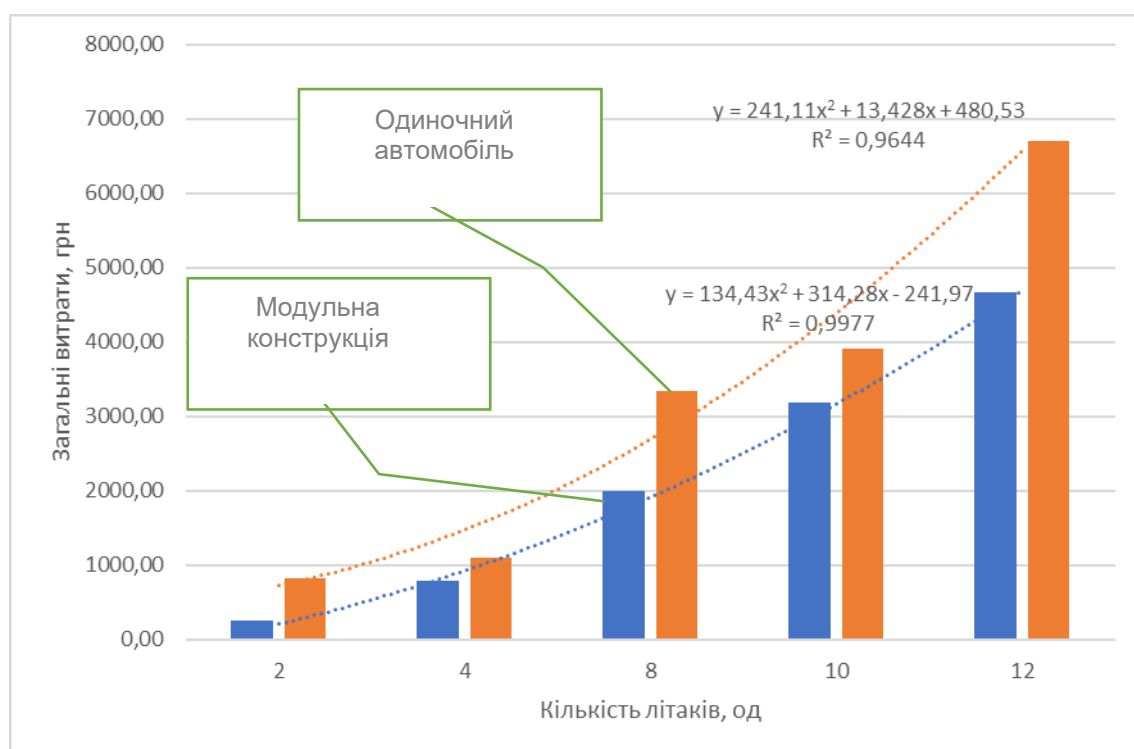


Рисунок 2.11 – Графік залежності витрат на доставку вантажу від кількості повітряних суден при максимальних значеннях вхідних параметрів

Сумарний пробіг на маршрутах для модульних конструкцій значно менше при їх використанні за рахунок меншої кількості автопоїздів, графік залежності за першою серією дослідів при мінімальних значеннях вхідних показників представлено на рисунку 2.12, за восьмою серією дослідів при максимальних значеннях вхідних показників представлено на рисунку 2.13.

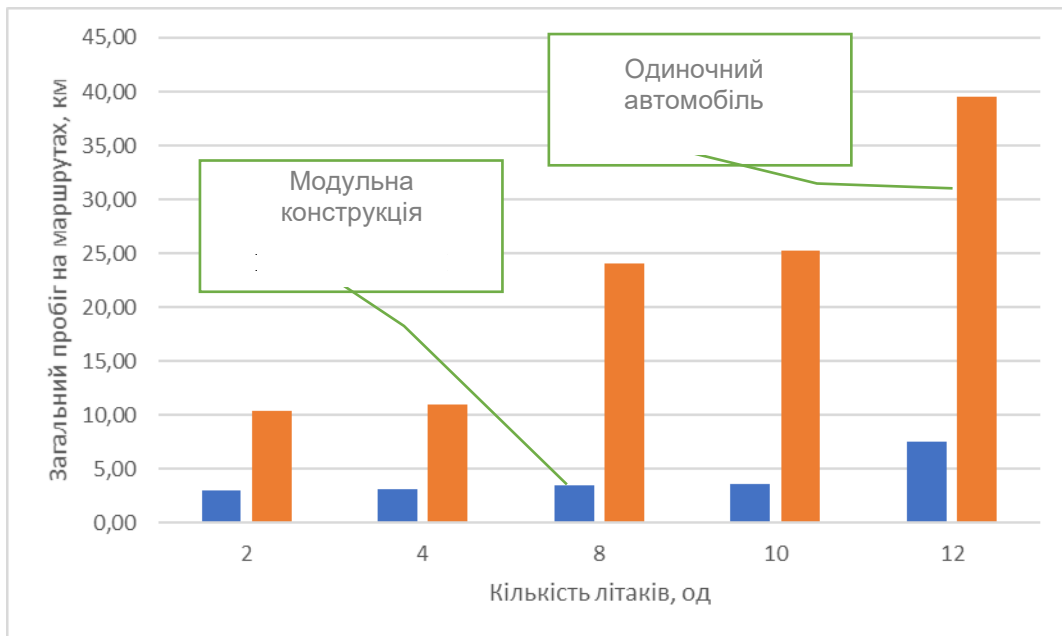


Рисунок 2.12 – Графік залежності сумарного пробігу від кількості повітряних суден при мінімальних значеннях вхідних параметрів

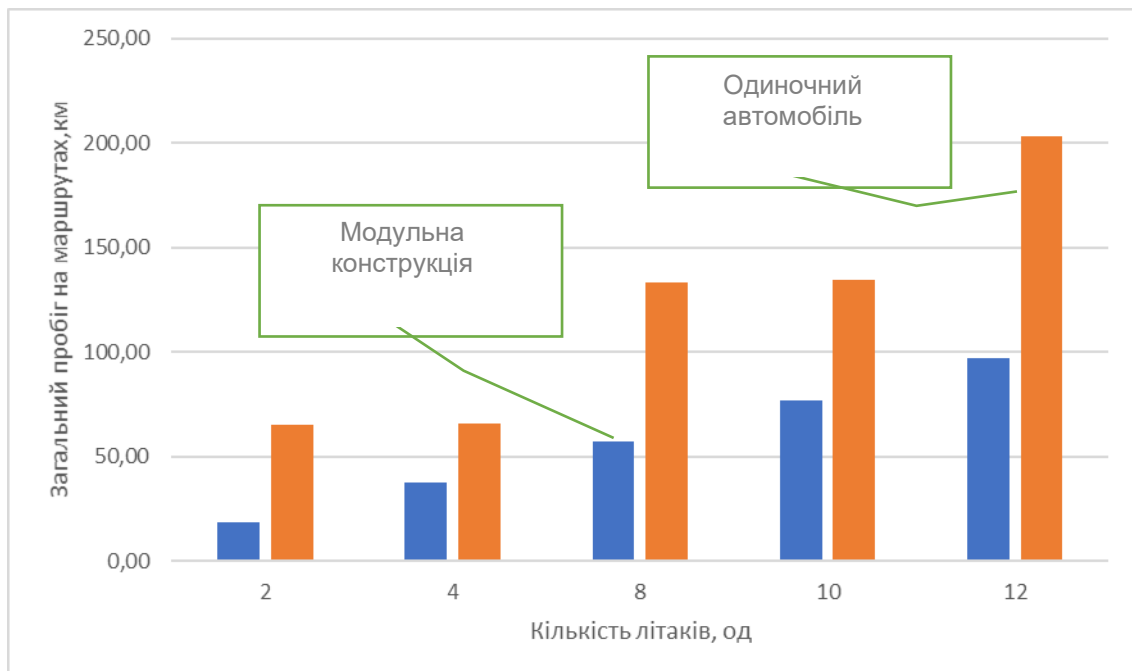


Рисунок 2.13 – Графік залежності сумарного пробігу від кількості повітряних суден при максимальних значеннях вхідних параметрів

Загальний час роботи ЗАТО ПС ДА при використанні модульних конструкцій теж менше за аналогічний показник при використанні одиночного автомобіля, результати залежностей представлено на рисунках 2.14-2.15.

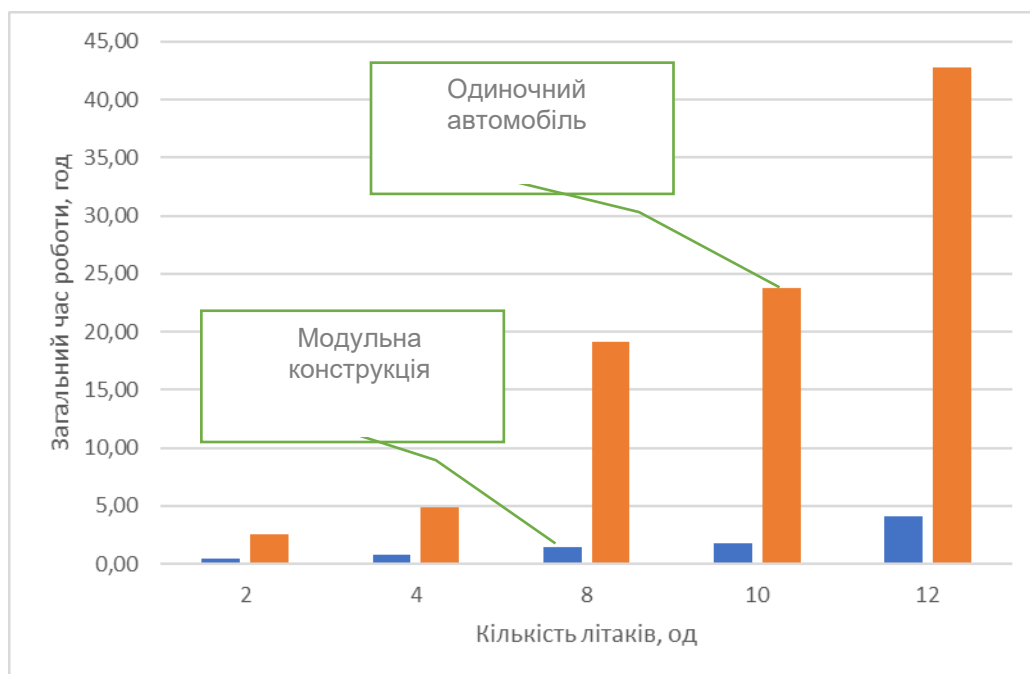


Рисунок 2.14 – Графік залежності загального часу роботи від кількості повітряних суден при мінімальних значеннях вхідних параметрів

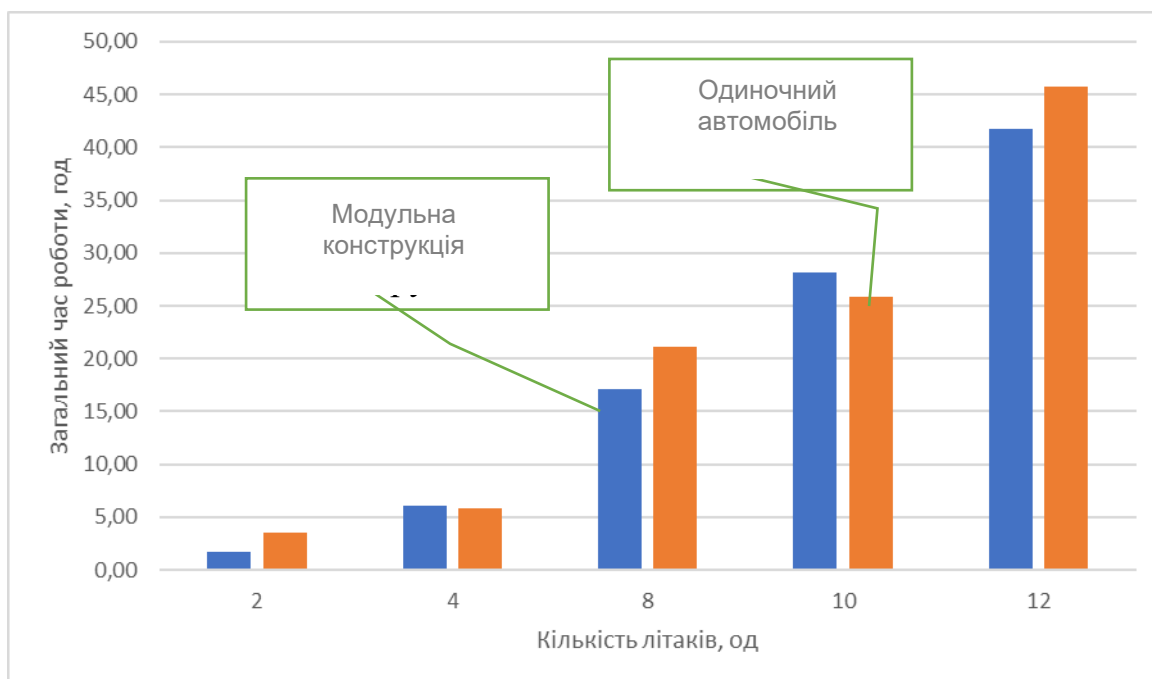


Рисунок 2.15 – Графік залежності загального часу роботи від кількості повітряних суден при максимальних значеннях вхідних параметрів

Залежність необхідної кількості одиниць модульних конструкцій та одиночних автомобілів при обслуговуванні ПС ДА при різних умовах представлено на рисунках 2.16-2.17.

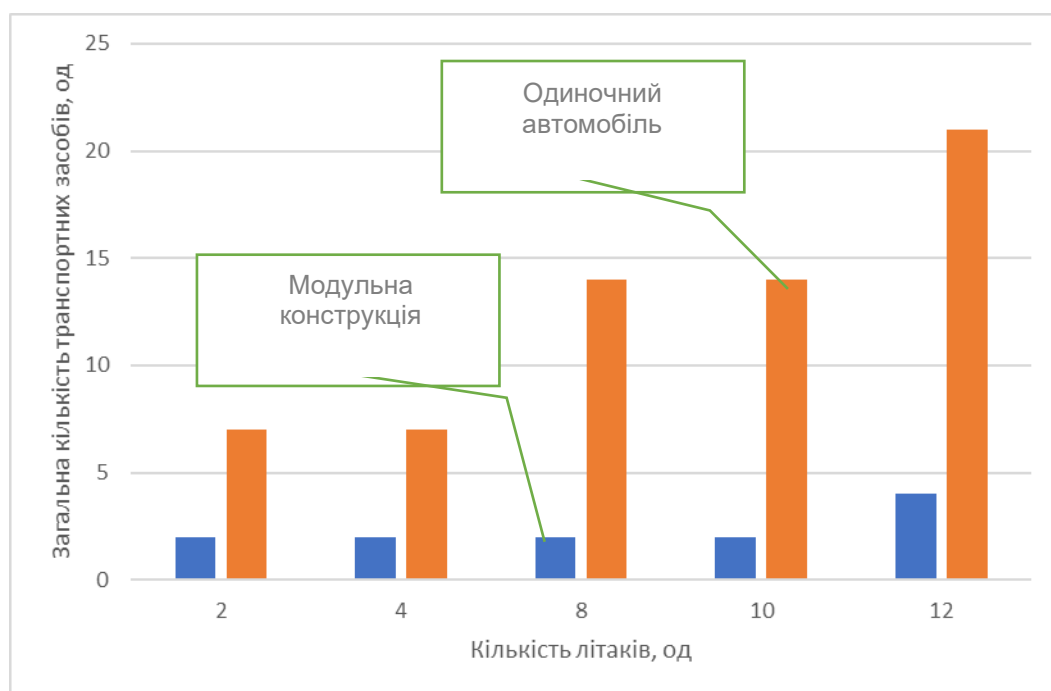


Рисунок 2.16 – Графік залежності загальної кількості засобів аеродромно-технічного обслуговування повітряних суден від кількості повітряних суден при мінімальних значеннях вхідних параметрів

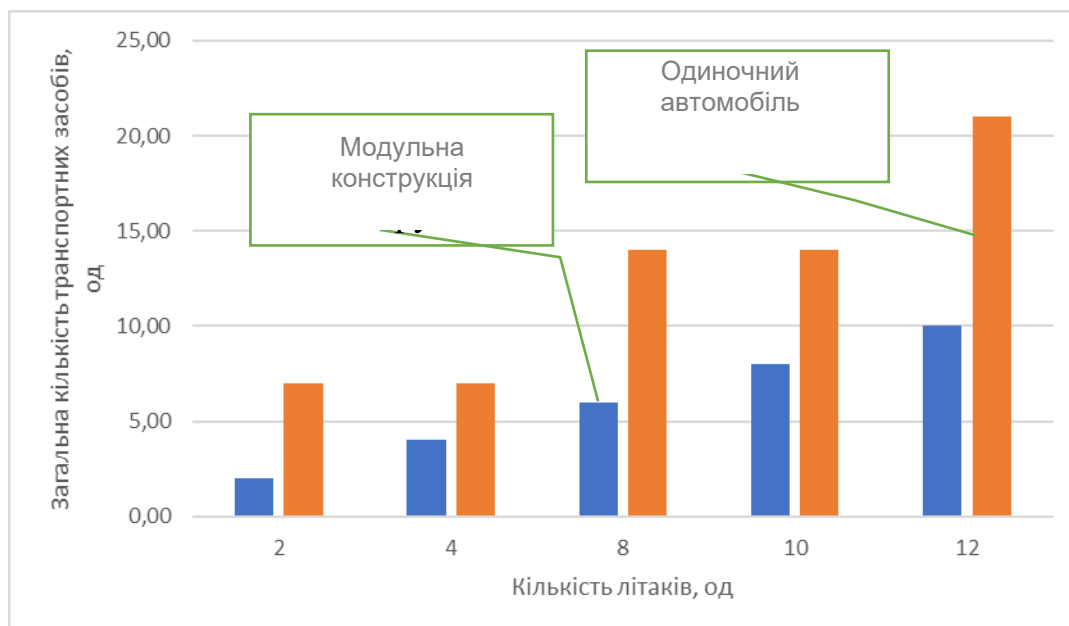


Рисунок 2.17 – Графік залежності загальної кількості засобів аеродромно-технічного обслуговування повітряних суден від кількості повітряних суден при максимальних значеннях вхідних параметрів

2.4 Визначення результативних показників застосування розробленої технології визначення оптимального розподілу ресурсу ЗАТО для підготовки ПС ДА

Використання запропонованої технології визначення оптимального розподілу ресурсу ЗАТО для підготовки ПС ДА на аеродромах ДА дозволяє в найкоротші терміни визначити необхідну кількість ЗАТО ПС, що дозволить мінімізувати витрати на перевезення вантажів для обслуговування ПС ДА, знизити загальні пробіги на розроблених маршрутах перевезень та загальний час роботи ЗАТО ПС ДА. Також значно знижується необхідна кількість водіїв, що виконують такого роду перевезення. При використанні одиночних автомобілів необхідно залучати відповідну кількість водіїв, а у випадку використання модульних конструкцій один водій зможе доставляти чотири ЗАТО ПС ДА до місця розташування ПС ДА.

Використання модульних конструкцій також дозволить значно підвищити ступінь використання робочого часу водіїв. У випадку застосування одиночного автомобіля, водій, після прибуття у місце розташування ПС ДА очікує до закінчення процесу обслуговування, що проводить технік з обслуговування ПС ДА. У випадку використання модульних конструкцій, водій після розформування автопоїзда не очікує завершення обслуговування відповідного ПС ДА, а прямує до наступного пункту формування модульної конструкції. Відповідно час непродуктивних простоїв рухомого складу та простою водія в очікуванні обслуговування значно знижується.

Застосування запропонованої технології також дозволить оновити парк рухомого складу ЗАТО ПС ДА, який на даний момент морально та технічно досить застарів та у деяких випадках дає відмови у вигляді поломок.

Впровадження у виробництво нововведень дозволяє отримати ефект і підвищити ефективність.

Для оцінки економічної ефективності впровадження розробленої методики визначення оптимального розподілу ресурсу ЗАТО для підготовки

ПС ДА на аеродромах ДА було визначено економічний ефект. Для визначених діапазонів варіювання вхідних факторів можливо визначити зміну витрат на доставку вантажу за двома технологіями доставки. Також можливо визначити ефект від зниження загального пробігу рухомого складу, та ефект від зниження загального часу роботи рухомого складу. Ефект від зниження часу роботи рухомого складу визначаємо для найбільш екстремальних умов за формулою

$$E_T = (T_{p_1} - T_{p_2}), \quad (2.26)$$

де T_{p_1} – загальний час роботи з обслуговування ПС ДА за існуючою технологією, год;

T_{p_2} – загальний час роботи з обслуговування ПС ДА за запропонованою технологією, год;

$$E_T = (45,76 - 41,79) = 3,97 \text{ год.}$$

Ефект від зниження загального пробігу рухомого складу визначаємо для найбільш екстремальних умов за формулою

$$E_L = (L_{p_1} - L_{p_2}), \quad (2.27)$$

де L_{p_1} – загальний пробіг рухомого складу за існуючою технологією доставки вантажів, год;

L_{p_2} – загальний пробіг рухомого складу за запропонованою технологією доставки вантажів, год;

$$E_L = (203,28 - 96,8) = 106,48 \text{ км.}$$

Визначення економічного ефекту за одну добу проводиться за порівнянням витрат на доставку вантажу між двома технологіями доставки при максимальних значеннях вхідних параметрів за формулою

$$E_{B_{\text{заг}}} = (B - B_3), \quad (2.28)$$

де B – загальні витрати за базовим варіантом, грн;

B_3 – загальні витрати за запропонованим варіантом, грн.

$$E_{B_{\text{заг}}} = (6711,41 - 4663,26) = 2048,15 \text{ грн.}$$

Отриманий показник прямого економічного ефекту у розмірі 2048,15 грн. за добу на рівні ескадрильї (12 ПС) за одну заправку відображає лише «консервативну» оцінку, яка базується виключно на витратах, пов'язаних із технологією доставки технологічних матеріалів (пальне та пробіг тягача). Проте наукова та практична значущість впровадження блочно-модульного машинного комплексу полягає у досягненні системного ефекту, який виходить за межі суто прямих фінансових витрат. Вирішальним чинником доцільності використання модульної конструкції є радикальна оптимізація людського ресурсу та часових показників боєготовності.

Математична модель загальних витрат демонструє низьку чутливість до зміни кількості модулів у блоці, цей параметр є критичним для забезпечення живучості підрозділу. Використання принципу «один водій – чотири модулі» дозволяє вивільнити до 16 осіб (75 % водіїв) на кожному циклі обслуговування ескадрильї. В умовах військового стану та необхідності раціонального використання кадрового потенціалу, такий ефект є стратегічно пріоритетним порівняно з прямою економією пального.

На відміну від існуючої технології, що передбачає послідовне маневрування кількох одиниць спеціальної автомобільної техніки біля ПС ДА,

блочно-модульна конструкція забезпечує одночасну доставку до чотирьох видів критичних ресурсів за один під'їзд. Це дозволяє усунути логістичні розриви та забезпечити виконання регламенту підготовки як єдиного безперервного процесу.

Економія 3,97 години операційного часу на добу для ескадрильї трансформується у підвищення бойової спроможності авіаційного підрозділу. Це створює резерв часу для виконання додаткових бойових вильотів або прискореного розосередження техніки у разі загрози вогневого ураження аеродрому (табл. 2.7).

Таблиця 2.7 – Порівняльна характеристика ефективності технологій

Показник	Існуюча технологія	Запропонована технологія	Різниця
Кількість рухомого складу, од	21	5	-16
Потреба у водіях, од	21	5	-16
Загальні витрати (доба), грн	6711,41	4663,26	-2048,15
Загальний пробіг (доба), км	203,28	96,8	-106,48
Загальний час роботи, год	45,76	41,79	-3,97

Застосування універсальних енергоблоків (тракторів) замість розгалуженого парку морально застарілих одиничних спеціальних автомобілів дозволяє суттєво знизити витрати на технічне обслуговування та ремонти шасі, що не було враховано у базовому розрахунку прямого ефекту, але складає значну частину експлуатаційних видатків.

Таким чином, розрахований економічний ефект у сумі 2048,15 грн/доба слід розглядати як базисний індикатор паливної ефективності, тоді як реальна цінність блочно-модульного комплексу полягає у концентрації функціональних можливостей, вивільненні дефіцитного технічного персоналу та забезпеченні принципово нового рівня мобільності наземного (АТЗ) забезпечення польотів ПС ДА.

2.5 Висновки за розділом 2

1. У другому розділі дисертаційної роботи проведено теоретичні та експериментальні дослідження щодо обґрунтування раціонального розподілу транспортних ресурсів для підготовки ПС ДА на аеродромах ДА. Для комплексного аналізу взаємозв'язків між елементами системи наземного обслуговування ПС ДА запропоновано використання моделі «біла скриня», яка дає змогу оцінити вплив вхідних параметрів, таких як кількість модулів, відстань перевезення та обсяг партії відправки, на результуючий показник сукупних витрат. Математичне ядро дослідження ґрунтується на методології лінійного програмування, де цільовою функцією визначено мінімізацію загальних витрат на доставку технологічних матеріалів.

2. Розроблена технологія передбачає використання багатоланкових модульних ЗАТО ПС ДА на базі універсальних енергоблоків замість традиційної схеми застосування одиничних спеціальних автомобілів. Результати повного факторного експерименту та імітаційного моделювання підтвердили високу ефективність запропонованого підходу. Встановлено, що впровадження модульних конструкцій забезпечує прямий економічний ефект у розмірі 2048,15 грн за одну заправку на рівні ескадрильї (12 ПС) при одночасному зниженні загального пробігу рухомого складу на 106,48 км та скороченні загального часу роботи на 3,97 години на добу.

3. Особливу значущість має виявлена закономірність, згідно з якою показник кількості модулів у блоці має низьку чутливість щодо прямих фінансових витрат, проте є критичним технологічним параметром для оптимізації людського ресурсу. Застосування принципу «один водій – чотири модулі» дозволяє скоротити потребу в технічному персоналі на 75 % (з 21 до 5 осіб на ескадрилью), що є стратегічно пріоритетним завданням для підвищення боєздатності та живучості авіаційних підрозділів у сучасних умовах. Таким чином, запропонована методика дозволяє не лише знизити операційні видатки за рахунок оновлення парку спеціальної техніки та раціоналізації маршрутів, а й забезпечити якісно новий рівень мобільності наземного (АТЗ) забезпечення польотів ПС ДА.

Основні результати дослідження по даному розділу опубліковані в роботах [1, 2, 3].

РОЗДІЛ 3

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГОМОДУЛІВ З ЕЛЕКТРИЧНИМ ПРИВОДОМ ВЕДУЧИХ КОЛІС

3.1 Визначення факторів, які впливатимуть на доцільність вибору електричної силової установки для засобів наземного забезпечення польотів повітряних суден державної авіації

ЗАТО ПС ДА, які задіяні у наземному (АТЗ) забезпеченні польотів ПС ДА, у переважній більшості випадків мають силову установку у вигляді двигуна внутрішнього згоряння. Перспективним напрямом модернізації та розвитку рухомих ЗАТО ПС ДА є створення модульних систем [74], де енергетичний модуль представляє собою тягач, а технологічний модуль у вигляді причепу шарнірно з'єднаний з ним. Застосування модульного принципу для ЗАТО ПС ДА дозволяє зменшити кількісний склад парку ЗАТО ПС ДА, оптимізувати його структуру, зменшити матеріальні і трудові витрати, зменшити час простою окремих машин. Застосування модульних машин є характерним для наземного забезпечення польотів авіації літовищ багатьох країн світу. Переведення таких машин на електричну або гібридну тягу дозволить ще більше знизити витрати на їх експлуатацію. Таким чином, актуальним завданням є визначення факторів, які впливатимуть на вибір типу силової установки енергетичних модулів ЗАТО ПС ДА.

Класичне застосування двигунів внутрішнього згоряння на енергетичних модулях забезпечує великий крутний момент, та великий запас їх ходу, що дозволяє машинам для наземного забезпечення польотів авіації тягти великі вантажі та переміщатися на великі відстані з високою транспортною швидкістю, у тому числі, по нерівному ґрунту. Разом з тим, у межах територій аеродромів ДА, існують обмеження щодо швидкості руху ЗАТО ПС ДА та

немає необхідності забезпечувати великий запас їх ходу з причини невеликого добового пробігу. Тому є доцільним проведення модернізації таких машин шляхом встановлення електричної або гібридної силової установки, що дозволить зменшити експлуатаційні витрати а також зменшити шум та викиди відпрацьованих газів, підвищити пожежну безпеку.

На доцільність використання різних типів силової установки енергетичних модулів ЗАТО ПС ДА для наземного (АТЗ) забезпечення польотів ПС ДА впливатиме комплекс факторів, які слід враховувати, основні з яких зведено у таблицю 3.1. За кожним з факторів виставлено якісну оцінку рівня досконалості за трьома рівнями: низький рівень або відсутність; середній рівень; високий рівень або наявність.

Розглянуто три типи силових установок: силова установка на базі двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ); електрична силова установка, що складається з одного або кількох електродвигунів та комплекту акумуляторних батарей; гібридна силова установка, яка містить дизельний ДВЗ, електричний двигун у комплекті з генератором, інвертором і блоком акумуляторних батарей.

Усі три типи силових установок мають ідентичні рівні досконалості за такими факторами як надійність та довговічність в процесі експлуатації, забезпечення необхідного крутильного моменту на колесах, висока маневреність в межах операційної зони, необхідність у моніторинговій системі рівня енергії у джерелі, доступність технології на ринку.

Енергетичні модулі ЗАТО ПС ДА для наземного (АТЗ) забезпечення польотів ПС ДА з електричною силовою установкою мають суттєво кращий рівень досконалості за наступними факторами: відносна вартість експлуатації, рівень енергоефективності, викиди відпрацьованих газів, шумові та вібраційні емісії, рівень пожежної безпеки, можливість передачі та використання енергії від технологічного модуля до енергетичного модуля, можливість передачі та використання енергії від енергетичного модуля до технологічного модуля або віддача енергії до загальної енергомережі, можливість рекуперації енергії,

можливість використання енергії від відновлюваних джерел, відсутність необхідності у паливозаправній станції.

Таблиця 3.1 – Аналіз факторів, які впливають на вибір типу силової установки енергетичних модулів ЗАТО ПС ДА для наземного (АТЗ) забезпечення польотів ПС ДА

Фактор, який враховується при виборі типу силової установки енергетичних модулів	ЗАТО ПС ДА для наземного (АТЗ) забезпечення польотів ПС ДА з силовою установкою		
	з ДВЗ	з електричною	з гібридною
1	2	3	4
Відносна вартість нового енергетичного модуля	–	±	+
Відносна вартість експлуатації	+	–	±
Надійність та довговічність в процесі експлуатації	+	+	+
Стабільність експлуатації у різних кліматичних умовах	+	±	+
Достатній запас ходу	+	±	+
Забезпечення необхідного крутильного моменту на колесах	+	+	+
Висока маневреність в межах операційної зони	+	+	+
Рівень енергоефективності	–	+	±
Викиди відпрацьованих газів	+	–	±
Шумові та вібраційні емісії	+	–	±
Рівень пожежної безпеки	+	–	+

Продовження табл. 3.1

1	2	3	4
Необхідність додаткових заходів захисту від ураження струмом	—	+	+
Можливість тривалої автономної роботи у відриві від енергомереж	+	—	+
Можливість роботи з використанням різних джерел енергії	—	—	+
Можливість передачі та використання енергії від технологічного модуля до енергетичного модуля	—	+	+
Можливість передачі та використання енергії від енергетичного модуля до технологічного модуля або віддача енергії до загальної енергомережі	—	+	+
Можливість рекуперації енергії	—	+	+
Можливість використання енергії від відновлюваних джерел	—	+	+
Відносна швидкість заряджання джерела енергії	+	—	+
Необхідність у моніторинговій системі рівня енергії у джерелі	+	+	+
Необхідність у паливозаправній станції	+	—	+
Необхідність у модернізації існуючих електричних мереж аеродрому	—	±	—
Необхідність у встановленні мережі зарядних станцій акумуляторних батарей	—	+	±
Необхідність у мережі станцій заміни розряджених акумуляторних батарей	—	+	—

Продовження табл. 3.1

1	2	3	4
Необхідність у встановленні додаткових генераторів резервного живлення	–	+	–
Необхідність у обслуговуванні і ремонті додаткових елементів інфраструктури	–	+	±
Доступність технології на ринку	+	+	+

Примітка: “–” – низький рівень або відсутність; “±” – середній рівень; “+” – високий рівень або наявність

Разом з тим, зазначена модернізація ЗАТО ПС ДА для наземного (АТЗ) забезпечення польотів ПС ДА потребує і модернізації інфраструктури аеродромів ДА. Так, необхідно забезпечити встановлення зарядних станцій акумуляторних батарей ЗАТО ПС ДА, модернізацію існуючих електричних мереж аеродрому ДА [4], встановлення додаткових генераторів резервного живлення, навчання персоналу та забезпечення протипожежних заходів і заходів захисту від ураження струмом. Зазначені заходи збільшують загальну вартість модернізації ЗАТО ПС ДА для наземного (АТЗ) забезпечення польотів ПС ДА, але є доцільними за рахунок зниження вартості їх експлуатації та покращення екологічності.

Таким чином, до ЗАТО ПС ДА, що залучаються для наземного обслуговування ПС ДА, додатково пред’являються вимоги щодо можливості тривалої автономної роботи у відриві від енергомереж, тому модернізацію таких ЗАТО ПС ДА можна здійснювати шляхом встановлення гібридних силових установок. Це дає можливість їх роботи з використанням різних джерел енергії, або, за необхідності, з одночасним використанням обох джерел, що збільшує сумарну потужність силової установки.

3.2 Оцінка додаткових непродуктивних витрат енергії двигуна внутрішнього згоряння

3.2.1 Оцінка енергетичної ефективності використання енергетичних модулів з електроприводом ведучих коліс.

В розділі 1 показано, що при використанні в якості енергетичних модулів двовісних колісних тракторів виробництва ХТЗ, які мають наступну кількість циліндрів:

- ХТЗ 16131 – кількість циліндрів $i_u = 6$;
- ХТЗ 6021 – кількість циліндрів $i_u = 4$;
- ХТЗ 18040 – кількість циліндрів $i_u = 8$,

Коефіцієнт $\eta_{\Delta W}$ додаткових втрат енергії становить 0,587 при $i_u = 4$; 0,396 при $i_u = 6$ та 0,300 при $i_u = 8$ (табл. 1.5).

Заміна ДВЗ електричним приводом дозволяє зменшити ці втрати до нуля (табл. 1.5 при $K_{ed} = 1,0$).

Сумарна енергія, яка витрачається на рух колісної машини з ДВЗ при $K_{ed} = 1,0$

$$W_{\Sigma} = A_0 + \Delta W. \quad (3.1)$$

При переході з приводу від ДВЗ до електроприводу відносне зменшення непродуктивних витрат енергії буде дорівнювати

$$\delta W_{\Sigma} = \frac{\Delta W}{A_0 + \Delta W} = \frac{\frac{\Delta W}{A_0}}{1 + \frac{\Delta W}{A_0}} = \frac{\eta_{\Delta W}}{1 + \eta_{\Delta W}} = \frac{1}{1 + \frac{1}{\eta_{\Delta W}}}. \quad (3.2)$$

В таблиці 3.2 наведено значення $\delta W_{\Sigma}(\%)$ при заміні енергетичних модулів у ДВЗ на енергетичні модулі з електроприводом ведучих коліс.

Таблиця 3.2 – Розрахунок відносного зменшення непродуктивних втрат енергії δW_{Σ} при переході з приводу від ДВЗ до електроприводу

Енергомодуль	$N_{\text{max}},$ кВт	$i_{\text{ц}}$	$\eta_{\Delta w}$	$K_{\text{ед}}$	$\delta W_{\Sigma}, \%$
ХТЗ 6021	44	4	0,587	1,0	37
ХТЗ16131	125	6	0,396	1,0	28
ХТЗ18040	169	8	0,300	1,0	23

Таким чином, при заміні енергетичного модуля з ДВЗ на енергетичний модуль з електричним приводом непродуктивні витрати енергії на рух ЗАТО ПС ДА зменшується на 23-37%.

3.2.2. Вибір раціонального співвідношення між потужністю двигунів тягача та причіпної ланки.

В дослідженнях [85, 89, 104] оптимальне співвідношення потужності двигунів, що встановлено на тягачі та на причіпній ланці автопотягу

$$(\beta_1)_{\text{opt}} = \frac{N_{\text{дв1}}}{N_{\text{дв1}} + N_{\text{дв2}}} = \frac{C_{\text{кут1}\Sigma}}{C_{\text{кут1}\Sigma} + C_{\text{кут2}\Sigma}} = \frac{1}{1 + \frac{C_{\text{кут2}\Sigma}}{C_{\text{кут1}\Sigma}}}, \quad (3.3)$$

де $N_{\text{дв1}}, N_{\text{дв2}}$ – сумарні потужності електродвигунів, що встановлено на колесах енергетичного та технологічного (причіпної ланки) модулів відповідно;

$C_{\text{кут1}\Sigma}, C_{\text{кут2}\Sigma}$ – сумарні кутові жорсткості шин тягача і причепа відповідно.

За умови забезпечення розтягуючого зусилля у зчіпному пристрої, яке забезпечує стійкість потягу проти складання в тяговому режимі руху, необхідно щоб парціальне прискорення енергетичного модуля було б вище, ніж у причепа (технологічного модуля). У ідеальному випадку при абсолютно стабільних параметрах динамічної системи парціальні прискорення, які вказано, можуть дорівнювати одне одному. Цьому випадку відповідає умова

$$(\beta_1)_{opt} = \frac{1}{1 + \frac{C_{кут2\Sigma}}{C_{кут1\Sigma}}} \geq 0,5. \quad (3.4)$$

З рівняння (3.4) отримуємо потрібне співвідношення сумарної кутової жорсткості шин коліс енергетичного модуля та причепа

$$\frac{C_{кут2\Sigma}}{C_{кут1\Sigma}} \leq 1. \quad (3.5)$$

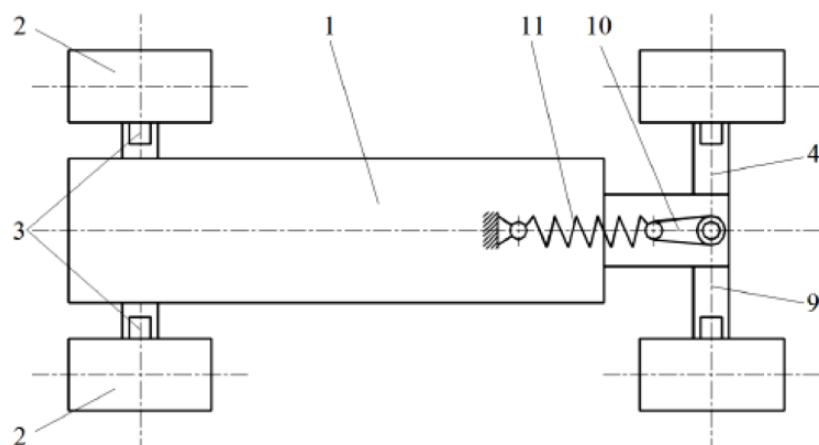
Таким чином, сумарна кутова жорсткість шин технологічного модуля (причепа) повинна бути меншою ніж сумарна кутова жорсткість шин коліс енергетичного модуля. Раціональним рішенням буде встановлення як на колесах енергетичного модуля, так і на колесах технологічного модуля, коліс однакового розміру. В цьому випадку рівняння (3.5) прийме вигляд

$$\frac{n_1}{n_2} \leq 1, \quad (3.6)$$

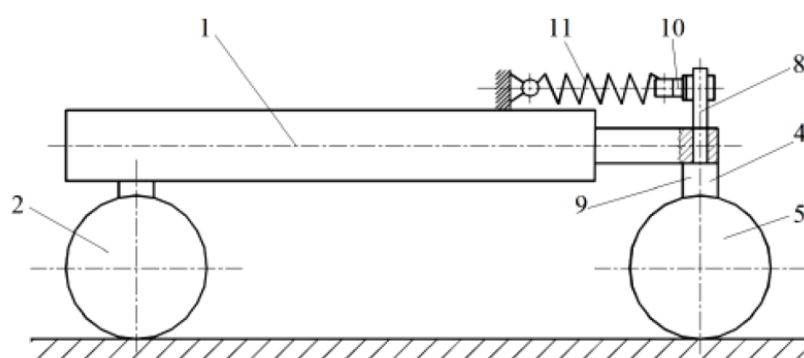
де n_1 ; n_2 – кількість коліс енергетичного модуля та технологічного модуля відповідно.

Виконання умови (3.6) дозволяє підвищити енергоефективність транспортно-технологічного агрегату (потягу) за рахунок забезпечення максимального коефіцієнту корисної дії (ККД) його ходової частини. Виконання умови (3.4) забезпечує стійкість потягу проти складання в тяговому режимі руху. При однакових колесах на енергетичному і технологічному модулях умова (3.6) визначає необхідне співвідношення кількості коліс тягача та причіпної ланки.

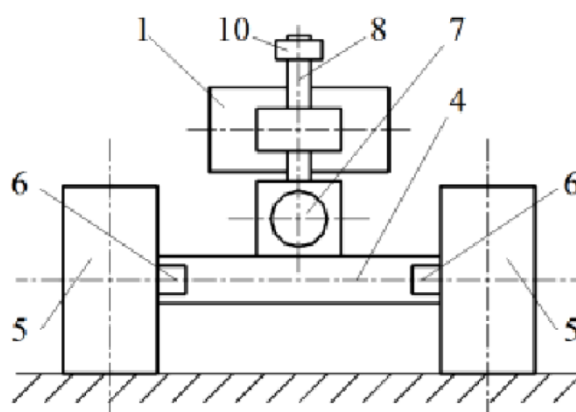
На кафедрі технології машинобудування та ремонту машин запропонована двовісна модель безпілотного наземного дрону з електричним приводом ведучих коліс [110]. На рис. 3.1 наведено двовісну модель наземного



а



б



в

Рисунок 3.1 – Малогабаритний транспортний засіб з переднім поворотним мостом [110], який підвішений балансірно: а – вид зверху; б – вид збоку; в – вид спереду; 1 – корпус; 2 – задні колеса; 3 – мотори задніх коліс; 4 – поворотний міст; 5 – ведучі колеса переднього мосту; 6 – мотори передніх коліс; 7 – горизонтальний шарнір; 8 – вертикальна вісь; 9 – балка переднього поворотного мосту; 10 – важіль; 11 – пружина

малогабаритного безпілотного дрона з переднім поворотним мостом, що підвішений балансірно.

При необхідності підвищення сумарної кутової жорсткості коліс енергетичного модуля можливим є встановлення подвійних коліс. При поворотному передньому мосту, на відміну від поворотних коліс, це не призводить до підвищення опору повороту напрямних коліс.

3.3 Вибір раціонального співвідношення між потужністю електродвигунів, які встановлено на передніх та задніх колесах

В дослідженнях [82, 104] визначено залежність для оптимального розподілу потужностей електродвигунів між передніми та задніми колесами, що забезпечують максимум ККД ходової частини двовісного автомобіля

$$\beta_{opt} = \frac{N_{\partial 61\Sigma}}{N_{\partial 61\Sigma} + N_{\partial 62\Sigma}} = 0,5 \cdot \left[1 + \frac{m \cdot g \cdot f \cdot r_{\partial}(b-a)}{L \cdot M_{\Sigma} \cdot u_{mp} \cdot \eta_{mp}^{mum}} \right], \quad (3.7)$$

де $N_{\partial 61\Sigma}$, $N_{\partial 62\Sigma}$ – сумарні потужності електродвигунів, що встановлено на передніх та задніх колесах;

m – маса машини;

g – прискорення вільного падіння;

f – коефіцієнт опору коченню;

L – поздовжня колісна база машини;

M_{Σ} – сумарний крутний момент;

$U_{тр}$ – передавальне число трансмісії від двигуна до коліс;

η_{mp}^{mum} – миттєвий ККД трансмісії;

a , b – відстані від передньої та задньої осей до проекції центру мас на горизонтальну площину.

Закономірно прийняти на етапі проектування $a = b$. В цьому випадку

$$\beta_{opt} = 0,5 \quad (3.8)$$

та

$$N_{\partial 61\Sigma} = N_{\partial 62\Sigma} . \quad (3.9)$$

Таким чином, при проектуванні енергетичних модулів можливо приймати не тільки однакові колеса, але і електродвигуни на колесах однакової потужності.

3.4 Підвищення маневреності енергетичних модулів з електроприводом ведучих коліс

3.4.1 Схеми модульних енерготехнологічних агрегатів з електроприводом ведучих коліс, поворотними мостами та платформами.

Маневреність є складною експлуатаційною властивістю [111], що включає до себе декілька більш простих властивостей: керованість, поворотність, вписуваність (рис. 3.2)

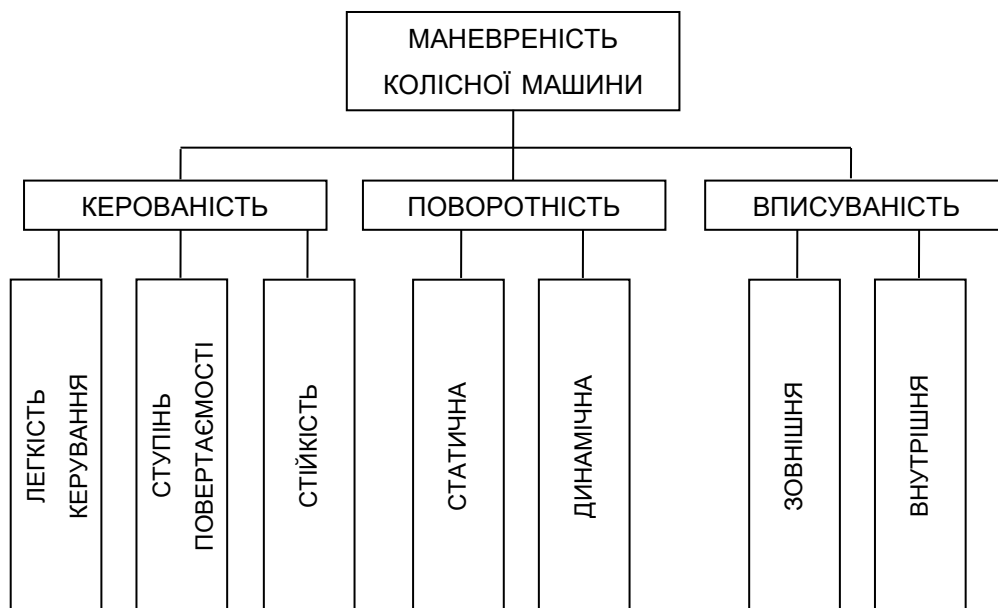


Рисунок 3.2 – Структура властивостей маневреності автомобіля, що запропоновано в роботі [111]

В роботі [111] поширено поняття маневреності на рух автомобіля "крабом", здійснення повороту кінематичним, силовим (динамічним) та комбінованим способами. Взагалі поняття маневру мобільної машини авторами робіт [111, 112] розглядається як рух зі зміною вектору швидкості. На рис. 3.3 наведено класифікацію способів здійснення маневру, запропоновану в роботі [111]. В цю класифікацію введено спосіб виконання маневру - рух "крабом". Авторами робіт [111, 112] також визначається що маневрування це процес, а маневр – закінчена дія.

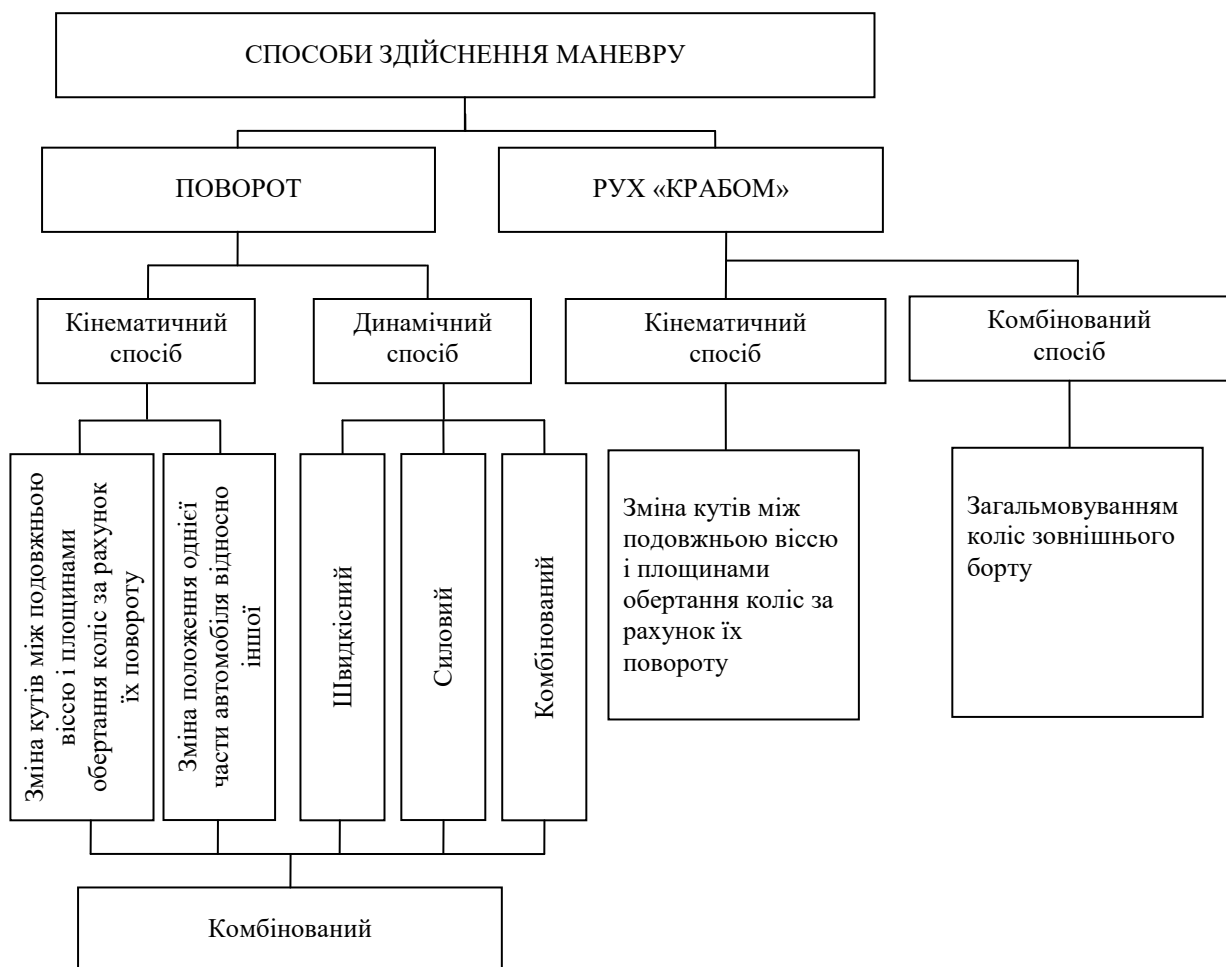


Рисунок 3.3 – Класифікація способів здійснення маневру [111]

Ще одним напрямом підвищення маневреності автомобілів є поворот машини з кількома керованими мостами (рис. 3.4).

Радіус повороту з переднім та заднім керованими мостами [111]

$$R = \frac{L}{\operatorname{tg}(\bar{\alpha}_1 - \bar{\delta}_1) + \operatorname{tg}(\bar{\alpha}_2 + \bar{\delta}_2)}, \quad (3.10)$$

де $\bar{\alpha}_1, \bar{\alpha}_2$ – середні кути повороту коліс переднього та заднього мостів;

$\bar{\delta}_1, \bar{\delta}_2$ – кути відведення середин передньої та задньої осей автомобіля;

L – поздовжня колісна база автомобіля.

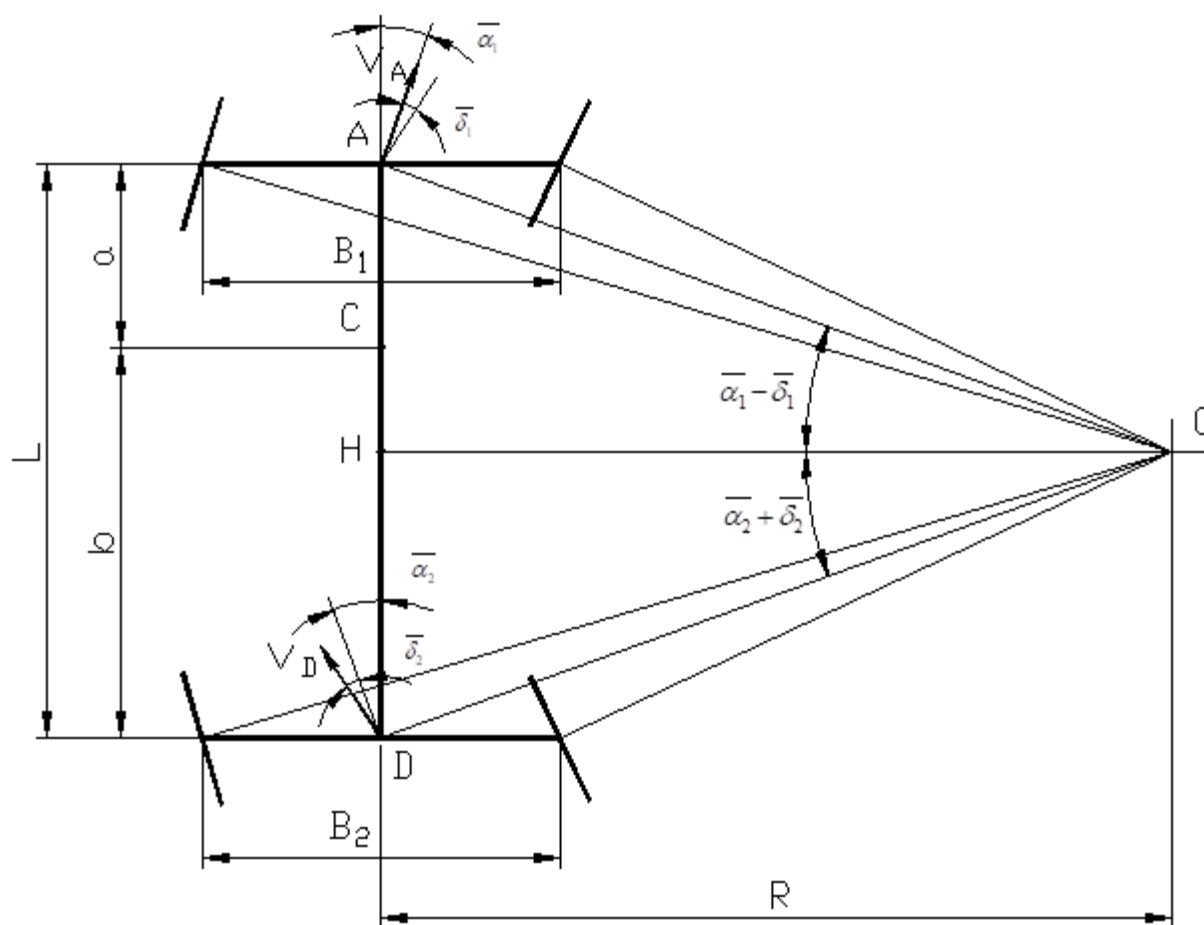
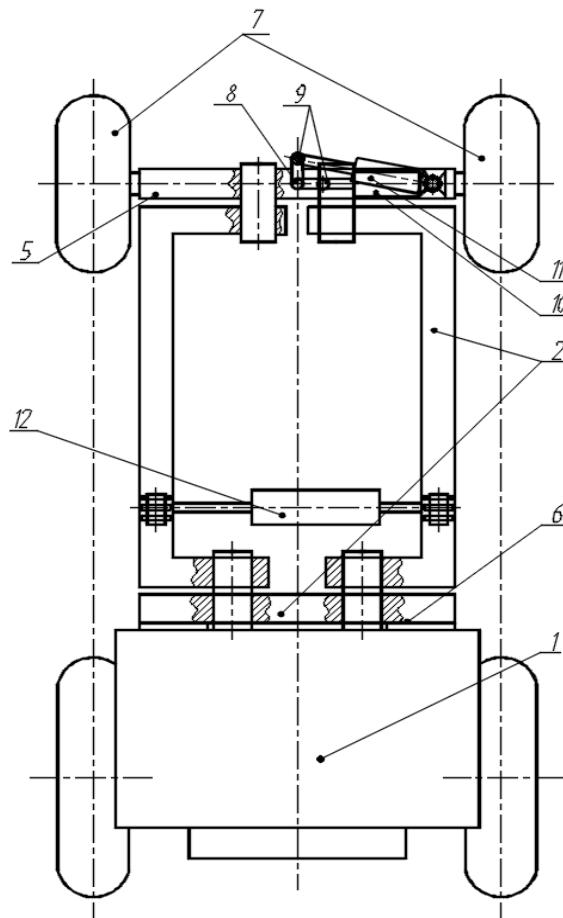


Рисунок 3.4 – Розрахункова схема повороту двовісного автомобіля з переднім і заднім керованими мостами [111]

При абсолютно жорстких колесах $\delta_1 = 0$ та $\delta_2 = 0$. Вираз (3.10) в цьому випадку прийме вигляд

$$R = \frac{L}{\operatorname{tg}\bar{\alpha}_1 + \operatorname{tg}\bar{\alpha}_2}. \quad (3.11)$$

Використання поворотних мостів [113, 114] дозволяє підвищити кінематичну точність руху технологічних машин на повороті та зменшити опір руху напрямних коліс за рахунок заміни опору повертання у плямі контакту на опір кочення (рис. 3.5 [114]). При використанні роздільного приводу ведучих коліс поворотного мосту з'являється можливість покращити керованість автомобілів за рахунок зменшення [115, 116] нелінійності типу "зона нечутливості".



1 – силовий блок з кабіною; 2 – рама; 5, 6 – передній та задній бруси рами, відповідно; 7 – поворотний передній міст; 8 – вертикальний вал приводу механізму повороту моста; 9 – двоплечий важіль; 10, 11, 12 – гідроциліндри управління

Рисунок 3.5 – Самохідне шасі з переднім поворотним мостом
(вид зверху) [113, 114]

Для чотиривісних автомобілів в роботі [117] запропоновано спосіб керування рухом за допомогою двох двовісних поворотних платформ (рис. 3.6, рис. 3.7).

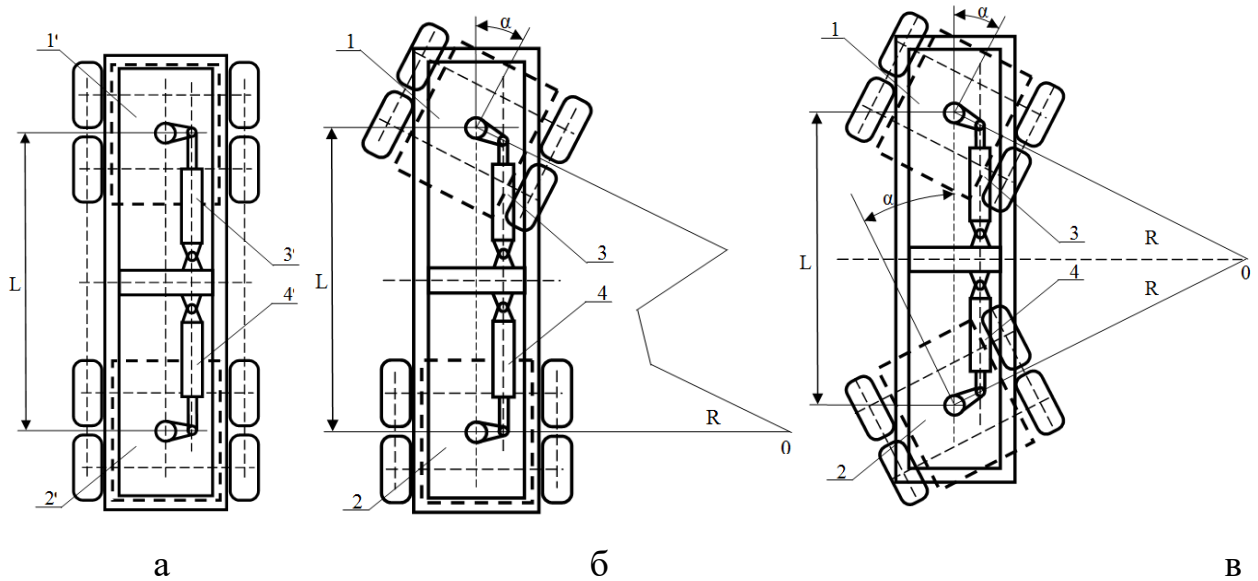


Рисунок 3.6 – Підвищення маневреності чотиривісних автомобілів за рахунок застосування двох двовісних поворотних платформ: а – схема ходової частини; б – поворот передньої платформи; в – поворот передньої та задньої платформ [117]

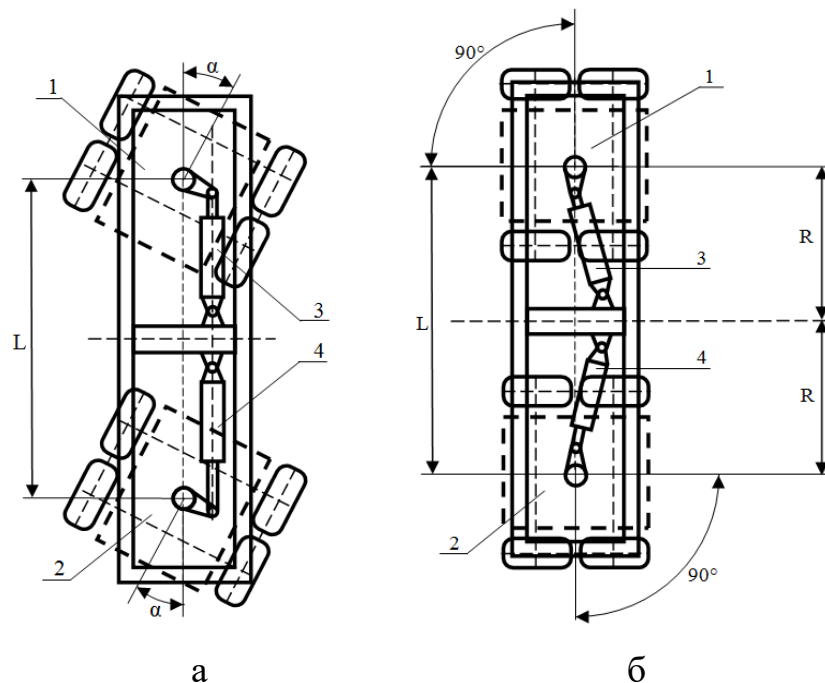


Рисунок 3.7 – Використання повороту передньої та задньої платформи для здійснення "нестандартних" маневрів: а – рух "крабом"; б – поворот навколо власної вертикальної осі та рух "боком" [117]

Використання цього способу управління дозволяє машині рухатися з мінімальним радіусом повороту, забезпечити рух "крабом", "боком", поворот навколо власної осі. Цей спосіб дозволяє машині на площині переходити з одного положення в інше за найкоротшим шляхом [118].

Для тривісних автомобілів, з метою зменшення кінематичної похибки руху на повороті в роботі [115] запропоновано повертати передній та середній мости (рис. 3.8)

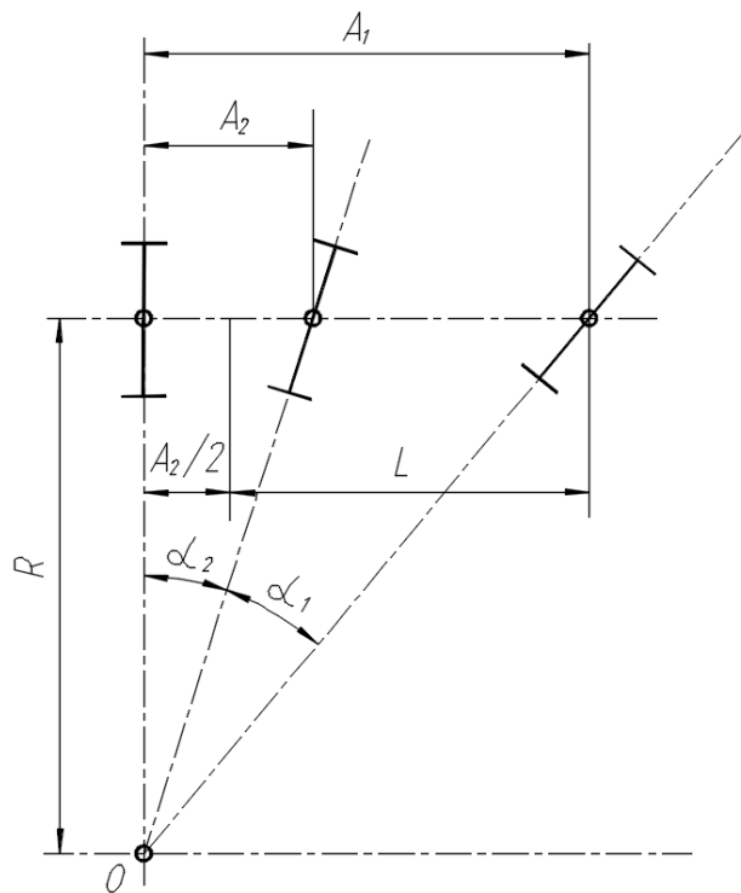


Рисунок 3.8 – Схема повороту тривісного автомобіля з поворотом середнього моста [115]

Кут повороту середнього моста

$$\alpha_2 = \arctg\left(\frac{A_2}{A_1} \operatorname{tg} \alpha_1\right), \quad (3.12)$$

де α_1, α_2 – кути повороту переднього і середнього мостів, відповідно;

R – радіус повороту;

A_2 – відстань між середнім та заднім мостами;

A_1 – відстань між першим та третім мостами,

$$A_1 = L + \frac{A_2}{2} ; \quad (3.13)$$

L – поздовжня колісна база тривісного автомобіля.

В роботі [115] досліджено раціональні параметри управління поворотом тривісного автомобіля за схемою, наведеною на рис. 3.8.

На рис. 3.9 наведено схему повороту чотиривісного автомобіля з двома передніми поворотними мостами [115].

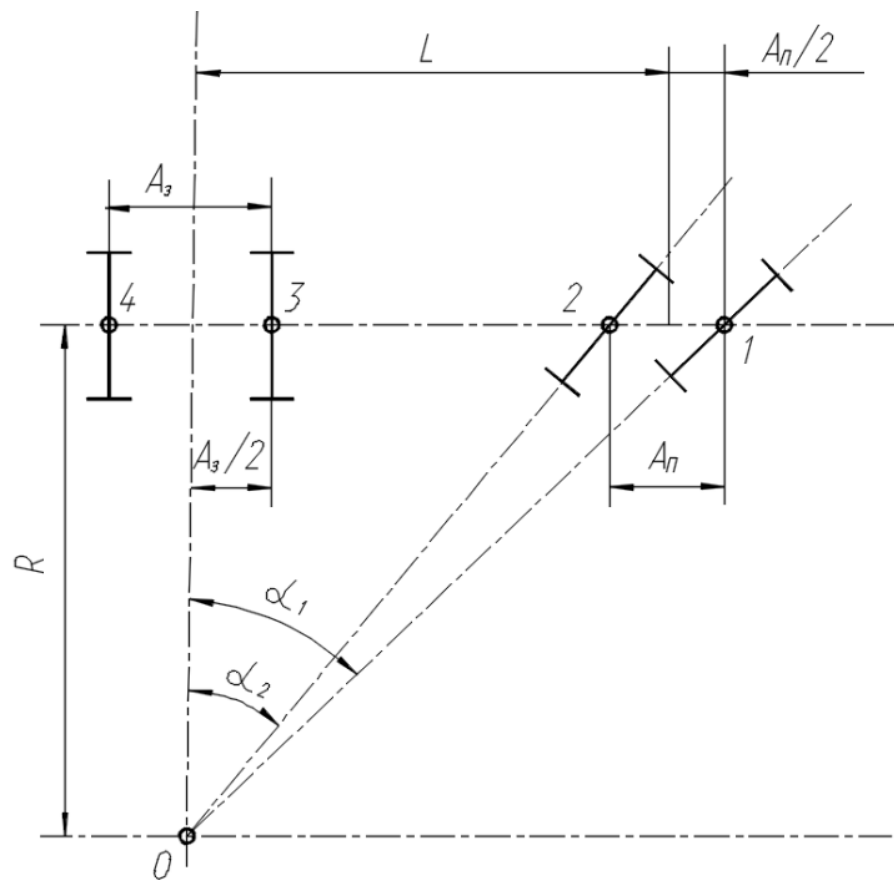


Рисунок 3.9 – Схема повороту чотиривісного автомобіля з двома передніми поворотними мостами

Радіус повороту

$$R = \left(L + \frac{A_{\Pi}}{2} \right) \operatorname{ctg} \alpha_1 = \left(L - \frac{A_{\Pi}}{2} \right) \operatorname{ctg} \alpha_2, \quad (3.14)$$

Кут повороту другого моста

$$\alpha_2 = \operatorname{arctg} \left(\frac{L - \frac{A_{\Pi}}{2}}{L + \frac{A_{\Pi}}{2}} \operatorname{tg} \alpha_1 \right), \quad (3.15)$$

де α_1, α_2 – кути повороту першого і другого мостів, відповідно;

A_{Π} – відстань між першим та другим мостами.

Таким чином, наявна необхідність використання поворотних мостів та поворотних платформ для підвищення маневреності наземної модульної техніки ЗНЗП ПС ДА, яка має електричний привід ведучих коліс.

Розглянемо схему дволанкового енерготехнологічного агрегату з двовісними енергетичним і технологічним модулями. На рис. 3.10 наведено схему повороту цього агрегату в ідеальному випадку при усіх поворотних мостах. В якості напрямної точки приймемо точку M – центр шарніру, що з'єднує ланки потягу. Відстань напрямної точки M до центру повороту O є радіусом повороту машини R . Точка M є загальною як до поздовжньої осі енергетичного модуля, так і до поздовжньої осі технологічного модуля.

З рис. 3.10 отримаємо рівняння

$$R = (L_1 + A_1) \operatorname{ctg} \alpha_1 = A_1 \operatorname{ctg} \alpha_2, \quad (3.16)$$

де α_1, α_2 – кути повороту 1-го та 2-го мостів (мостів енергетичного модуля), відповідно;

L_1 – поздовжня база енергетичного модуля;

A_1 – відстань, яку показано на рис. 3.10.

З рівняння (3.16) отримаємо

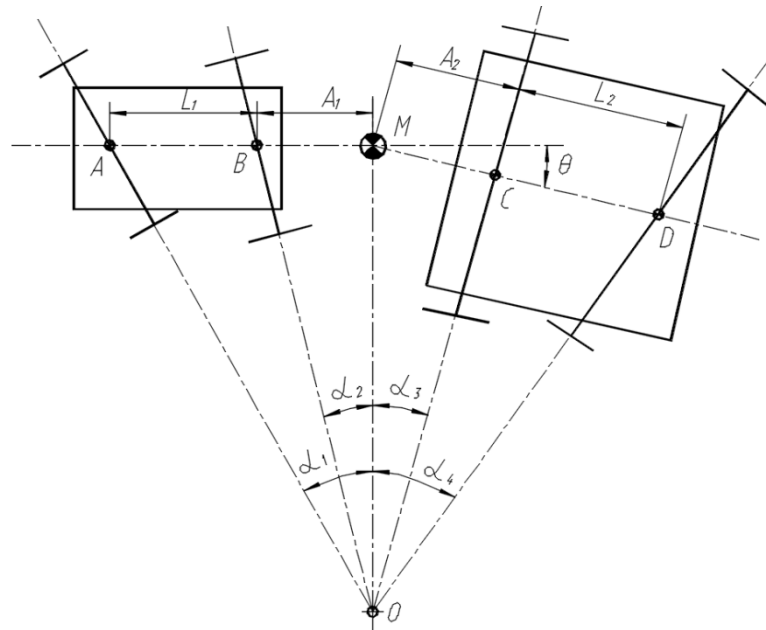


Рисунок 3.10 – Схема повороту енерготехнологічного агрегату з двома двовісними модулями, що мають поворотні мости

$$\alpha_2 = \arctg \left(\frac{\frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{1 + \frac{L_1}{A_1}}}{\frac{L_1}{A_1}} \right), \quad (3.17)$$

Залежність (3.17) встановлює взаємозв'язок між кутами повороту мостів енергетичного модуля. Радіус повороту енергетичного агрегату

$$R = \frac{A_1 + L_1}{\operatorname{tg} \alpha_1}. \quad (3.18)$$

Зробимо припущення (див. рис. 3.10)

$$A_2 \cong 2R \sin \frac{\alpha_3}{2}, \quad (3.19)$$

$$A_2 + L_2 \cong 2R \sin \frac{\alpha_4}{2}, \quad (3.20)$$

де α_3, α_4 – кути повороту 3-го та 4-го мостів (мостів технологічного модуля), відповідно;

L_2 – поздовжня база технологічного модуля;

A_2 – відстань, яку показано на рис. 3.10.

Після врахування залежності (3.18) у рівняннях (3.19) та (3.20) визначимо

$$\alpha_3 = 2 \arcsin \left[\frac{A_2}{2(A_1 + L_1)} \operatorname{tg} \alpha_1 \right], \quad (3.21)$$

$$\alpha_4 = 2 \arcsin \left[\frac{A_2 + L_2}{2(A_1 + L_1)} \operatorname{tg} \alpha_1 \right]. \quad (3.22)$$

Залежності (3.17), (3.21), (3.22) дозволяють побудувати алгоритм керування рухом енерготехнологічного агрегату з двовісними енергетичним і технологічним модулями на повороті при використанні поворотних мостів. При використанні в алгоритмі керування поворотом мостів залежностей (3.17), (3.21), (3.22) забезпечується висока кінематична точність руху, зменшується опір руху та зношування шин.

Однак схема, що наведено на рис. 3.10 має недолік. Вона не забезпечує можливості руху енерготехнологічного агрегату "боком", хоча в умовах обмеженого простору поряд з ПС ДА така необхідність може виникнути.

Більш раціональною є схема енерготехнологічного агрегату з поворотним переднім мостом та поворотними платформами, розташованими на енергетичному модулі та напівпричепі (технологічному модулі) (рис. 3.11). При $\alpha_1 = 90^\circ$; $\alpha_2 = 90^\circ$ та $\alpha_3 = 90^\circ$ енерготехнологічний агрегат має можливість рухатися "боком".

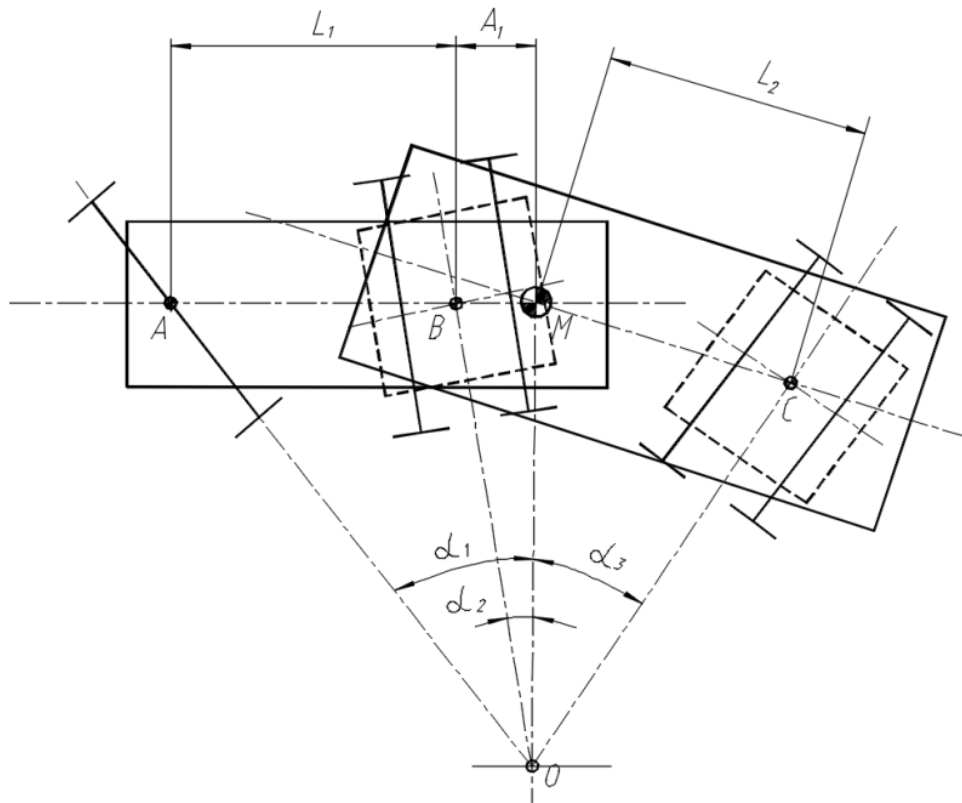


Рисунок 3.11 – Схема повороту енерготехнологічного агрегата з переднім поворотним мостом, поворотною платформою енергетичного модуля та поворотної платформою напівпричепа (технологічного модуля)

За умови (див. рис. 3.11)

$$R = (A_1 + L_1) \cdot \operatorname{ctg} \alpha_1 = A_1 \operatorname{ctg} \alpha_2, \quad (3.23)$$

отримаємо

$$\alpha_2 = \operatorname{arctg} \left(\frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{1 + \frac{L_1}{A_1}} \right). \quad (3.24)$$

У залежності (3.23) радіус повороту, як і у попередньому випадку дорівнює відрізку ОМ на рис. 10. З рисунку 3.11 визначимо з урахуванням (3.23)

$$L_2 = 2R \sin \frac{\alpha_3}{2} = 2(A_1 + L_1) \cdot \operatorname{ctg} \alpha_1 \cdot \sin \frac{\alpha_3}{2} . \quad (3.25)$$

$$\alpha_3 = 2 \arcsin \left(\frac{L_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_1}{2(A_1 + L_1)} \right) . \quad (3.26)$$

Вирази (3.24) та (3.26) дозволяють створити алгоритм керування поворотом переднього поворотного мосту та поворотних платформ енергетичного та технологічного модулів. У разі збігу точок В та М (збігаються осі повороту задньої платформи енергомодуля та шарніру, що з'єднує обидві ланки агрегату) $A_1 = 0$ величина $\alpha_2 = 0$, а величина α_3 буде дорівнювати

$$\alpha_3 = 2 \arcsin \left(\frac{L_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_1}{2L_1} \right) . \quad (3.27)$$

При русі "боком" залежності (3.24), (3.26) використовувати не можна, оскільки вони описують коловий рух. При русі "боком" має місце поступальний прямолінійний рух агрегату.

3.4.2 Порівняльний аналіз сил і моментів опору повороту при поворотних колесах та поворотних мостах.

Момент опору повороту напрямних коліс визначають для найважчих умов, наприклад при повороті коліс на місці на сухій жорсткій опорній поверхні [119]. Момент опору розраховують за формулою

$$M_{on} = \left(\frac{M_1 + M_2 + M_3}{\eta_m} \right) , \quad (3.28)$$

де $M_1 = G_1 \cdot f_1 \cdot r$ – момент опору напрямних коліс перекочуванню;

G_1 – радіальне навантаження на напрямні колеса;

f_1 – коефіцієнт опору кочення;

r – плече обкочування;

M_2 – момент опору коліс повертанню,

$$M_2 = 0,14 \cdot G_1 \cdot \varphi_3 \cdot r_\partial ; \quad (3.29)$$

$$M_2 = 2k_\epsilon \cdot \delta_\epsilon \cdot l_\epsilon , \quad (3.30)$$

де φ_3 – коефіцієнт зчеплення з ґрунтом;

r_∂ – динамічний радіус напрямного колеса;

k_ϵ – коефіцієнт опору відведення шин;

δ_ϵ – кут відведення;

l_ϵ – плече відведення, $l_\epsilon \cong 0,1 \cdot r_\partial$;

M_3 – стабілізуючий момент від поперечного $\beta_{ш}$ і повздовжнього $\gamma_{ш}$ кутів нахилу шворня;

$$M_3 = G_1 \cdot \left(r + r_\partial \cdot \beta_{ш} \left(\beta_{ш} \cdot \sin \left(\frac{\alpha + \beta}{2} + \gamma_{ш} \cdot \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \right) \right) \right), \quad (3.31)$$

де η_m – коефіцієнт корисної дії, що враховує втрати на тертя в поворотних цапфах і шарнірах рульового приводу;

α, β – кути повороту лівого і правого напрямних коліс.

При поворотному мосту момент M_2 опору повертання відсутній. Відносно зменшення моменту опору при використанні поворотного мосту

$$\delta M_{оп} = \frac{\Delta M_{оп}}{M_{оп}} = \frac{M_2}{M_{оп}} = \frac{0,1 \cdot G_1 \cdot \varphi_3 \cdot r_\partial}{G_1 \cdot f_1 \cdot r + 0,1 \cdot G_1 \cdot \varphi_3 \cdot r_\partial + M_3} - \text{на стоянці}; \quad (3.32)$$

$$\delta M_{оп} = \frac{\Delta M_{оп}}{M_{оп}} = \frac{M_2}{M_{оп}} = \frac{2k_\epsilon \cdot \delta_\epsilon \cdot l_\epsilon}{G_1 \cdot f_1 \cdot r + 2k_\epsilon \cdot \delta_\epsilon \cdot l_\epsilon + M_3} - \text{під час руху}. \quad (3.33)$$

Таким чином, після перетворень виразів (3.32) і (3.33), отримаємо відносне зменшення моменту опору

$$\delta M_{OP} = \frac{\Delta M_{OP}}{M_{OP}} = \frac{M_2}{M_{OP}} = \begin{cases} \frac{1}{1 + \frac{M_3 + G_1 \cdot f_1 \cdot r}{0,1 \cdot G_1 \cdot \varphi_3 \cdot r_d}} & \text{– на стоянці;} \\ \frac{1}{1 + \frac{M_3 + G_1 \cdot f_1 \cdot r}{2k_\delta \cdot \delta_\delta \cdot l_\delta}} & \text{– під час руху.} \end{cases} \quad (3.34)$$

(3.34)

(3.35)

Використання поворотних мостів та поворотних платформ дозволяє зменшити опір повороту машини за рахунок відсутності опору повертання. Це підвищує керованість машин за рахунок покращення легкості керування.

3.5 Висновки за розділом 3

1. Використання енергетичних модулів з електричним приводом ведучих коліс для ЗНЗП ПС ДА є перспективним напрямом, що дозволяє підвищити енергоефективність парку ЗНЗП ПС ДА.

2. Перехід на використання енергетичних модулів з електричним приводом ведучих коліс також дозволяє зменшити додаткові (непродуктивні) витрати енергії. Це дозволяє значно спростити використання цих ЗНЗП ПС ДА в режимі безпілотного та автоматичного управління.

3. При заміні енергетичного модуля з ДВЗ на енергетичний модуль з електричним приводом ведучих коліс витрати енергії на рух машини зменшуються на 23-37 % (в залежності від кількості циліндрів ДВЗ).

4. При проектуванні модульних ЗНЗП ПС ДА, яка має електричний привод ведучих коліс, є доцільним використовувати колеса однакового діаметру і встановлення на передніх і задніх колесах електродвигунів рівної потужності.

5. Запропоновано дві раціональні з позицій високої маневреності схеми дволанкових енерготехнологічних агрегатів:

- перша схема представляє собою двовісний енергетичний модуль та двовісний причіп (технологічний модуль);

- друга схема – тривісний енергетичний модуль з переднім поворотним мостом та задньою двовісною поворотною платформою з технологічним модулем – напівпричіпом з двовісною поворотною платформою.

6. Отримані в результаті теоретичного дослідження зв'язки між кутами повороту поворотних мостів та поворотних платформ дозволяють у майбутньому синтезувати алгоритми ідеального керування поворотом модульних енергетичних агрегатів для наземного (АТЗ) забезпечення польотів ПС ДА.

Основні результати дослідження по даному розділу опубліковані в роботах [7, 8, 9, 10, 11, 12].

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
БЕЗПІЛОТНОГО ЕНЕРГОМОДУЛЯ, ОБЛАДНАНОГО СНІГОВІДВАЛОМ З
ЕЛЕКТРИЧНИМ ПРИВОДОМ ВЕДУЧИХ КОЛІС

Інтенсивний розвиток автономних технологій призводить до того, що вони знаходять все ширше застосування. Зазначені технології впроваджуються у тому числі у сфері обслуговування злітно-посадкових смуг аеродромів, а саме у розробці та застосуванні автономних наземних безпілотних ЗНЗП ПС ДА для очищення злітних смуг від снігу. Так, у різних аеропортах Швеції тестуються автономні снігоочисні машини під назвою "Yeti", розроблені компанією Veraasen у співпраці з Semcon [120]. Ці машини можуть працювати в конвої, очищуючи злітно-посадкові смуги від снігу автономно. Вони обладнані GPS, датчиками та системами для безпеки, щоб точно рухатися по заданих траєкторіях. Система, що включає машини "Yeti", дозволяє одночасно очищати великі ділянки смуги, демонструє високий рівень ефективності та безпеки цих машин у реальних умовах роботи аеропорту під час снігопадів. За результатами випробувань "Yeti" продемонстрували здатність суттєво підвищити оперативність очищення злітно-посадкових смуг. Швейцарська компанія **Aebi Schmidt** також працює над автономними електричними снігоочисниками, які також можуть використовуватися на злітно-посадкових смугах. Завдяки застосуванню електроприводу, вони мають низький рівень викидів і здатні працювати автономно. Перевагами застосування автономних або таких, що керуються дистанційно, снігоочисників є те, що вони можуть працювати автономно, без перерв, що дозволяє значно зменшити час, необхідний для очищення злітних смуг, особливо під час інтенсивних снігопадів, знижується ризик для людського персоналу, оскільки керування здійснюється дистанційно або автоматично, збільшується енергоефективність, оперативна реакція на зміну умов, адаптація до різних типів покриття, інтенсивності снігопаду та

розміру злітної смуги. Разом з тим такі системи потребують додаткових витрат на створення інфраструктури їх експлуатації, розробки системи для їх координації із іншими службами та підрозділами АТЗ польотів ПС ДА суб'єктів ДА, щоб уникнути аварій чи затримок у роботі аеродрому ДА.

4.1 Об'єкт, мета, умови та послідовність проведення експериментального дослідження

У Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті розроблено безпілотний дистанційно керований колісний енергомодуль (рис. 4.1), який було обладнано сніговідвалом. Запропонований безпілотний колісний енергомодуль, обладнаний сніговідвалом, представляє собою передову технологію, яка може суттєво змінити підхід до обслуговування ЗПС і підвищити ефективність роботи аеропортів. Проведено динамічні випробування візка в процесі прибирання снігу з асфальтобетонного покриття.

Метою експериментального дослідження є визначення впливу повної маси безпілотного колісного енергомодуля, обладнаного сніговідвалом, на його тягово-швидкісні властивості під час виконання технологічної операції прибирання снігу. Особлива увага приділялася дослідженню процесів розгону, зміни поздовжніх прискорень та досягнення максимальної швидкості руху в умовах засніженого дорожнього покриття.

Об'єкт експериментального дослідження. У якості об'єкта дослідження під час проведення експерименту був використаний безпілотний колісний енергомодуль (рис. 4.1), який було обладнано сніговідвалом. Енергомодуль керується дистанційно. В процесі експериментального дослідження здійснювалась зміна маси колісного енергомодуля (рис. 4.2).

Технічні характеристики безпілотного колісного візка, обладнаного сніговідвалом, експериментальні дослідження якого проводились, наведено у таблиці 4.1.



а



б



в

Рисунок 4.1 – Безпілотний колісний енергомодуль в процесі експериментального дослідження: а, б – без додаткового завантаження; в – з додатковим завантаженням

Таблиця 4.1 – Безпілотний колісний енергомодуль, технічні характеристики

Параметр	Величина параметра
Споряджена маса, кг	136
Повна маса, кг	300
Довжина/Ширина/Висота, мм (без сніговідвалу)	1300/1270/620
Довжина/Ширина/Висота, мм (з встановленим сніговідвалом)	1560/1270/620
Колісна база, мм	850
Колія, мм	110
Тип приводу	повний
Мотор-колеса	VEOLA ZWG36 XF19R
Діаметр коліс, мм	300
Сумарна потужність електродвигунів, кВт	2,0



Рисунок 4.2 – Вантажі, що використовувались для зміни маси безпілотного колісного візка в процесі експериментального дослідження

Безпілотний колісний енергомодуль обладнаний чотирма мотор-колесами VEOLA ZWG36 XF19R (36v, 500w) (рис. 4.3), технічні характеристики яких наведено у таблиці 4.2.



Рисунок 4.3 – Мотор-колесо VEOLA ZWG36 XF19R, що встановлені на
безпілотний колісний енергомодуль

Таблиця 4.2 – Технічні характеристики мотор-колів VEOLA ZWG36
XF19R, якими обладнаний безпілотний колісний енергомодуль

Параметр	Величина параметра
Тип мотору	Мотор редукторний, безщіточний
Вольтаж, В	36
Потужність, кВт	0,5
Максимальна температура експлуатації, °С	150
Шумність, дБ	<60
Вага мотор-колеса, кг	5,0
Коефіцієнт редукції	1:5,8
Радіус колеса статичний, мм	150

В процесі експериментального дослідження маса безпілотного колісного візка змінювалась в діапазоні від 136 кг до 300 кг з кроком 41 кг. Варіювання маси здійснювалось шляхом завантаження вантажів, кожний масою 8,2 кг (рис. 4.2).

Вибір діапазону зміни маси енергомодуля від 136 кг до 300 кг обумовлений необхідністю моделювання різних варіантів його завантаження під час виконання технологічних операцій на території аеродрому. Таке варіювання дозволяє оцінити вплив навантаження на зчіпні властивості коліс, інтенсивність розгону та енергетичну ефективність руху.

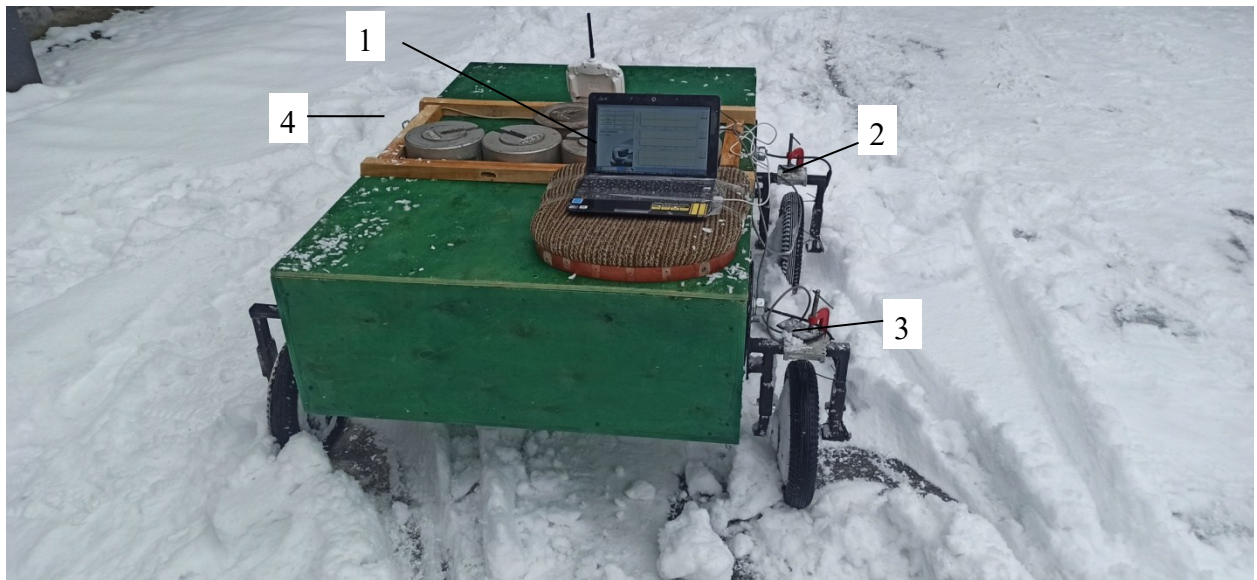
Під час проведення експериментального дослідження безпілотний колісний енергомодуль перебував у справному стані, акумуляторні батареї повністю заряджені (рис. 4.4).



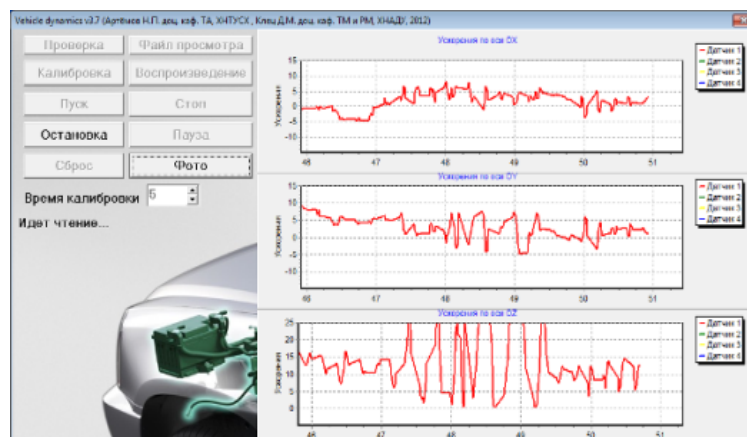
Рисунок 4.4 – Блок акумуляторних батарей та система керування безпілотного колісного візка

Умови та місце проведення дорожніх досліджень. Дослідження проводилися 10 лютого 2024 року в нормальних кліматичних умовах Харківської області на горизонтальній ділянці з рівним асфальтобетонним покриттям, вкритим шаром снігу. Товщина сніжного покриву на експериментальній ділянці складала 120 мм (рис. 4.5). Проведення досліджень в умовах наявності снігового покриву товщиною 120 мм забезпечує наближення

експерименту до реальних умов експлуатації засобів аеродромно-технічного забезпечення в зимовий період. Отримані результати можуть бути використані для обґрунтування параметрів перспективних безпілотних транспортних засобів, призначених для механізації допоміжних робіт на території літовищ.



а



б

1 – Вимірювально-реєстраційний комплекс; 2, 3, 4 – трикоординатні датчики прискорення

Рисунок 4.5 – Безпілотний колісний енергомодуль, обладнаний сніговідвалом та вимірювально-реєструючим комплексом у складі ноутбука та трикоординатних датчиків прискорення: а – засніжена ділянка асфальтобетонного покриття з товщиною сніжного покриву 120 мм; б – інтерфейс програми для реєстрації і візуалізації експериментальних даних

Поздовжні і поперечні ухили експериментальної ділянки з асфальтобетонним покриттям не перевищували 1%. Метеорологічні умови при проведенні досліджень за даними метеорологічної служби перед початком і в кінці заїздів в зоні розташування ділянки, на якій проводилися дослідження, наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Звіт з метеообстановки на момент проведення експериментальних досліджень (10.02.2024)

Час	Опади	Напрямок вітру	Швидкість вітру, м/с	Температура повітря, °C	Вологість, %	Атмосферн. тиск, мм рт.ст.
10:00	Невеликий сніг	Східний	6,0	-1	75	735
12:00	Хмарно, без опадів	Східний	5,0	0	75	745
14:00	Хмарно, без опадів	Східний	5,0	+1	75	750

Експериментальні дослідження проводились науково-дослідним персоналом в кількості 2-х осіб.

Устаткування, що застосовується при проведенні експериментальних досліджень. Дорожні експериментальні дослідження базувалися на вимірюванні параметрів руху безпілотного колісного візка, обладнаного сніговідвалом на горизонтальній прямолінійній ділянці дороги з сніговим покривом мобільним реєстраційно-вимірювальним комплексом (МРВК) ВРКВММ 4-001 [121, 122] до якого належать датчики прискорень Freescale Semiconductor [123] моделі MMA7260QT ДЛШ заводський номер № 29093112, заводський номер № 29093113, заводський номер № 06085446 (рис. 4.6). Метрологічні характеристики трикоординатного датчика прискорення (акселерометра), що входить до складу вимірювального комплексу наведено у таблиці 4.4.



а



б



в



г

Рисунок 4.6 – Місця кріплення трикоординатних датчиків прискорення на безпілотному колісному візку та напрямки розташування їх вимірювальних осей: а – датчик з заводським номером № 29093112; б – датчик з заводським номером № 06085446; в – датчик з заводським номером № 29093113; г – загальне розташування датчиків

Таблиця 4.4 – Метрологічні характеристики трикоординатного датчика прискорення (акселерометра), що входить до складу вимірювального комплексу [123]

Параметр	Величина або діапазон зміни параметра
Діапазон прискорення, що контролюється	$\pm 1,5 \text{ g}$
Пропускна здатність, Гц	350
Напруга живлення	220 В, 50 Гц
Чутливість 1.5g, mV/g	740-860
Основна відносна похибка визначення прискорення, %	± 1
Шум RMS (0,1 Гц – 1 кГц), mVrms	4,7
Нелінійність, %FSO	5,0
Час відгуку, ms	1,0-2,0

На рис. 4.5 а та рис. 4.6 наведені місця кріплення датчиків прискорення на безпілотному колісному візку.

Точність вимірювання прискорень в поздовжній, поперечній та вертикальній площинах підвищена за рахунок знімання даних одночасно з трьох датчиків прискорення і усереднення отриманих значень.

Матеріально-технічне забезпечення:

- безпілотний колісний енергомодуль, обладнаний сніговідвалом (рис. 4.1);
- мобільний реєстраційно-вимірювальний комплекс (МРВК) ВРКВММ 4-001 [121, 122] до якого належать датчики прискорень Freescale Semiconductor [123] моделі MMA7260QT ДЛШ заводський номер № 29093112, заводський номер № 29093113, заводський номер № 06085446 (рис. 4.6);
- набір вантажів, кожний масою 8,2 кг (рис. 4.2);
- рулетка вимірювальна сталева Р50УЗК ДСТУ 4179-2003;
- фотокамера.

Перелік показників, які визначалися в процесі експериментальних досліджень:

- час руху t , с;
- поздовжні a_x , поперечні a_y і вертикальні a_z прискорення з трикоординатних датчиків прискорення, м/с^2 ;
- температура датчиків прискорення, $^{\circ}\text{C}$;
- маса досліджуваного безпілотного колісного візка m , кг;
- поздовжня лінійна швидкість руху V досліджуваного безпілотного колісного візка, яка визначалася інтегруванням його прискорення у відповідності до методики, описаної в [122].

Для зменшення впливу вібрацій на точність показань використовувався програмний фільтр Баттерворта, що забезпечував згладжування сигналу [124].

Послідовність досліджень. На першому етапі експериментального дослідження безпілотний колісний енергомодуль, обладнаний сніговідвалом у спорядженому стані на прямолінійній засніженій горизонтальній ділянці дороги здійснював максимально інтенсивний розгін з 0 км/год до максимальної швидкості руху одночасно здійснюючи прибирання снігу з наступним сповільненням по мірі накопичення снігу перед сніговідвалом до повної зупинки. Заїзд повторювався у зворотному напрямку руху для усунення похибки, що обумовлена наявністю поздовжніх ухилів ділянки дороги.

На другому, третьому, четвертому та п'ятому етапах експериментального дослідження безпілотний колісний енергомодуль, обладнаний сніговідвалом рухався в аналогічному режимі за аналогічними траєкторіями, але вже в завантаженому стані. Завантаження здійснювалось на відповідних етапах наступною кількістю вантажів, кожний масою 8,2 кг:

- 5 вантажів (41 кг);
- 10 вантажів (82 кг);
- 15 вантажів (123 кг);
- 20 вантажів (164 кг).

4.2 Оцінювання інструментальних та методичних похибок вимірювань

На відміну від лабораторних досліджень, під час дорожніх (натурних) експериментальних досліджень на результати вимірювань істотно впливають випадкові чинники, обумовлені змінним навколишнім середовищем, зокрема зміни температури, вібраційні навантаження, електромагнітні перешкоди, а також похибки встановлення вимірювальних датчиків. Тому необхідним є оцінювання точності отриманих вимірювальних даних.

Забезпечення необхідної точності результатів експериментального дослідження передбачає аналіз усіх джерел можливих похибок, які можуть виникати під час його проведення. Особливе значення для проведеного експериментального дослідження мають інструментальні та методичні похибки.

Інструментальні похибки зумовлені недосконалістю застосованих засобів вимірювальної техніки. Вони виникають внаслідок нелінійності характеристик чутливих елементів (датчиків прискорення), впливу температурних змін, нестабільності електронних компонентів, похибок тарування та похибок перетворення вимірювальних сигналів (у тому числі з аналогового у цифровий) у процесі їх реєстрації та обробки. Таким чином, інструментальна похибка є невід'ємною характеристикою вимірювальних датчиків, що використовувались в процесі експериментального дослідження, та визначається їх конструктивними і технологічними особливостями.

Для проведення дорожніх експериментальних досліджень було використано мобільний вимірювально-реєстраційний комплекс ВДВММ 4-001, який призначений для оперативної реєстрації параметрів динамічних процесів у рухомих технічних системах та забезпечує можливість синхронного зчитування і збереження даних із декількох каналів вимірювання. Структурно комплекс включає систему трьох датчиків прискорення, що представляють собою скомпоновані у одному металевому корпусі вимірювальна плата Freescale Semiconductor [123] з напівпровідниковими акселерометрами моделі

ММА7260QT ДЛШ, блок первинної обробки сигналів, аналого-цифровий перетворювач (табл. 4.4). Датчики цього типу є тривісними інерційними перетворювачами прискорення і забезпечують вимірювання лінійних прискорень уздовж трьох взаємно перпендикулярних координатних осей. Робочий діапазон вимірювань становить $\pm 14,7$ м/с², що дозволяє реєструвати динамічні навантаження, характерні для руху та роботи досліджуваного енергомодуля [123]. Програмно-апаратний модуль реєстрації і збереження вимірювальної інформації на базі ноутбуку отримує вимірювальну інформацію від датчиків через USB порти та відповідні кабелі (рис. 4.5).

Особливістю акселерометрів ММА7260QT є наявність вбудованих електронних схем компенсації температурних змін, а також інтегрованих фільтрів, призначених для пригнічення високочастотних шумів і паразитних сигналів [123]. Крім того, датчики мають систему обмеження крайніх значень сигналу, що підвищує їхню стійкість до короткочасних перевантажень. Завдяки високій чутливості, яка становить близько 800 мВ/г, забезпечується достатньо висока точність вимірювання навіть при відносно невеликих прискореннях.

Конструктивно акселерометри цього типу реалізовані на основі мікромеханічного ємнісного чутливого елемента типу G-cell, інтегрованого разом з електронною схемою вимірювального перетворення на одному кремнієвому кристалі. Така інтеграція дозволяє зменшити вплив зовнішніх електромагнітних перешкод, підвищити стабільність характеристик датчика та забезпечити високу надійність роботи в умовах експлуатації мобільних технічних систем.

Таким чином використовувані датчики мають низку вбудованих функцій корекції сигналу:

- температурну компенсацію;
- фільтрацію високочастотних шумів за допомогою фільтрів частот;
- систему обмеження крайніх значень сигналу.

У процесі експериментальних досліджень було використано три датчики лінійних прискорень, розміщених у характерних точках досліджуваного

енергомодуля (рис. 4.6). Максимальна довжина з'єднувальних кабелів контрольно-вимірювальної системи не перевищувала трьох метрів, що дозволило мінімізувати втрати сигналу та вплив електромагнітних наведень. Датчики функціонували при низькій напрузі живлення в діапазоні 2,2–3,6 В, що забезпечує їхню швидку ініціалізацію після ввімкнення та стабільність роботи навіть при наявності короткочасних коливань напруги або впливу статичної електрики.

Загальна інструментальна похибка вимірювання прискорень за допомогою використаної контрольно-вимірювального комплексу формується як сукупність двох складових. Однією з них є похибка встановлення датчиків, яка виникає внаслідок можливого відхилення реальних вимірювальних осей акселерометрів відносно базових координатних осей досліджуваного енергомодуля – поздовжньої, поперечної та вертикальної. У проведеному експерименті це відхилення не перевищувало 3 % [122], що відповідає допустимим вимогам до точності монтажу вимірювальних датчиків у польових умовах. Другою складовою інструментальної похибки є власна похибка вимірювання використаних датчиків прискорення, пов'язана з внутрішніми фізичними процесами у чутливому елементі та обмеженою точністю електронної схеми вимірювання, яка згідно з технічними характеристиками акселерометрів MMA7260QT не перевищує 1 % (табл. 4.4) [123]. Тоді загальна інструментальна похибка вимірювань прискорень визначається як квадратний корінь із суми квадратів окремих складових [125]

$$\delta_{instr} = \sqrt{\delta_{вст}^2 + \delta_{\partial}^2}, \quad (4.1)$$

де $\delta_{вст}$ – похибка встановлення датчиків прискорення на енергомодулі в процесі експериментального дослідження, $\delta_{вст} = 3\%$;

δ_{∂} – похибка вимірювання використаних датчиків прискорення, $\delta_{\partial} = 1\%$.

Тоді

$$\delta_{instr} = \sqrt{3^2 + 1^2} = 3,16\%.$$

Таким чином, загальна інструментальна похибка вимірювань не перевищувала 3,2 %.

Методичні похибки виникають унаслідок особливостей застосованої методики вимірювань. Найбільш вагомою методичною похибкою в процесі проведеного експериментального дослідження є похибка, пов'язана з впливом на покази датчиків прискорення ухилів корпусу енергомодуля в процесі руху відносно початкового положення на початку заїзду на горизонтальній ділянці дороги, які обумовлені нерівномірним потраплянням снігу під його колеса. Сніг під колесами передньої осі менш спресований ніж під колесами задньої осі, що є причиною поздовжнього ухилу корпусу енергомодуля відносно дорожнього полотна. Так, при русі енергомодуля з прискоренням і наявністю такого поздовжнього ухилу з кутом α , показання датчиків прискорення a_x відрізнятимуться від дійсного його поздовжнього прискорення $\dot{V}_a$ на величину абсолютної методичної похибки [98]

$$\Delta_{мет} = a_x - \dot{V}_a = \pm g \cdot \sin \alpha . \quad (4.2)$$

Відносна методична похибка вимірювання лінійного прискорення енергомодуля в процесі експериментального дослідження визначатиметься за формулою [98]

$$\delta_{мет} = \left| \frac{g \cdot \sin \alpha}{\dot{V}_a} \right| \cdot 100\% . \quad (4.3)$$

В реальних умовах в процесі експериментального дослідження фіксувалися поздовжні ухили корпусу енергомодуля відносно його початкового положення на початку заїзду, які не перевищували $\alpha = 1,0^\circ$. Для лінійного

прискорення при розгоні енергомодуля $\dot{V}_a = 3,5 \text{ м/с}^2$ величина відносної методичної похибки складатиме 4,9%.

Сумарна максимальна похибка вимірювань з урахуванням інструментальної та методичної складових, джерело яких статистично незалежне, визначатиметься за правилом квадратичного складання похибок [125]

$$\delta_{\text{сум}} = \sqrt{\delta_{\text{інстр}}^2 + \delta_{\text{мет}}^2} . \quad (4.4)$$

При значенні інструментальної похибки 3,16% та методичної похибки 4,9%, отримуємо $\delta_{\text{сум}} = 5,83\%$. Отримане значення сумарної максимальної похибки вимірювань не перевищує 6 %, що відповідає вимогам до точності експериментальних досліджень динамічних процесів технічних систем. Це дозволяє вважати результати вимірювань достатньо достовірними для подальшого аналізу та узагальнення.

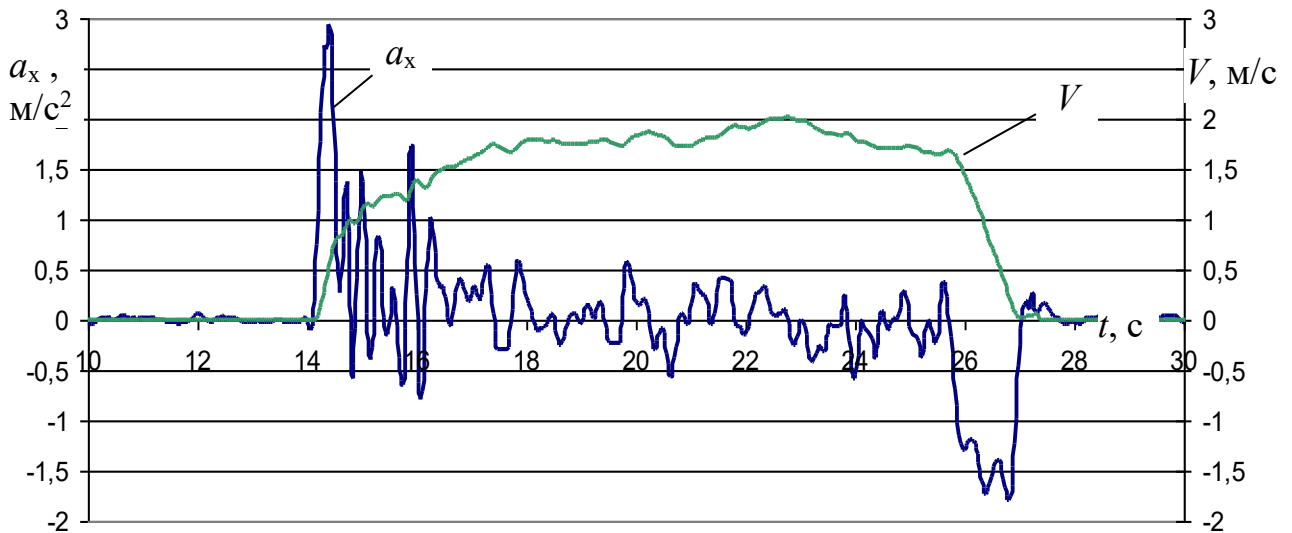
4.3 Обробка результатів експериментального дослідження

За результатами проведеного експериментального дослідження та обробки отриманої вимірювальної інформації побудовано графіки зміни у часі поздовжніх лінійних прискорень та поздовжньої лінійної швидкості безпілотного колісного енергомодуля різної маси, обладнаного сніговідвалом в процесі прибирання снігу на горизонтальній ділянці дороги (рис. 4.7-4.11).

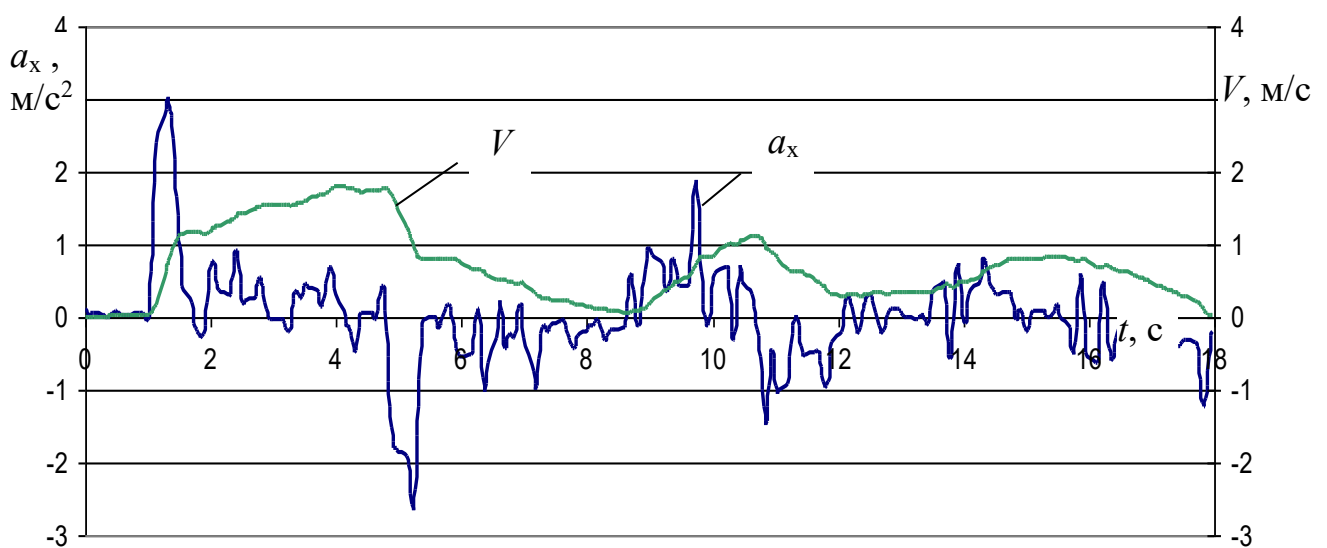
Аналізуючи отримані графіки, слід відмітити, що проведене експериментальне дослідження підтвердило можливість використання енергомодулів з електричним приводом ведучих коліс для здійснення технологічних операцій в межах літовища при наземному (АТЗ) забезпеченні польотів ПС ДА.

На рис. 4.7 наведено результати випробувань енергомодуля спорядженою масою 136 кг. Аналіз графіків свідчить, що в процесі розгону максимальне поздовжнє прискорення досягає близько $3,0 \text{ м/с}^2$, після чого поступово зменшується

внаслідок зростання опору переміщенню снігу перед відвалом. Максимальна швидкість руху не перевищує 2,0 м/с, що пояснюється недостатнім навантаженням на ведучі колеса та частковим буксуванням на засніженому покритті.



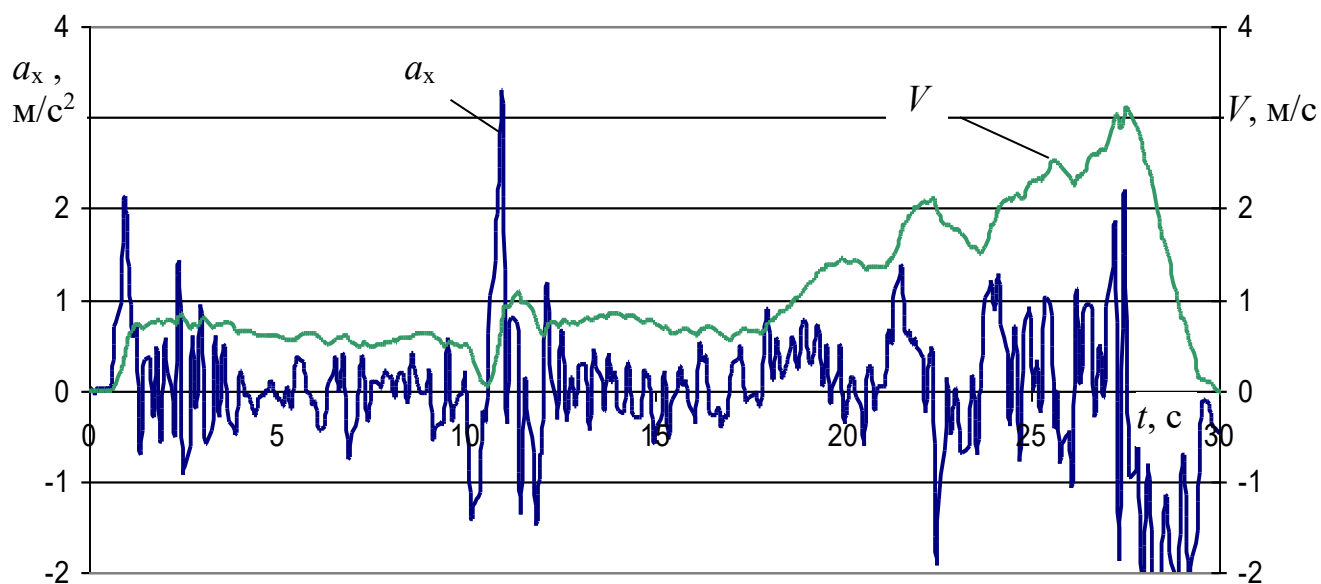
а



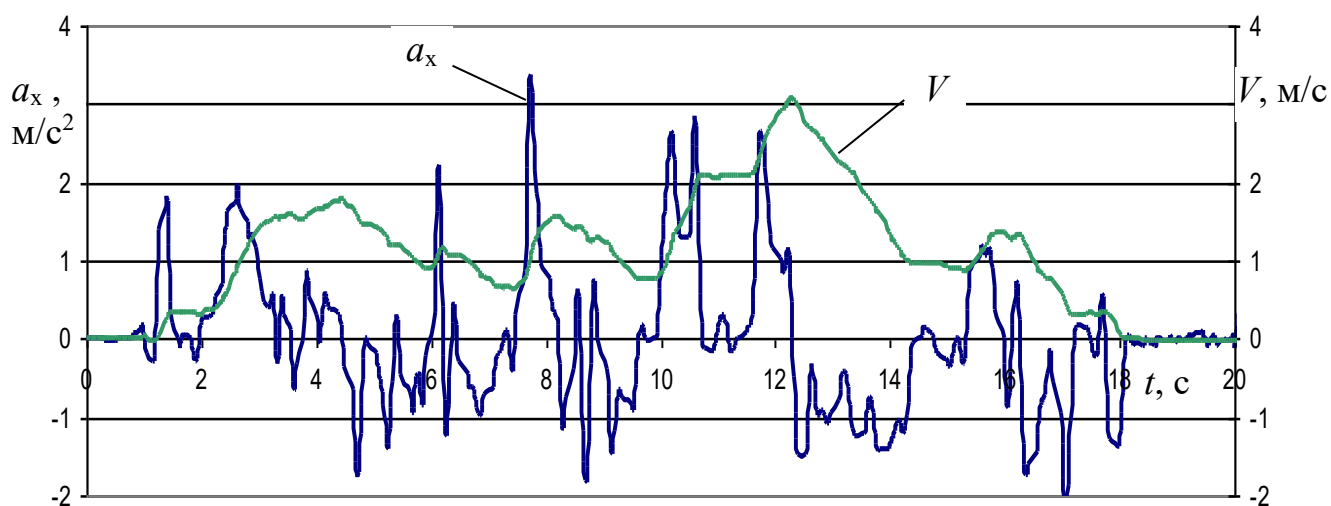
б

Рисунок 4.7 – Графік зміни у часі поздовжніх лінійних прискорень та поздовжньої лінійної швидкості безпілотного колісного візка, обладнаного сніговідвалом, загальною масою $m = 136$ кг в процесі прибирання снігу на горизонтальній ділянці дороги:

а – заїзд 1 (файл G11-43-12); б – заїзд 2 (файл G12-01-28)



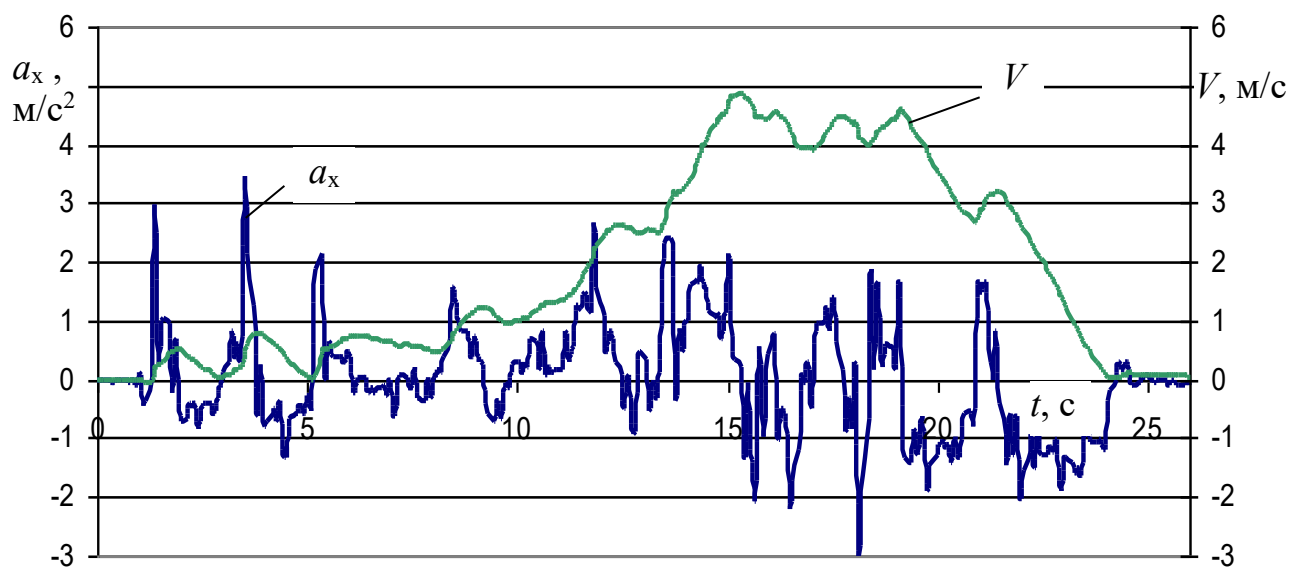
а



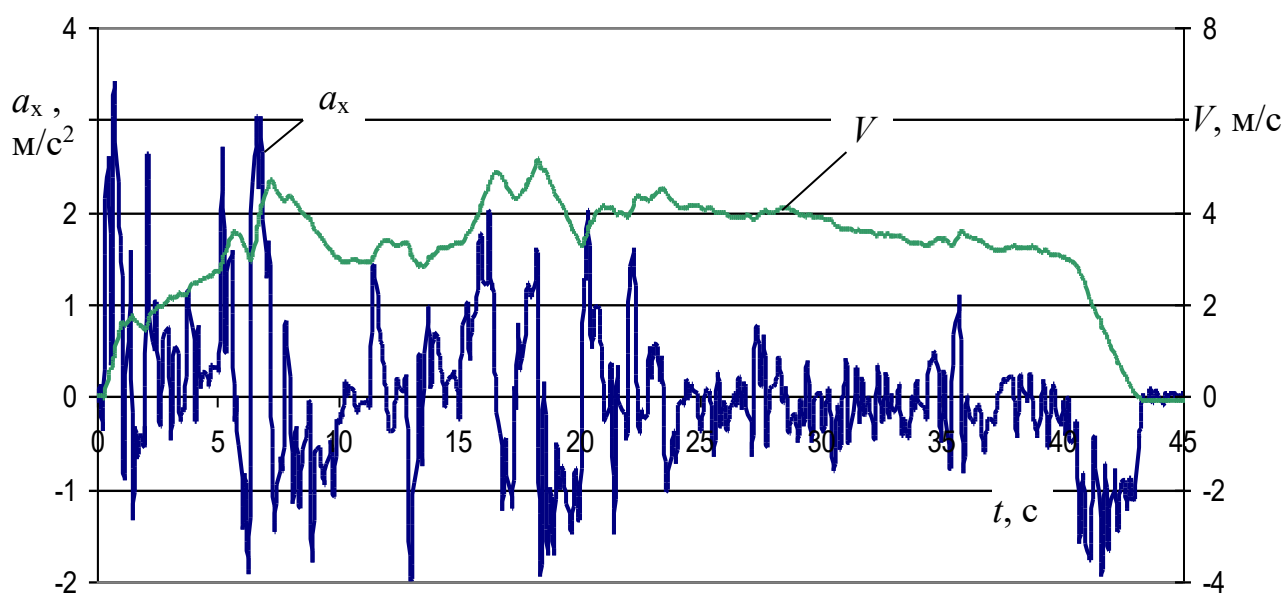
б

Рисунок 4.8 – Графік зміни у часі поздовжніх лінійних прискорень та поздовжньої лінійної швидкості безпілотного колісного візка, обладнаного сніговідвалом, загальною масою $m = 177$ кг в процесі прибирання снігу на горизонтальній ділянці дороги:

а – заїзд 1 (файл G12-09-50); б – заїзд 2 (файл G12-19-19)



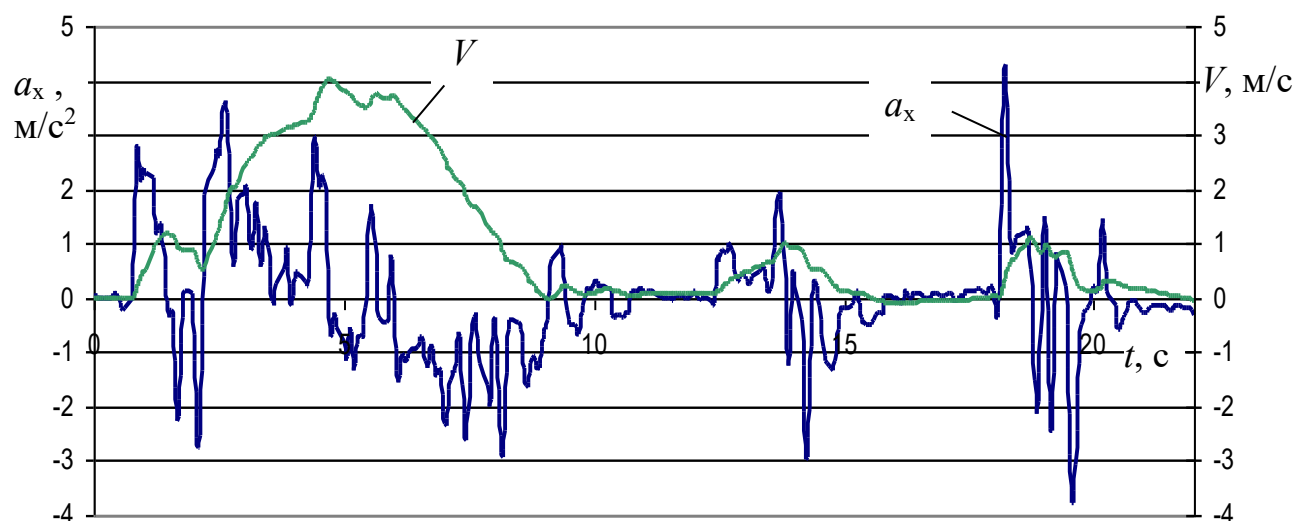
а



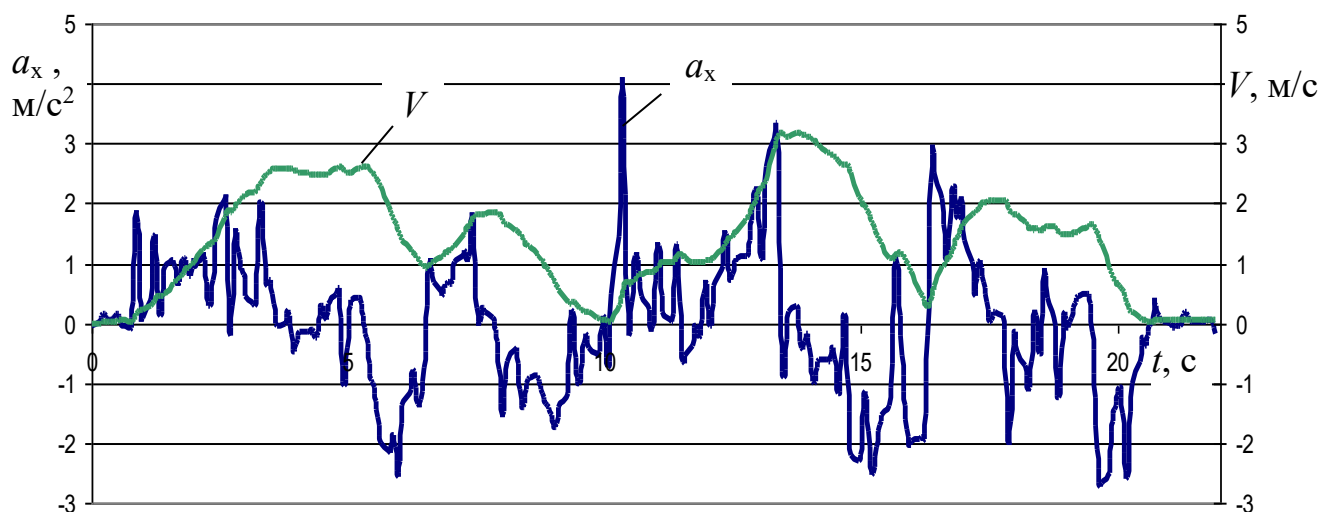
б

Рисунок 4.9 – Графік зміни у часі поздовжніх лінійних прискорень та поздовжньої лінійної швидкості безпілотного колісного візка, обладнаного сніговідвалом, загальною масою $m = 218$ кг в процесі прибирання снігу на горизонтальній ділянці дороги:

а – заїзд 1 (файл G12-34-30); б – заїзд 2 (файл G11-53-14)



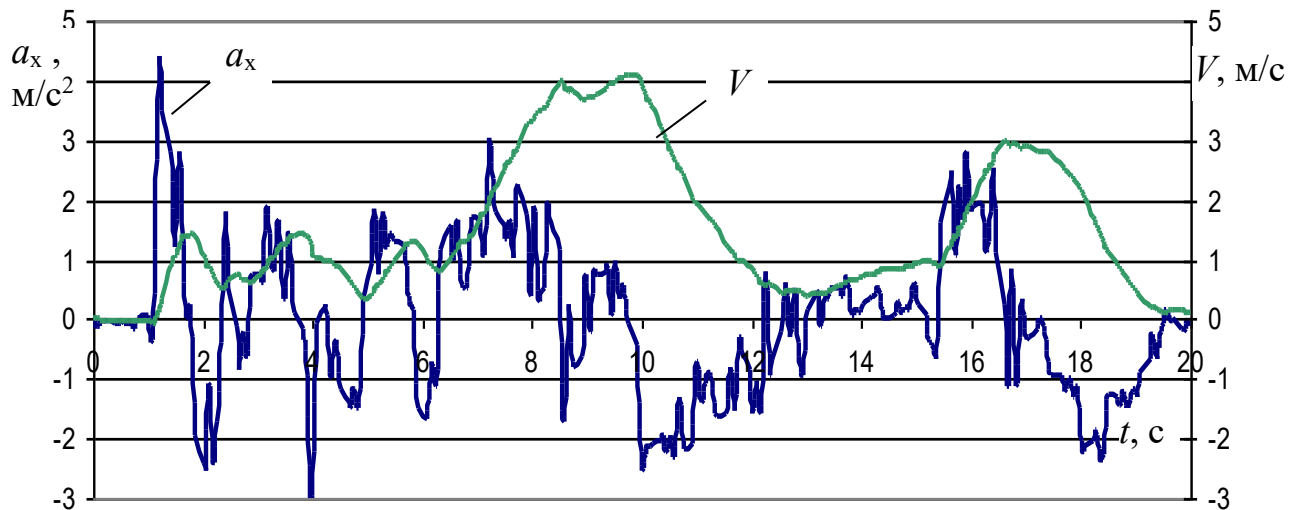
а



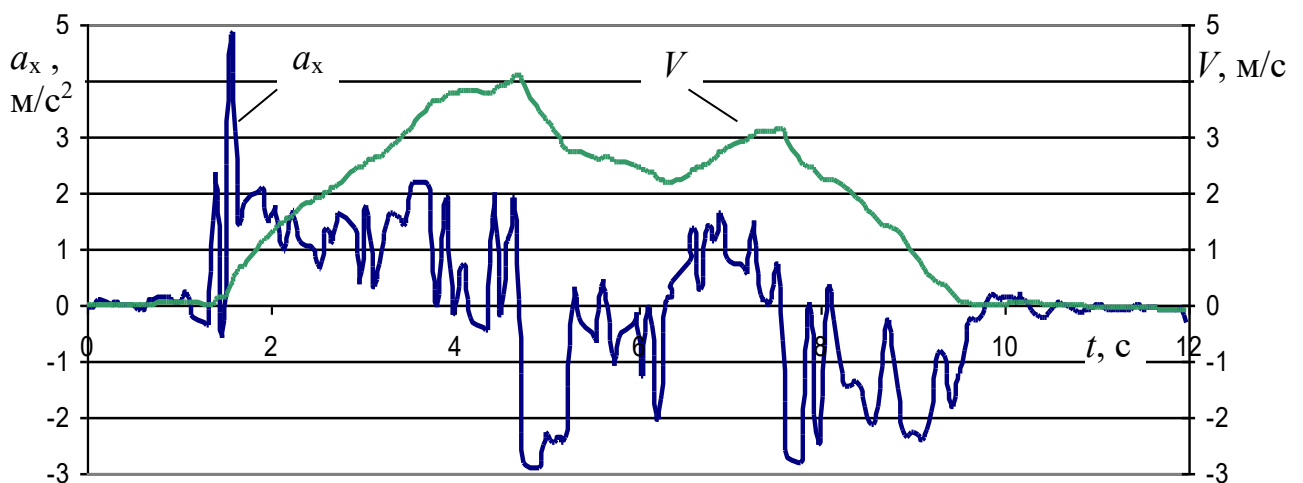
б

Рисунок 4.10 – Графік зміни у часі поздовжніх лінійних прискорень та поздовжньої лінійної швидкості безпілотного колісного візка, обладнаного сніговідвалом, загальною масою $m = 259$ кг в процесі прибирання снігу на горизонтальній ділянці дороги:

а – заїзд 1 (файл G12-26-18); б – заїзд 2 (файл G12-24-21)



а



б

Рисунок 4.11 – Графік зміни у часі поздовжніх лінійних прискорень та поздовжньої лінійної швидкості безпілотного колісного візка, обладнаного сніговідвалом, загальною масою $m = 300$ кг в процесі прибирання снігу на горизонтальній ділянці дороги:

а – заїзд 1 (файл G12-40-25); б – заїзд 2 (файл G12-45-26)

Результати дослідження для енергомодуля масою 177 кг наведено на рис. 4.8. Порівняно з попереднім випадком спостерігається збільшення максимальної швидкості до 3,0 м/с та незначне підвищення пікового

поздовжнього прискорення до $3,4 \text{ м/с}^2$. Це свідчить про покращення реалізації тягового зусилля через збільшення вертикального навантаження на ведучі колеса.

На рис. 4.9 представлені результати випробувань енергомодуля масою 218 кг. Для даного варіанта характерне подальше зростання максимальної швидкості до $5,0 \text{ м/с}$ при збереженні стабільних значень поздовжнього прискорення. Отримані результати свідчать про ефективне використання зчіпних властивостей коліс із дорожнім покриттям.

При дослідженні енергомодуля масою 259 кг (рис. 4.10) максимальні значення прискорення досягли $4,2 \text{ м/с}^2$, а швидкість руху становили до $4,0 \text{ м/с}$. При цьому процес розгону характеризується більш плавною зміною прискорення, що свідчить про підвищення стійкості руху та зменшення інтенсивності буксування.

На рис. 4.11 наведено графіки для енергомодуля максимальної досліджуваної маси 300 кг. Саме для цього варіанта отримано найбільші значення поздовжнього прискорення, які досягають $4,8 \text{ м/с}^2$. Максимальна швидкість руху становить близько $4,1 \text{ м/с}$. Отримані результати підтверджують, що збільшення маси в досліджуваному діапазоні позитивно впливає на реалізацію тягових можливостей електропривода за рахунок покращення зчеплення коліс із засніженим покриттям.

Максимальні швидкості $V_{\max}$ та максимальні поздовжні прискорення a_x енергомодуля, обладнаного сніговідвалом, що спостерігалися в процесі експериментального дослідження при здійсненні технологічної операції прибирання снігу з асфальтобетонного покриття зведено у таблицю 4.5.

Максимальні пікові значення поздовжнього прискорення a_x спостерігаються в початковий період розгону, причому зі збільшенням повної маси енергомодуля зі 136 кг до 300 кг, a_x послідовно збільшується з $3,0 \text{ м/с}^2$ до $4,8 \text{ м/с}^2$, що пояснюється зменшенням буксування ведучих коліс на засніженому дорожньому покритті при розгоні. Також при цьому спостерігалось зростання максимальної поздовжньої швидкості $V_{\max}$ з $2,0 \text{ м/с}$ до $4,1 \text{ м/с}$.

Таблиця 4.5 – Максимальні швидкості та максимальні поздовжні прискорення енергомодуля, обладнаного сніговідвалом, що спостерігалися в процесі експериментального дослідження

Маса енергомодуля m, кг	Номер файла заїзду	Максимальна швидкість під час заїзду $V_{\max}$, м/с	Максимальне поздовжнє прискорення a_x , м/с ²
136	заїзд 1 (G11-43-12)	2,0	3,0
	заїзд 2 (G12-01-28)	1,8	3,0
177	заїзд 1 (G12-09-50)	3,0	3,3
	заїзд 2 (G12-19-19)	3,0	3,4
218	заїзд 1 (G12-34-30)	4,9	3,5
	заїзд 2 (G11-53-14)	5,0	3,4
259	заїзд 1 (G12-26-18)	4,0	4,2
	заїзд 2 (G12-24-21)	3,2	4,1
300	заїзд 1 (G12-40-25)	4,1	4,4
	заїзд 2 (G12-45-26)	4,1	4,8

4.4 Висновки за розділом 4

1. Проведене експериментальне дослідження підтвердило можливість використання енергомодулів з електричним приводом ведучих коліс для здійснення технологічних операцій в межах аеродрому ДА при наземному (АТЗ) забезпеченні польотів ПС ДА.

2. Сумарна похибка вимірювань поздовжніх прискорень в процесі експериментальних досліджень енергомодуля, обладнаного сніговідвалом з урахуванням інструментальної та методичної похибок склала $\delta_{\text{сум}} = 5,83\%$, що відповідає вимогам до точності експериментальних досліджень динамічних процесів технічних систем та дозволяє вважати результати вимірювань достатньо достовірними для аналізу та узагальнення.

3. Збільшення маси енергомодуля з 136 кг до 300 кг дозволяє зменшити буксування ведучих коліс на засніженому дорожньому полотні та збільшити максимальне поздовжнє прискорення з $3,0 \text{ м/с}^2$ до $4,8 \text{ м/с}^2$, а максимальну поздовжню швидкість з $2,0 \text{ м/с}$ до $4,1 \text{ м/с}$.

Основні результати дослідження по даному розділу опубліковані в роботах [13, 14, 15].

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі теоретично обґрунтовано та розроблено новий методичний підход до організації наземного (АТЗ) забезпечення польотів ПС ДА на основі принципів модульності, електричного привода та інтелектуального управління логістичними потоками, що дозволило сформулювати шляхи вирішення науково-прикладного завдання розробки та дослідження високоефективного блочно-модульного машинного комплексу для наземного (АТЗ) забезпечення польотів ПС ДА. Це дозволило отримати нові наукові результати та зробити практичні рекомендації.

1. Здійснений системний аналіз процесів наземного (АТЗ) забезпечення польотів ПС ДА на аеродромах ДА дозволяє зробити висновок про вичерпаність експлуатаційного ресурсу традиційної детермінованої схеми обслуговування «одне повітряне судно – один ЗАТО ПС ДА (автомобіль)», яка в умовах воєнного стану провокує критичні технологічні розриви та зниження боєздатності авіаційних підрозділів. Виявлено, що жорстка прив'язка спеціального обладнання до індивідуальних шасі призводить до нераціональних простоїв техніки та дефіциту обслуговуючого персоналу, що свідчить про необхідність докорінної зміни логістичної парадигми на користь багатоланкових модульних машин. Обґрунтовано, що підвищення мобільності служб та підрозділів АТЗ польотів ПС ДА суб'єктів ДА можливе лише за умови інтеграції стохастичних чинників зовнішнього середовища та імовірнісного характеру технічних відмов у єдину систему оперативного планування на основі методів лінійного програмування та імітаційного моделювання.

2. Результати теоретичних досліджень та імітаційного моделювання підтверджують, що перехід до використання модульних конструкцій забезпечує комплексний системний ефект, який полягає у радикальній оптимізації часових, фінансових та людських ресурсів служб та підрозділів АТЗ польотів ПС ДА суб'єктів ДА. Встановлено, що попри низьку математичну чутливість прямих витрат до кількості модулів у блоці, саме цей параметр виступає ключовим

технологічним детермінантом вивільнення 75 % людського капіталу (скорочення потреби у водіях з 21 до 5 осіб), що є стратегічно пріоритетним завданням для забезпечення живучості підрозділів у сучасних умовах. Доведено, що отриманий прямий економічний ефект у розмірі 2048,15 грн за цикл заправки ескадрильї та вивільнення 3,97 години операційного часу на добу свідчать про перетворення запропонованої методики на дієвий інструмент стратегічного планування, який гарантує якісно новий рівень мобільності авіації через скорочення загального пробігу рухомого складу на 106,48 км.

3. Використання енергетичних модулів з електричним приводом ведучих коліс для ЗНЗП ПС ДА є перспективним напрямом, що дозволяє підвищити енергоефективність парку ЗНЗП ПС ДА. Це дозволяє зменшити додаткові (непродуктивні) витрати енергії. При зміні ДВЗ на електричні двигуни витрати енергії на рух ЗНЗП ПС ДА зменшується на 23-37% (в залежності від кількості циліндрів ДВЗ).

4. Використання енергетичних модулів з електричним приводом ведучих коліс дозволяє значно спростити використання цих ЗНЗП ПС ДА в режимі безпілотного та автоматичного управління. Це дозволить також у майбутньому синтезувати алгоритми ідеального керування поворотом модульних енергетичних агрегатів для наземного (АТЗ) забезпечення польотів ПС ДА.

5. Запропоновано дві раціональні, з позиції високої маневреності ЗНЗП ПС ДА, схеми дволанкових енерготехнологічних агрегатів:

- перша схема представляє собою двовісний енергетичний модуль та двовісний причіп (технологічний модуль);
- друга схема – тривісний енергетичний модуль з переднім поворотним мостом та задньою двовісною поворотною платформою з технологічним модулем – напівпричіпом з двовісною поворотною платформою.

6. Проведене експериментальне дослідження підтвердило можливість використання енергетичних модулів з електричним приводом ведучих коліс для ЗНЗП ПС ДА. Збільшення маси енергомодуля, обладнаного сніговідвалом, з 136 кг до 300 кг дозволяє зменшити буксування ведучих коліс на засніженому

дорожньому полотні в процесі чищення снігу та збільшити максимальне поздовжнє прискорення з $3,0 \text{ м/с}^2$ до $4,8 \text{ м/с}^2$, а максимальну поздовжню швидкість з $2,0 \text{ м/с}$ до $4,1 \text{ м/с}$.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Kalinichenko O., Pavlenko O., Nagorny Y., Sevidova V., Soldatenko I. Determination of Conditions to Provide Transport Logistics Support Service to Aircraft at Aerodromes in Ukraine / Arsenyeva O., Romanova T., Sukhonos M., Biletskyi I., Tsegelnyk Y. (eds) Smart Technologies in Urban Engineering. STUE 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 807. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-46874-2_34.
2. Калініченко О., Павленко О., Солдатенко І. Оперативне планування процесу транспортного обслуговування бойових літаків на летовищах України. Комунальне господарство міст // *Транспортні технології (за видами)*. 2022. № 4(171). С. 173–178. DOI: 10.33042/2522-1809-2022-4-171-173-178.
3. Нагорний Є., Калініченко О., Павленко О., Солдатенко І. Методика побудови транспортно–технологічних схем доставки засобів забезпечення для обслуговування бойових літаків на летовищах України // *Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура*. 2022. № 6(173). С. 183–188. DOI: 10.33042/2522-1809-2022-6-173-183-188.
4. Солдатенко І. О. Напрями удосконалення засобів моніторингу технічного стану силових кабельних ліній систем електропостачання військових аеродромів / Лагутін Г. І., Хабоша С. М., Перепелиця В. О., Кулинич І. І., Солдатенко І. О. // *Системи озброєння і військова техніка*. 2021. № 2(66). С. 66–72. DOI: 10.30748/soivt.2021.66.09.
5. Новічонок С. М. Методика скорочення часових витрат на засвоєння вимог нормативно-правових актів / Новічонок С. М., Усачова О. А., Бабіч О. В., Савченко О. О., Солдатенко І. О., Беляєв П. В. // *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. 2021. 3(69) . С. 144–153. DOI: 10.30748/zhups.2021.69.19.
6. Новічонок С. М. Встановлення відповідності основних термінів в галузі наземного забезпечення польотів авіаційної техніки країн-партнерів термінам аеродромно-технічного забезпечення польотів державної авіації

України / Новічонок С. М., Усачова О. А., Солдатенко І. О., Кашаєв І. О., Терентьєва І. В. // *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2022. № 2 (47). С. 31–40. DOI:10.30748/nitps.2022.47.03.

7. Подригало М. А., Абрамов Д. В., Солдатенко І. О., Вітрук І. С. Підвищення енергоефективності модульних засобів наземного забезпечення польотів авіації використанням електроприводу ведучих коліс // *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2024. № 5(58). С. 45–52. DOI: 10.30748/soivt.2025.82.04.

8. Подригало М. А., Абрамов Д. В., Солдатенко І. О., Вітрук І. С. Підвищення маневреності модульної техніки наземного забезпечення польотів авіації // *Системи озброєння і військова техніка*. 2025. Вип. 3 (83). С. 7–14. DOI:10.30748/zhups.2025.85.01.

9. Пат. 157448 Україна, МПК В62D 21/02 (2006.01) В62D 21/14 (2006.01). Поздовжньо-розсувна несуча система автотранспортного засобу / Абрамов Дмитрій Володимирович, Калініченко Олександр Петрович, Нагорний Євген Васильович, Подригало Михайло Абович, Рогозін Ігор Віталійович, Солдатенко Ігор Олегович; власник Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. – № u 2024 01677 ; заявл. 03.04.2024 ; опубл. 16.10.2024, Бюл. № 42. 4 с.

10. Солдатенко І. О., Подригало М. А., Кайдалов Р. О., Абрамов Д. В. Підвищення енергоефективності наземної техніки забезпечення бойових дій авіації шляхом використання комбінованого електромеханічного приводу ведучих коліс // XIX міжнародна наукова конференція Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба “Новітні технології – для захисту повітряного простору”: тези доп., 12–13 квітня 2023 р. Харків: ХНУПС ім. І. Кожедуба, 2023. С. 390.

11. Солдатенко І. О., Подригало М. А., Абрамов Д. В. Аналіз можливості переведення машин наземного обслуговування літаків на електричний або гібридний привід // 79 наукова конференція Національного транспортного університету. Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених

структурних підрозділів університету: зб. тез доп., 17–19 травня 2023 р. К.: НТУ, 2023. Вип. 79. 760 с.

12. Солдатенко І. О., Абрамов Д. В. Визначення факторів, які впливатимуть на вибір типу силової установки машин наземного забезпечення літаків // Збірник матеріалів II всеукраїнського науково-практичного онлайн-семінару «Підвищення якості продукції машинобудівних та ремонтних підприємств», 25 травня 2023 р., Харків: ХНАДУ. С. 45–48.

13. Солдатенко І. О., Абрамов Д. В., Анацький М. О. Динамічні випробування безпілотного колісного візка, обладнаного сніговідвалом // Підвищення якості продукції машинобудівних та ремонтних підприємств: зб. матеріалів III-го Всеукр. наук.-практ. онлайн-семінару, 29 трав. 2024 р., Харків: ХНАДУ. С. 88–89.

14. Солдатенко І. О., Абрамов Д. В., Хижняк К. С. Методика проведення експериментального дослідження динамічних характеристик безпілотного колісного візка, обладнаного сніговідвалом // Підвищення якості продукції машинобудівних та ремонтних підприємств: зб. матеріалів IV-го Всеукр. наук.-практ. онлайн-семінару, 29 трав. 2025 р., Харків: ХНАДУ. С. 14–17.

15. Солдатенко І. О., Абрамов Д. В., Охріменко Е. І., Карабут Б. Р. Експериментальне дослідження впливу тиску в шинах на динамічні властивості легкового автомобіля // Підвищення якості продукції машинобудівних та ремонтних підприємств : зб. матеріалів Всеукр. наук.-практ. онлайн-семінару, 24 трав. 2022 р., Харків: ХНАДУ. С. 36–41.

16. The impact of the war in Ukraine on the aviation industry. URL:<https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/the-impact-of-the-conflict-between-russia-and-ukraine-on-aviation/>.

17. Wang Z., Zhang H., Wang P., et al. The Impact of Russia-Ukraine Conflict on Global Civil Aviation Network. SSRN, 2024. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5034709>.

18. Калініченко О., Боліхов П. Визначення оптимальної кількості транспортних засобів для обслуговування повітряних суден. InterConf, 2022. (100). URL:<https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/interconf/article/view/18720>.
19. Нагорний Є. В., Калініченко О. П., Павленко О. В. «Модель функціонування систем наземного транспортного обслуговування бойових літаків» // Комунальне господарство міст. 2021. 6 (166). С. 211–216. URL:<https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/5892>.
20. Про затвердження Правил інженерно-авіаційного забезпечення державної авіації України. Міністерство Оборони України. Наказ № 343 від 05.07.2016. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1101-16#n11>.
21. Про затвердження Нормативів утримання засобів наземного забезпечення польотів повітряних суден та персоналу з їх експлуатації на аеродромах державної авіації України. Наказ № 341 від 26.06.2017. URL:<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0864-17#Text>.
22. Стохастичний процес. URL: <https://uk.economy-pedia.com/11036154-stochastic-process>. (дата звернення 01.10.2022).
23. Скрипець А. В. Теоретичні основи експлуатації авіаційного обладнання: навчальний посібник. Київ: НАУ, 2003. – 43 с. URL: <https://core.ac.uk/download/286626902.pdf>.
24. Організація автотехнічного забезпечення військ : посібник / О. І. Ландарь, О. Я. Терещенко, О. Ф. Дорошенко та ін. – К. : Видавництво НАОУ, 2004. 224 с.
25. Андрущук О. С. Логістичні моделі автотехнічного забезпечення військових частин / О. С. Андрущук, В. М. Меленчук // Системи озброєння і військова техніка. 2014. № 3 (39). С. 3–7.
26. Пасічник А. М. та ін. Транспортно-технологічні схеми перевезень вантажів військового призначення // Системи та технології. 2016. №. 1. С. 82–92.
27. Ryan JC, Banerjee AG, Cummings ML, et al. Comparing the performance of expert user heuristics and an integer linear program in aircraft carrier

deck operations // IEEE Trans Cybern. 2014. 44(6). 761–73.
URL:<https://doi.org/10.1109/TCYB.2013.2271694>.

28. Cui RW, Han W, Su XC, et al. A multi-objective hyper heuristic framework for integrated optimization of carrier-based aircraft flight deck operations scheduling and resource configuration. *Aerosp Sci Technol* 2020;107:106346. URL:<https://doi.org/10.1016/j.803ast.2020.106346>.

29. Cui RW, Han W, Su XC, et al. A dual population multi-operator genetic algorithm for flight deck operations scheduling problem. *J806 Syst Eng Electron* 2021;32(2):331–46. URL: <https://doi.org/10.23919/JSEE.2021.000028>.

30. Su XC, Han W, Wu Y, et al. A proactive robust scheduling method for aircraft carrier flight deck operations with stochastic durations. *Complexity* 2018;2018:6932985. URL:<https://doi.org/10.1155/2018/6932985>.

31. Su XC, Han W, Wu Y, et al. A robust scheduling optimization method for flight deck operations of aircraft carrier with ternary interval durations. *IEEE Access* 2018;6:69918–36. URL:<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2879503>.

32. Su XC, Han W, Zhang Y, et al. Scheduling algorithm for maintenance and service support of carrier-based aircraft on flight deck with different man-aircraft matching patterns. *Acta Aeronaut Astronaut Sin* 2018;39(12):221–39.

33. Liu J, Han W, Li J, et al. Integration design of sortie scheduling for carrier aircrafts based on hybrid flexible flowshop. *IEEE Syst J* 2020;14(1):1503–11. DOI: 10.1109/JSYST.2019.2922261.

34. Yuan PL, Han W, Su XC, et al. A dynamic scheduling method for carrier aircraft support operation under uncertain conditions based on rolling horizon strategy. *Appl Sci* 2018;8(9):1546. <https://doi.org/10.3390/app8091546>.

35. Cui RW, Han W, Su XC, et al. Integrated optimization of carrier-based aircraft flight deck operations scheduling and resource configuration for pre-flight preparation stage. *Syst. Eng. Electron* 2021; 43(7).

36. Wu Y, Wang YY, Qu XJ, et al. Exploring mission planning method for a team of carrier aircraft launching. *Chin J Aeronaut* 2019;32(5):1256–67. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2018.08.012>.

37. Liu J, Han W, Peng HJ, et al. Trajectory planning and tracking control for towed carrier aircraft system. *Aerosp Sci Technol* 8522019;84:830–8. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2018.11.027>.
38. Wu Y, Qu XJ. Obstacle avoidance and path planning for carrier aircraft launching. *Chin J Aeronaut* 2015;28(3):695–703. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2015.03.001>.
39. Моделювання. URL: http://aschegol.blogspot.com/2017/02/blog-post_95.html. (дата звернення 10.10.2022).
40. S. Aronov, L. Berner Yu. Zeldin, V. Kotov, A. Roshchin, D. Schukin Aircraft refueling control system for fuel metering automation. *Інформаційні технології в науці, освіті та управлінні*. 2019. №2. С. 8–13.
41. Одарченко А. Н., Соколова Е. Б. Модернізація складських приміщень підприємства на базі WMS. *Економіка та управління підприємствами*. 2015. № 4. С. 210–215.
42. Северин О. О. Вантажні роботи на автомобільному транспорті: організація і технологія : підручник. Харків : ХНАДУ, 2007. 384 с.
43. Тиранський І. П., Гірна О. Б., Довба М. О. Складське підприємство у сучасних умовах // *Вісник НУ «Львівська політехніка»*. 2009. № 446. С. 95–96.
44. Бортніченко С. Д., Лисенко Д. Е. Оптимізація управління збутовими запасами // *Економіка та управління підприємствами машинобудівної галузі*. 2013. № 3. С. 62–70.
45. Чугунов І. І. Технологія проектування системи ефективного управління багатономенклатурними запасами // *Logistics*. 2008. № 7–8. С. 26–33.
46. Хоменко Л. М. Використання оборотних засобів із застосуванням динамічної моделі управління запасами // *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. Економічні науки*. 2014. № 1. С. 167–172.

47. Бондарчук Н. В. Моделі управління запасами на підприємствах // *Агросвіт*. 2012. № 1. С. 24–28.
48. Білоскурська О. В., Вінничук О. Ю., Білоскурський Р. Р. Динамічна модель управління запасами із заданою функцією витрат // *Вісник Чернівецького торговельно-економічного інституту. Економічні науки*. 2014. №. 2. С. 262–269.
49. Шпачук В. П., Давідіч Ю. О. Щодо формування принципів управління товарними запасами елементів логістичної системи // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2012. № 2 (3). С. 24–25.
50. Бесараб Д. А. Моделі управління запасами підприємства в системі вартісно-орієнтованого управління // *Економіка і регіон*. 2014. № 3. С. 89–93.
51. Wang L., Li J. A robust weighted goal programming approach for supplier selection problem with inventory management and vehicle allocation in uncertain environment // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019. Vol. 1002. P. 295–309.
52. Zapata-Cortes J. A., Arango-Serna M. D. Serna-Urán C. A. Adarme-Jaimes W. Mathematical model for product allocation in warehouses // *Intelligent Systems Reference Library*. 2020. Vol. 166. P. 191–207.
53. Олініченко К.С. Управління товарними запасами підприємств роздрібної торгівлі : монографія. Харків : Вид-во Іванченка І. С., 2017. 211 с.
54. Bucki R. Suchánek P. Information Modelling of the Storage-Distribution System // *Smart Innovation, Systems and Technologies*. 2020. Vol. 148. P. 367–376
55. Кулик А. Б., Манжос Т. В. Модель управління запасами вертикально інтегрованої структури на прикладі сільськогосподарського підприємства // *Проблеми економіки*. 2016. № 1. С. 190–195.
56. Réveillac J.-M. Optimization Tools for Logistics. ISTE Press-Elsevier. 2015. P. 466

57. Faulin J., Grasman S., Juan A., Hirsch P. Sustainable Transportation and Smart Logistics. Elsevier. 2018. P. 534
58. Pagano A., Liotine M. Technology in Supply Chain Management and Logistics. Elsevier. 2019. P. 220
59. «Нова Пошта» побудує сортувальний термінал. веб-сайт. URL: https://cfts.org.ua/news/2021/10/13/nova_poshta_postroit_sortirovochnyy_tertermi_v_ozle_aeroporta_borispol_67199. (дата звернення 15.09.2022).
60. Аеропорт Харкова. Вантажі. веб-сайт. URL: <https://hrk.aero/ru/gruzy-2/>. (дата звернення 15.09.2022).
61. Серватюк В. М. Перспективні напрямки реформування системи тилового забезпечення Збройних Сил України // *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*, № 2(11). Х. ХУПС. 2013. С. 14–18.
62. Андрущук О. С., Березенський Р. В. Методологічні підходи впровадження інформаційних технологій на автомобільному транспорті військових формувань та правоохоронних органів // *Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Сер.: Військові та технічні науки*. (1). 2015. С. 147–158.
63. Козаченко Д. М., Вернигора Р. В., Малашкін В. В. Основи дослідження операцій у транспортних системах: приклади та задачі. Навчальний посібник для ВНЗ / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпропетровськ. 2015. 277 с.
64. Репіло Ю., Російцев В., Іщенко О. Аналіз базових принципів, концепцій та понять доктринального забезпечення збройних сил провідних країн світу // *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. 2022. Т. 43, № 1. С. 79–90.
65. Davoodi S. M., Abdul Rahman N. A. Solving fully fuzzy linear programming problems by controlling the variation range of variables. Bulletin of the Karaganda University // *Mathematics Series*. 2021. No 3(103). P. 13–24.

66. OSQP: an operator splitting solver for quadratic programs / B. Stellato et al. // *Mathematical Programming Computation*. 2020. Vol. 12, no. 4. P. 637–672. URL: <https://doi.org/10.1007/s12532-020-00179-2>.
67. Huangfu Q., Hall J. A. J. Parallelizing the dual revised simplex method // *Mathematical Programming Computation*. 2017. Vol. 10, no. 1. P. 119–142. URL: <https://doi.org/10.1007/s12532-017-0130-5>.
68. Rafi F. S., Islam S. A Comparative Study of Solving Methods of Transportation Problem in Linear Programming Problem // *Journal of Advances in Mathematics and Computer Science*. 2020. P. 45–67. URL: <https://doi.org/10.9734/jamcs/2020/v35i530281>.
69. Дроль О. Ю.; Гузченко С. В.; Телюков С. М. Методика визначення оптимальної кількості та виду озброєння мобільних тактичних груп для забезпечення дій по стримуванню противника // *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. 2020. 2 (64). С. 26–32.
70. Савченко Л. А. Логістична модель транспортного обслуговування споживачів // *Автомобільний транспорт та інфраструктура: III Міжнар. наук.–практ. конф., Київ, Україна, 23–26 квіт. 2020 р.: тези конф. Київ. 2020. С. 234–236.*
71. Habibi, Nur Alim; Ridwan, Ari Yanuar; Setyawan, Erlangga Bayu. Determination of minimum trucks and routes used in the case of municipal solid waste transportation in Bandung City with greedy algoritm. In: *IOP. Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 2020. P. 37–45.
72. Hartanto, D.; Wahyuningtyas, R. Determination of route for estimating number of truck needed in periodic distribution: A case study. In: *IOP. Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 2021. p. 74–89.
73. Кириченко І. Г. Принципи ефективного формування модульних будівельних і дорожніх машин: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: спец. 05.05.04 «Машини для земляних, дорожніх і лісотехнічних робіт» / І. Г. Кириченко. Харків, 2012. 36 с.

74. Кириченко В. В. Формування гальмівних та динамічних властивостей модульної техніки для аеродромно-технічного забезпечення польотів авіації // *Системи озброєння і військова техніка*. Науковий журнал. – Харків: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2007, №3(11), с. 69-73.

75. Кириченко В. В., Подригало М. А., Куренко О. Б., Клец Д. М. Експериментальне визначення динамічних властивостей перспективних засобів рухомості засобів наземного забезпечення дій авіації на базі колісних технологічних та енергетичних модулів та порівняння їх з динамічними властивостями засобів рухомості засобів наземного забезпечення дій авіації, що є на озброєнні Повітряних Сил Збройних Сил України в умовах військового аеродрому // *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил*. 2012. Вип. 2 (31). С. 34–38.

76. Кириченко В. В. Оцінка можливості руху енерготехнологічних агрегатів блочно-модульної структури для наземного забезпечення польотів авіації на основі тракторного потягу при тільки передніх ведучих колесах / В. В. Кириченко // *Системи озброєння і військова техніка*. 2012. №2 (30). С. 59–62.

77. Мазін О. С. Підвищення функціональної стабільності показників маневреності автомобілів зниженням непродуктивних витрат енергії: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / Мазін Олексій Сергійович. Харків, 2018. 145 с.

78. Кайдалов Р. О. Наукові основи створення автомобілів з комбінованою енергетичною установкою: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.02 / Кайдалов Руслан Олегович. – Харків, 2018. 394 с.

79. Podrigalo. M. Creation of the energy approach for estimating automobile dynamics and fuel efficiency / M. Podrigalo, D. Klets, N. Podrigalo, D. Abramov, Yu. Tarasov, R. Kaidalov, V. Hatsko, A. Mazin, A. Litvinov, M. Barun // *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2017. №5/7 (89). P. 58–64.

80. Podrigalo M. Synthesis of energyefficient acceleration control law of automobile / M. Podrigalo, R. Kaidalov, D. Klets, N. Podrigalo, A. Makovetskyi, V.

Hatsko, D. Abramov, Yu. Tarasov, D. Lytovchenko, A. Litvinov // *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2018. №1/7 (91). P. 62–70.

81. Podrigalo M. Determination of the work done by the engine in the course of automobile movement / M. Podrigalo, D. Abramov, A. Molodan // Сборник доклади XXII Науково-технічної конференції з міжнародною участю «Транспорт, екологія – устойчиво развитие», 19-21 травня 2016 року. Варна: ТУ-Варна, 2016. С. 124–130.

82. Подригало М.А., Кайдалов Р.О., Омельченко В.І. Аналіз впливу розподілу крутних моментів між осями на енергетичну ефективність двовісного автомобіля // Сучасні технології в автомобілебудуванні, транспорті та при підготовці фахівців : наук. пр. Міжнар. наук.-практ. конф. та наук.-метод. конф. до Дня автомобіліста та дорожника, 19–21 жовт. 2022 р. Харків: ХНАДУ, 2022. С. 96–97.

83. Podrigalo M., Kaidalov R., Omelchenko V. Optimization of the mathematical model of efficiency coefficient of automobile wheel drive // «Актуальні питання забезпечення службово-бойової діяльності військових формувань та правоохоронних органів»: зб. тез доп. XI міжнар. наук.-практ. конф., 28 жовт. 2022р. Харків: НАНГУ, 2022. С. 241–242.

84. Подригало М. А., Кайдалов Р. О., Омельченко В. І. Рациональний вибір розподілу крутних моментів між передніми та задніми електромоторами приводу коліс автомобіля // «Інноваційні аспекти розвитку автомобільного транспорту України»: міжнар. наук.-практ. конф. присвяч. 30-ти річчю каф. автомобілі та автомоб. госп-во, 16–18 трав. 2023 р. / Дніпро: Дніпров. держ. техн. ун-т, 2023. С. 28–30.

85. Подригало М. А. Кайдалов Р. О. Сергієнко О., Омельченко В. І. Рациональний вибір співвідношення потужностей двигунів автомобіля-тягача та активної пичіпної ланки // «Актуальні питання забезпечення службово- бойової діяльності військових формувань та правоохоронних органів» : зб. тез доп. XII міжнар. наук.-практ. конф., 27 жовт. 2023 р. / Харків: Нац. акад. Нац. гвардії України, 2023. С. 260–262.

86. Подригало М. А., Кайдалов Р. О., Омельченко В. І. Аналіз впливу розподілу крутних моментів між осями на енергетичну ефективність двовісного автомобіля / *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2022. №2(19). С. 174–181. DOI: 10.36910/automash.v2i19.916 URL: <https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/iurnal-mbf/article/view/916/870>.

87. Омельченко В. І. Оцінка коефіцієнта корисної дії колісного рушія автомобіля // Міжнародний науковий журнал «Грааль науки»: за матеріалами III-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Globalization of scientific knowledge: international cooperation and integration of sciences», 6 черв. 2022р. Відень: Австрія, 2022. С. 237–238.

88. Podrihalo M., Kaidalov R., Omelchenko V. Rational choice of torques distribution between the front and back electric motors of automobile wheels drive. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1277, United Kingdom, 29 September – 1 October, 2023, Vol. 1277. 2023. P. 1-8. DOI: 10.1088/1757-899X/1277/1/012023. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1277/1/012023/pdf>.

89. Podryhalo M. Rational Choice of Engines of Tractor Vehicle and Active Trailer Link / M. Podryhalo, R. Kaidalov, I. Gritsuk, V. Omelchenko // Transbaltica XIV: Transportation Science and Technology. Proceeding of the 14-th International Conference TRANSBALTICA, Lithuania, 14-15 September, 2023. P. 143–148.

90. Подригало М. А., Кайдалов Р. О., Альокса М. М., Омельченко В. І. Аналіз показників енергетичної ефективності багатовісних автомобілів та багатоланкових автопоїздів // *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія Автомобіле- та тракторобудування. 2023. №1. С. 40–46. DOI: 10.20998/2078-6840.2023.1.04 URL: <https://doi.org/10.20998/2078-6840.2023.1.04>.

91. Подригало М. А., Артьомов М. П., Третяк В. М., Краснокутський В. М., Омельченко В. І. Коефіцієнт корисної дії колісного рушія трактора за руху по ґрунту // *Механіка та автоматика агропромислового виробництва*, 2023. №1 (115). С.143–150. DOI: <https://doi.org/10.37204/2786-7765-2023-1-15>. URL: <https://iournal.imaap.org.ua/info/attach.php?id=644>.

92. Подригало М. А., Кайдалов Р. О., Омельченко В. І. Оцінка коефіцієнта корисної дії колісного рушія автомобіля // *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*, 2022. № 21. С.31–39. DOI:10.30977/АТ.2019-8342.2022.21.08. URL: <http://veit.khadi.kharkov.ua/article/view/258933/256645>.
93. Подригало М. А., Кайдалов Р. О., Альокса М. М., Омельченко В. І. Аналіз показників енергетичної ефективності багатовісних автомобілів та багатоланкових автопоїздів // «Перспективи розвитку машинобудування та транспорту»: III Міжнародна науково-технічна конференція, 1-3 червня 2023р. / Вінниця: Вінниц. нац. техн. ун-т, 2023. С. 120–125.
94. Тарасов Ю. В. Наукові основи забезпечення технічного рівня автотранспортних засобів при проектуванні та модернізації: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.02 / Тарасов Юрій Володимирович. – Харків, 2021. 386 с.
95. Тарасов Ю. В. Застосування методу парціальних прискорень для визначення енергонавантаження автомобіля, що гальмує / М. А. Подригало, Ю. В. Тарасов, В. С. Шеїн // *Вісник Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя*. 2012. № 1. С. 59-64.
96. Yu. Tarasov. Synthesis of energy-efficient acceleration control law of automobile/ М. Podrigalo, R. Kaidalov, D. Klets, N. Podrigalo, A. Makovetskyi, V. Hatsko, D. Abramov, Yu. Tarasov, D. Lytovchenko, O. Lytvynov / *Eastem- european gournal of enterprise techologies*. -Kh.: Eastem-european gournal of enterprise techologies. 2018. 1/7(91). P. 62–70.
97. Yu. Tarasov. Improvement of the method for assessing the energy load of vehicle/ М. Podrigalo, D. Abramov, Yu. Tarasov, M. Kholodov // *Proceedings of International Scientific Conference «Current Problems of Transport 2019»*-T.: Current Problems of Transport 2019, 2019. 1/7(91). P. 63–70.
98. Абрамов Д. В. Концепція покращення функціональної стабільності динамічних та енергоперетворюючих властивостей автомобілів: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.02 / Абрамов Дмитрій Володимирович. – Харків, 2018. 480 с.

99. Динамічні властивості і стабільність функціонування автотранспортних засобів / Д. В. Абрамов, Н. М. Подригало, М. А. Подригало, О. С. Полянський, Ф. Л. Файст. Харків: ХНАДУ, 2014. 204 с.

100. Абрамов Д. В. Покращення тактико-технічних властивостей засобів транспорту при русі в колоні: монографія / Д. В. Абрамов, М. А. Подригало, О. С. Полянський та ін. Харків: НАНГУ, 2016. 281 с.

101. Обґрунтування вимог до тактико-технічних та експлуатаційних характеристик автомобілів та бойових машин Національної гвардії України: монографія / М. А. Подригало, С. А. Соколовський, Р. О. Кайдалов, Д. В. Абрамов та ін. ; за ред. М. А. Подригало, О. С. Полянського. Харків: НАНГУ, 2017. 348 с.

102. Абрамов Д. В. Визначення доцільності проведення позапланового технічного обслуговування автомобілів за критерієм витрат на паливо в експлуатації / Д. В. Абрамов, В. О. Тесля // *Вісник Національного транспортного університету*. 2012. Вип. 25. С. 286–290.

103. Yatsenko K. Increase of functional stability of control and sustainability against skid of double-section multiaxial automobiles / M. Podrigalo, A. Kurenko, I. Rogozin, D. Abramov // Сборник доклади XXIII Науково-технічної конференції з міжнародною участю «Транспорт, екологія - устойчиво развитие», 15-17 червня 2017 р. Варна: ТУ-Варна, 2017. С. 363–367.

104. Омельченко В. І. Поліпшення енергоефективності транспортних засобів шляхом підвищення коефіцієнта корисної дії колісного рушія: дис. ... канд. техн. наук: Спец. 274 «Автомобільний транспорт» / Омельченко Василь Іванович – Х., 2024. – 117 с.

105. Кайдалов Р. О. Дослідження можливості зниження енергетичних витрат автомобіля при використанні гібридного електромеханічного приводу ведучих коліс // *Системи обробки інформації*. Харків: ХНУПС, 2016. Вип. № 9. С. 13–17.

106. Кайдалов Р. О. Оцінка впливу нерівномірності крутного моменту ДВЗ на додаткові втрати енергії при використанні гібридного

електромеханічного приводу ведучих коліс // *Механіка та машинобудування*. Харків: НТУ «ХПІ», 2016. Вип. 1. С. 50–58.

107. Динаміка машин з пружними ланками. На прикладі автомобілів і тракторів : монографія [текст] / за ред. М. А. Подригало, О. С. Полянського. Харків: Вид-во «Естейт Прінт», 2024. 272 с.

108. Кириченко В. В., Кав'юк В. В., Васильєв Б. Г. Рішення проблемних задач перспектив розвитку засобів аеродромно–технічного обслуговування повітряних суден // *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2017. № 2(27). С. 42–48.

109. Новічонок С. М., Бабіч О. В., Терентьєва І. В. Проблеми стандартизації аеродромно–технічного забезпечення державної авіації України та шляхи їх вирішення в умовах взаємодії з НАТО та міжнародної інтеграції // *Системи озброєння і військова техніка*. 2020. № 2(62). С. 24–34.

110. Пат. 153925 на корисну модель України МПК F02D41/32 (2006.01), F02M 63/02 (2006.01) Малогабаритний транспортний засіб з переднім поворотним мостом, підвішений балансірно / Абрамов Д. В., Байцур М. В., Богомолів В. О. та ін. u20230045, заявл. 05.01.2023, опубл. 20.09.2023, Бюл. № 38.

111. Бобошко А. О. Наукові основи підвищення показників маневреності автомобілів: дис. ... доктора технічних наук: 05.22.02 / Бобошко Олександр Андрійович. Харків, 2019. 332 с.

112. Клец Д. М. Концепція забезпечення стабільності показників стійкості та керованості автомобілів: дис. ... доктора технічних наук: 05.22.20 / Клец Дмитро Михайлович. Харків, 2015. 528 с.

113. Закапко О. І. Поліпшення агрегатованості і маневреності тракторних самохідних шасі використанням переднього поворотного мосту: дис. ... Ph.D., спец. 274 – «Автомобільний транспорт». Харків: ХНАДУ, 2023. 170 с.

114. Пат.146322 Україна МПК A01B 51/02 (2006.01). Самохідне шасі з навісною системою на передньому поворотному мосту / Аврунін Г. А.,

Байцур М. В., Біша В. М. та ін.; заявник Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. № 2020 06010; заявл. 21.09.2020; опубл. 10.02.2021, Бюл. № 6/2021.

115. Гармаш В. П. Поліпшення маневреності колісних машин шляхом використання роздільного приводу коліс поворотного мосту: дис. ... Ph.D., спец. 274 – «Автомобільний транспорт». Харків: ХНАДУ, 2023. 146 с.

116. Подригало М. А., Полянський О. С., Дубінін Є. О. та ін. Підвищення керованості задньопривідного автомобіля з мотор-колесами // LIV Всеукраїнська науково-технічна конференція факультету машинобудування та транспорту, Кропивницький, квітень 2025. 3 с. URL: <https://kbwww.b.conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2025/paper/view/23561/19477>.

117. Пат. 151941 Україна, МПК В60W 10/20 (2006.01). Спосіб управління рухом чотиривісного транспортного засобу / Байцур М. В., Баулін Д. С., Богомолів В. О. та ін. Власники: Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т, Нац. акад. нац. гвардії України. № 2021 07634; заявл. 28.12.2021 ; опубл. 05.10.2022, Бюл. № 40. – 8 с.

118. Подригало М. А., Гармаш В. П., Горєлишев С. А. та ін. Поліпшення маневреності колісного транспортного засобу шляхом вдосконалення способу управління поворотом // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Машинознавство та САПР. Харків: НТУ «ХПІ». 2023. №1 С. 68–76. DOI: 10.20998/2079-0775.2023.1.07.

119. Лебедев А. Т. Трактори та автомобілі. Ч.3. Шасі: навч. посібник / А. Т. Лебедев, В. М. Антощенков, М. Ф. Бойко та ін.; за ред. проф. А. Т. Лебедева. К.: Вища освіта, 2004. 336 с.

120. Yeti Move keeps the runways clear of snow with AI and machine learning <https://businessnorway.com/solutions/yeti-move-keeps-the-runways-clear-of-snow-with-ai-and-machine-learning> Published 20 Mar 2023 (updated 29 Apr 2024).

121. Пат. 51031 Україна, МПК G 01 P 3/00. G 01 P 15/00. Система для визначення параметрів руху автотранспортних засобів при динамічних

(кваліметричних) випробуваннях: № 201001136 : заявл. 04.02.10 ; опубл. 25.06.10, Бюл. № 12.

122. Коробко А. Підвищення точності вимірювання параметрів руху автомобіля у процесі динамічних випробувань / М. Подригало, А. Коробко, Д. Клец, О. Назарько, В. Гацько // Метрологія та прилади. Науково-виробничий журнал. 2010. № 3. С. 49–52.

123. Freescale Semiconductor. Micromachined Accelerometer. Technical Data. Freescale Semiconductor, Inc., 2005–2008. URL: <http://www.npx.com/docs/en/data-sheet/MMA7260QT.pdf>. (дата звернення: 10.04.2024).

124. Electronic Sustainability Systems: Global Technical Regulation No. 8. United Nations. Entered into the global registry on June 26, 2008. 2008. 116 с.

ДОДАТОК А
АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Перший проректор
проф. Анжеліка БАТРАКОВА
 2025 р.

АКТ

про впровадження в навчальний процес матеріалів
 дисертаційної роботи здобувача наукового ступеня доктора філософії за
 спеціальністю 274 Автомобільний транспорт
**«Розробка та дослідження високоефективного блочно-модульного
 машинного комплексу для наземного забезпечення польотів авіації»**
 Солдатенко Ігоря Олеговича

Результати дисертаційної роботи Солдатенко Ігоря Олеговича впроваджено в навчальний процес кафедри транспортних технологій Харківського національного автомобільно-дорожнього університету.

При проведенні навчального процесу зі студентами спеціальності 275 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» у межах дисципліни «Вантажні перевезення», розглядаються теоретичні та прикладні аспекти оптимізації транспортного забезпечення аеропортів. Зокрема, вивчаються запропоновані автором моделі процесу доставки вантажів, алгоритми визначення оптимальної кількості транспортних засобів з використанням лінійного програмування, а також технології застосування багатоланкових модульних аеродромних машин для підвищення ефективності обслуговування повітряних суден.

При виконанні кваліфікаційних робіт здобувачами кафедри використовуються розроблені в дисертації методичні підходи до вибору раціональної транспортно-технологічної схеми доставки ресурсів на летовищах та розрахунку економічної ефективності від впровадження модульних конструкцій.

Використання матеріалів і результатів дисертаційної роботи Солдатенко Ігоря Олеговича в навчальному процесі кафедри транспортних технологій сприяє підвищенню якості підготовки здобувачів освіти, розвитку компетентностей та вдосконаленню навчально-методичного забезпечення дисциплін.

Завідуючий кафедрою транспортних технологій
 к.т.н., доцент

Олексій ПАВЛЕНКО

Науковий керівник
 д.т.н., професор

Дмитрій АБРАМОВ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Начальник Харківського національного
університету Повітряних Сил імені
Івана Кожедуба

бригадний генерал

Андрій БЕРЕЖНИЙ

“ ” березня 2026 року



А К Т

про впровадження результатів дисертаційного дослідження
на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю
274 “Автомобільний транспорт” СОЛДАТЕНКА Ігоря Олеговича
в освітню та наукову діяльність Харківського національного університету
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

Комісія в складі: голова комісії – начальник кафедри аеродромно-технічного забезпечення авіації, полковник КАВ’ЮК Вадим Володимирович
члени комісії: доцент кафедри аеродромно-технічного забезпечення авіації, підполковник МОВЧАН Павло Вікторович

старший викладач кафедри аеродромно-технічного забезпечення авіації, підполковник ВАХНЮК Сергій Анатолійович

провідний науковий співробітник науково-дослідної лабораторії розвитку аеродромно-технічного забезпечення авіації Повітряних Сил науково-дослідного управління розвитку, застосування та забезпечення авіації Повітряних Сил наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, кандидат технічних наук, доцент, підполковник ЛЕОНЕНКО Олександр Миколайович

склала цей акт про те, що опубліковані результати дисертаційного дослідження на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 274 “Автомобільний транспорт” СОЛДАТЕНКА Ігоря Олеговича, а саме:

1) Подригало М.А., Абрамов Д.В., Солдатенко І.О., Вітрук І.С. Підвищення енергоефективності модульних засобів наземного забезпечення польотів авіації використанням електроприводу ведучих коліс // Системи озброєння і військова техніка, 2025, № 2 (82), ст. 28-34. DOI:10.30748/soivt.2025.82.04,

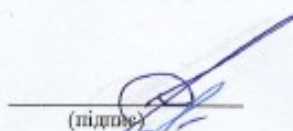
2) Подригало М.А., Абрамов Д.В., Солдатенко І.О., Вітрук І.С. Підвищення маневреності модульної техніки наземного забезпечення польотів авіації // Системи озброєння і військова техніка, 2025, № 3 (83), ст. 7-14. DOI:10.30748/zhups.2025.85.01,

впроваджені та використовуються в освітньому процесі та науковій діяльності Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, зокрема:

– на кафедрі аеродромно-технічного забезпечення авіації інженерно-авіаційного факультету, при викладанні навчальної дисципліни “Теорія і конструкція шасі засобів аеродромно-технічного забезпечення польотів”. Внесені зміни до робочої програми початкової дисципліни: Тема №11 “Поворот та маневреність автомобіля” в лекції №1 “Поворот автомобіля та автопоїзда” додано питання №3 “Підвищення маневреності модульної техніки наземного забезпечення польотів авіації”, в практичному занятті №3 “Модульний принцип побудови ЗАТЗП” додано питання №4 “Підвищення енергоефективності модульних засобів наземного забезпечення польотів авіації використанням електроприводу ведучих коліс”;

– при виконанні заходів наукової діяльності науково-дослідної лабораторії розвитку аеродромно-технічного забезпечення авіації Повітряних Сил науково-дослідного управління розвитку, застосування та забезпечення авіації Повітряних Сил наукового центру Повітряних Сил університету.

Голова комісії:

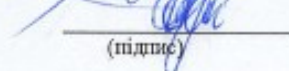

(підпис)

Вадим КАВ'ЮК

(ініціали та прізвище)

Члени комісії:


(підпис)

(підпис)

(підпис)

Павло МОВЧАН

(ініціали та прізвище)

Сергій ВАХНЮК

(ініціали та прізвище)

Олександр ЛЕОНЕНКО

(ініціали та прізвище)

“ ” березня 2026 року

ДОДАТОК Б
СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА
ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:

1. Kalinichenko, O., Pavlenko, O., Nagorny, Y., Sevidova, V., **Soldatenko, I.** (2023). Determination of Conditions to Provide Transport Logistics Support Service to Aircraft at Aerodromes in Ukraine. In: Arsenyeva, O., Romanova, T., Sukhonos, M., Biletskyi, I., Tsegelnyk, Y. (eds) Smart Technologies in Urban Engineering. STUE 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 807. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-46874-2_34.

Статті у наукових фахових виданнях України:

2. Калініченко, О., Павленко, О., **Солдатенко, І.** Оперативне планування процесу транспортного обслуговування бойових літаків на летовищах України. Комунальне господарство міст. Транспортні технології (за видами), 2022. № 4(171). С. 173–178. DOI: [10.33042/2522-1809-2022-4-171-173-178](https://doi.org/10.33042/2522-1809-2022-4-171-173-178).

3. Нагорний, Є., Калініченко, О., Павленко, О., **Солдатенко, І.** Методика побудови транспортно–технологічних схем доставки засобів забезпечення для обслуговування бойових літаків на летовищах України. Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура, 2022. № 6(173). С. 183–188. DOI: [10.33042/2522-1809-2022-6-173-183-188](https://doi.org/10.33042/2522-1809-2022-6-173-183-188).

4. Солдатенко І. О. Напрями удосконалення засобів моніторингу технічного стану силових кабельних ліній систем електропостачання військових аеродромів / Лагутін Г. І., Хабоша С. М., Перепелиця В. О., Кулинич І. І., Солдатенко І. О. // Системи озброєння і військова техніка, 2021. № 2(66). С. 66–72. DOI: [10.30748/soivt.2021.66.09](https://doi.org/10.30748/soivt.2021.66.09).

5. Новічонок С. М. Методика скорочення часових витрат на засвоєння вимог нормативно-правових актів / Новічонок С. М., Усачова О. А., Бабіч О. В., Савченко О. О., Солдатенко І. О., Беляєв П. В. // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил, 2021. 3(69). С. 144–153. DOI: [10.30748/zhups.2021.69.19](https://doi.org/10.30748/zhups.2021.69.19).

6. Новічонок С. М. Встановлення відповідності основних термінів в галузі наземного забезпечення польотів авіаційної техніки країн-партнерів термінам аеродромно-технічного забезпечення польотів державної авіації України / Новічонок С. М., Усачова О. А., Солдатенко І. О., Кашаєв І. О., Терентьєва І. В. // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України, 2022. № 2 (47). С. 31-40. DOI:[10.30748/nitps.2022.47.03](https://doi.org/10.30748/nitps.2022.47.03)

7. Подригало М. А., Абрамов Д. В., **Солдатенко І. О.**, Вітрук І. С. Підвищення енергоефективності модульних засобів наземного забезпечення польотів авіації використанням електроприводу ведучих коліс // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України, 2024. № 5(58). С. 45–52. DOI:[10.30748/soivt.2025.82.04](https://doi.org/10.30748/soivt.2025.82.04).

8. Подригало М. А., Абрамов Д. В., **Солдатенко І. О.**, Вітрук І. С. Підвищення маневреності модульної техніки наземного забезпечення польотів авіації // Системи озброєння і військова техніка, 2025. Вип. 3 (83). С. 7–14. DOI:[10.30748/zhups.2025.85.01](https://doi.org/10.30748/zhups.2025.85.01).

Патенти:

9. Пат. 157448 Україна, МПК В62D 21/02 (2006.01) В62D 21/14 (2006.01). Поздовжньо-розсувна несуча система автотранспортного засобу / Абрамов Дмитрій Володимирович, Калініченко Олександр Петрович, Нагорний Євген Васильович, Подригало Михайло Абович, Рогозін Ігор Віталійович, **Солдатенко Ігор Олегович**; власник Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. – № u 2024 01677 ; заявл. 03.04.2024 ; опубл. 16.10.2024, Бюл. № 42. 4 с.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

10. Солдатенко І. О., Подригало М. А., Кайдалов Р. О., Абрамов Д. В. Підвищення енергоефективності наземної техніки забезпечення бойових дій авіації шляхом використання комбінованого електромеханічного приводу ведучих коліс // XIX міжнародна наукова конференція Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба “Новітні

технології – для захисту повітряного простору”: тези доповідей, 12 – 13 квітня 2023 року. Х.: ХНУПС ім. І. Кожедуба, 2023. С. 390.

11. Солдатенко І. О., Подригало М. А., Абрамов Д. В. Аналіз можливості переведення машин наземного обслуговування літаків на електричний або гібридний привід // 79 наукова конференція Національного транспортного університету. Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: Збірник тез доповідей, 17 – 19 травня 2023, К.: НТУ, 2023. Вип. 79. 760 с.

12. Солдатенко І. О., Абрамов Д. В. Визначення факторів, які впливатимуть на вибір типу силової установки машин наземного забезпечення літаків // Збірник матеріалів II Всеукраїнського науково-практичного онлайн-семінару «Підвищення якості продукції машинобудівних та ремонтних підприємств», 25 травня 2023 р., Харків: ХНАДУ. С. 45–48.

13. Солдатенко І. О., Абрамов Д. В., Анацький М. О. Динамічні випробування безпілотного колісного візка, обладнаного сніговідвалом // Збірник матеріалів III Всеукраїнського науково-практичного онлайн-семінару «Підвищення якості продукції машинобудівних та ремонтних підприємств», 29 травня 2024 р., Харків: ХНАДУ. С. 88–89.

14. Солдатенко І. О., Абрамов Д. В., Хижняк К. С. Методика проведення експериментального дослідження динамічних характеристик безпілотного колісного візка, обладнаного сніговідвалом // Збірник матеріалів IV Всеукраїнського науково-практичного онлайн-семінару «Підвищення якості продукції машинобудівних та ремонтних підприємств», 29 травня 2025 р., Харків: ХНАДУ. С. 14–17.

15. Солдатенко І. О., Абрамов Д. В., Охріменко Е. І., Карабут Б. Р. Експериментальне дослідження впливу тиску в шинах на динамічні властивості легкового автомобіля // Збірник матеріалів Всеукраїнського науково-практичного онлайн-семінару «Підвищення якості продукції машинобудівних та ремонтних підприємств», 24 травня 2022 р., Харків: ХНАДУ. С. 36–41.

ДОДАТОК В
ПАТЕНТ, ЯКИЙ ЗАСВІДЧУЄ ПРАВА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ



(11) 157448

(19) UA

(51) МПК
B62D 21/02 (2006.01)
B62D 21/14 (2006.01)

(21) Номер заявки:	u 2024 01677	(72) Винахідники: Абрамов Дмитрій Володимирович, UA, Калініченко Олександр Петрович, UA, Нагорний Євген Васильович, UA, Подригало Михайло Абович, UA, Рогозін Ігор Віталійович, UA, Солдатенко Ігор Олегович, UA
(22) Дата подання заявки:	03.04.2024	
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності:	17.10.2024	
(46) Дата публікації відомостей про державну реєстрацію та номер Бюлетеня:	16.10.2024, Бюл. № 42	(73) Володілець: ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, UA

(54) Назва корисної моделі:

ПОЗДОВЖНЬО-РОЗСУВНА НЕСУЧА СИСТЕМА АВТОТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

(57) Формула корисної моделі:

Поздовжньо-розсувна несуча система автотранспортного засобу, що містить трубчасті елементи, до яких приварені траверси для встановлення кузова та вузлів і механізмів, важелі передні та задні, деталі підвіски коліс та колеса, яка відрізняється тим, що трубчасті елементи виконані з можливістю поздовжнього розсування та зсування один відносно одного та додатково містять встановлене стопорне пристосування, а також електромотори за числом коліс.