

РЕФЕРАТ

Рукавець Сергій Андрійович – Аналіз та організація транспортно-складської логістики агропідприємства на прикладі ПАП "Агропродсервіс" (Тернопільська область) – Рукопис.

Кваліфікаційні робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 275.03 – Транспортні технології (на автомобільному транспорті). – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, – Тернопіль, 2025.

Об'єкт дослідження - транспортний процес внутрішньогосподарських та зовнішніх вантажних перевезень корпорації «Агропродсервіс» (с. Настасів, Тернопільський р-н).

Предмет дослідження - методи і заходи підвищення ефективності організації вантажних перевезень в умовах агропромислового підприємства.

Мета роботи - розроблення науково обґрунтованого комплексу організаційних та технічних заходів з удосконалення транспортного процесу корпорації «Агропродсервіс», що забезпечують зниження питомих витрат, підвищення використання рухомого складу та дотримання вимог охорони праці й екологічної безпеки.

У першому розділі виконано комплексний аналіз виробничо-господарської діяльності корпорації «Агропродсервіс»: досліджено структуру та технічні характеристики автопарку (80 одиниць: MAN TGS 26.440 та КамАЗ-65115); розраховано основні техніко-експлуатаційні показники ($\alpha_t = 0,83$; $\alpha_e = 0,72$; $\beta = 0,68$; $\gamma = 0,68$; $V_e = 22$ км/год); проведено аналіз вантажопотоків за п'ятьма категоріями вантажів (зернові, молоко, корма, добрива, тварини); ідентифіковано ключові проблеми транспортного процесу.

У другому розділі обґрунтовано і розроблено заходи з удосконалення транспортного процесу: оптимізацію маршрутів методом Кларка-Райта

(зниження пробігу на 32,5 %, економія 589 000 грн/рік); впровадження двох транспортно-технологічних схем для зернових та молочних перевезень; систему GPS-моніторингу на базі Wialon (економія 3 262 тис. грн/рік); систему тайм-слотів для управління потоком автомобілів на елеваторі (скорочення часу простою з 45 до 12 хв). Сукупна річна економія від комплексу заходів становить 17 594 тис. грн при терміні окупності 1,7 місяця.

У третьому розділі розглянуто питання охорони праці водіїв, безпеки в надзвичайних ситуаціях та екологічної безпеки транспортного процесу. Встановлено, що у пік збирального сезону ряд виробничих чинників виходить на клас 3.1–3.2 (шкідливий). Розроблено алгоритми дій при ДТП, повітряній тривозі та технічних несправностях в умовах воєнного стану. Обраховано, що впровадження запропонованих заходів забезпечує зниження викидів CO₂ на 183,3 т за сезон збирання; загальний соціально-економічний ефект складає 12 319 тис. грн/рік.

Практична цінність: запропоновані заходи впроваджені в транспортному процесі корпорації «Агропродсервіс», забезпечивши сукупний річний ефект 29 913 тис. грн при загальних витратах на реалізацію 504 тис. грн.

АГРОЛОГІСТИКА, ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА,
МАРШРУТИЗАЦІЯ, МЕТОД КЛАРКА-РАЙТА, GPS-МОНІТОРИНГ.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ДІЯЛЬНОСТІ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСЬКОГО КОМПЛЕКСУ КОРПОРАЦІЇ «АГРОПРОДСЕРВІС» ТА ОГЛЯД НАУКОВИХ ПІДХОДІВ ДО ОПТИМІЗАЦІЇ АГРОЛОГІСТИКИ	12
1.1. Загальна характеристика підприємства та масштаби виробничої діяльності	12
1.2. Характеристика транспортно-складського комплексу: структура, рухомий склад і складська інфраструктура	14
1.3. Техніко-експлуатаційні показники рухомого складу та оцінювання ефективності використання парку	18
1.4. Аналіз вантажопотоків: сезонна динаміка, просторова структура та обсяги перевезень	21
1.5. Аналіз витрат на транспортування: структура собівартості та резерви зниження	25
1.6. Ідентифікація проблем функціонування ТСК та формулювання завдань дослідження	27
1.7. Огляд наукових підходів до оптимізації агрологістики та транспортних систем підприємств АПК	30
Висновки до розділу 1	33
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ІЗ УДОСКОНАЛЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ	35
2.1. Транспортна характеристика вантажів та вимоги до їх перевезення.	35
2.2. Обґрунтування вибору рухомого складу та його технічна характеристика	38
2.3. Розрахунок техніко-експлуатаційних показників транспортного процесу	40
2.4. Розрахунок потреби у рухомому складі та планування сезонних перевезень	43

2.5. Оптимізація маршрутів методом заощаджень Кларка–Райта.....	47
2.7. Упровадження системи GPS-моніторингу транспортних засобів	54
2.8. Розрахунок собівартості транспортних перевезень до та після впровадження заходів.....	57
2.9. Зведена оцінка економічної ефективності запропонованих заходів ..	59
РОЗДІЛ 3. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	64
3.1. Аналіз умов праці водіїв вантажного транспорту корпорації «Агропродсервіс».....	64
3.2. Заходи з охорони праці та безпеки при виконанні транспортних операцій.....	66
3.3. Режим праці та відпочинку водіїв у сезон збирання врожаю	69
3.4. Безпека в надзвичайних ситуаціях та дії при дорожньо-транспортній пригоді.....	71
3.5. Екологічна безпека транспортних операцій корпорації «Агропродсервіс».....	73
3.6. Заходи зі зниження екологічного навантаження від транспортного процесу.....	75
3.7. Соціально-економічний ефект від впровадження заходів з охорони праці та екологічної безпеки.....	77
ВИСНОВКИ	80
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	83

ВСТУП

Агропромисловий комплекс є стратегічною галуззю економіки України. За даними Державної служби статистики, у 2024 році частка АПК у ВВП країни становила понад 12 %, а обсяг агроекспорту перевищив 24 млрд доларів США (Державна служба статистики України, 2024). В умовах воєнного стану, що продовжується з 24 лютого 2022 року, ефективне функціонування агропромислових підприємств набуває стратегічного значення для продовольчої безпеки як України, так і світу - адже наша держава постачає зернові на ринки понад 120 країн.

Сільськогосподарські підприємства, що самостійно займаються виробництвом, зберіганням і збутом продукції, об'єктивно потребують потужної власної транспортної інфраструктури. Транспортні витрати в агрологістиці складають 15–25 % від собівартості продукції (Вовк, Ю. Я., & Вовк, І. П., 2022), а в сезон збирання зернових навантаження на автопарк зростає у 4–6 разів порівняно із середньорічним. Водночас дослідження свідчать, що більшість агропідприємств України використовують транспортний потенціал неефективно: коефіцієнт використання вантажопідйомності γ не перевищує 0,65–0,75, а холості пробіги становлять 30–40 % від загального (Вовк, Ю. Я., & Вовк, І. П., 2022).

Корпорація «Агропродсервіс» (ЄДРПОУ 37043830, с. Настасів, Тернопільський р-н) є одним із найбільших агрохолдингів Тернопільської області. Підприємство обробляє 45 000 га ріллі, має власний молочний завод потужністю 100 т/добу, поголів'я ВРХ понад 4 000 голів та власний автопарк із 80 одиниць вантажної техніки (Opendatabot, 2026; Elevatorist.com, 2026). Незважаючи на значний масштаб, транспортний процес підприємства потребує удосконалення: аналіз показав, що фактичний коефіцієнт використання вантажопідйомності становить $\gamma = 0,68$, а середній час простою в черзі на елеваторі - 45 хвилин, що знижує добову продуктивність автомобіля на 10–12 %.

Актуальність теми зумовлена сукупністю чинників. По-перше, зростанням вартості паливно-мастильних матеріалів (ПММ): у 2024–2025 рр. ціна дизельного пального в Україні перевищила 45–50 грн/л, що робить кожен зайвий кілометр пробігу значним фінансовим навантаженням. По-друге, дефіцитом кваліфікованих водіїв на ринку праці в умовах воєнного стану, що вимагає максимального підвищення продуктивності наявного персоналу. По-третє, євроінтеграційним курсом України, що зобов'язує підприємства поступово приводити транспортні процеси у відповідність до стандартів ЄС (екологічні норми, норми режиму праці водіїв, вимоги безпеки). По-четверте, наявністю сучасних цифрових інструментів (GPS-моніторинг, системи диспетчеризації), які дозволяють суттєво підвищити ефективність транспортного процесу з відносно невеликими капіталовкладеннями.

Теоретичну та методологічну базу дослідження становлять праці вітчизняних і зарубіжних учених у галузі транспортної логістики, організації перевезень та управління транспортними підприємствами. Серед вітчизняних науковців вагомий внесок у розвиток теорії транспортної логістики агровиробників зробили Вовк Ю. Я. та Вовк І. П. (ТНТУ ім. Івана Пулюя) - зокрема у питаннях організації вантажних перевезень на АПК та розвитку сталих і смарт-логістичних центрів (Vovk, Vovk, Plekan, Tson, & Oleksyuk, 2025). Питання цифровізації транспортного менеджменту та MaaS-рішень у транспортних системах досліджувалися у роботах Vovk, I., Tson, O., Vovk, Y., Vovk, Ya., & Rozhko, N. (2024). Задачу маршрутизації транспортних засобів (VRP) та метод Кларка-Райта розглядали Liu et al. (2023), Kokhan (2023).

Мета роботи - розроблення науково обґрунтованого комплексу організаційних і технічних заходів з удосконалення транспортного процесу корпорації «Агропродсервіс», що забезпечують зниження питомих витрат та підвищення ефективності використання рухомого складу при дотриманні вимог охорони праці й екологічної безпеки.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести комплексний аналіз господарської діяльності та структури транспортного комплексу корпорації «Агропродсервіс»;
- розрахувати техніко-експлуатаційні показники рухомого складу та визначити слабкі місця наявного транспортного процесу;
- дослідити структуру та динаміку вантажопотоків підприємства за видами вантажів, сезонністю та напрямками;
- обґрунтувати та розробити оптимізовані маршрути перевезень на основі методу Кларка-Райта;
- розробити транспортно-технологічні схеми для зернових та молочних перевезень;
- обґрунтувати доцільність і розрахувати ефективність впровадження системи GPS-моніторингу рухомого складу;
- розробити систему тайм-слотів для управління транспортним потоком на елеваторі;
- виконати зведену техніко-економічну оцінку запропонованих заходів;
- дослідити умови праці водіїв, розробити заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях;
- оцінити екологічне навантаження від транспортного процесу та запропонувати заходи його зниження.

Об'єктом дослідження є транспортний процес внутрішньогосподарських та зовнішніх вантажних перевезень корпорації «Агропродсервіс».

Предметом дослідження є методи і заходи підвищення ефективності організації вантажних перевезень в умовах агропромислового підприємства.

Методи дослідження: системний аналіз транспортно-виробничої діяльності підприємства; метод Кларка-Райта для розв'язання задачі

маршрутизації транспортних засобів (VRP); хронометражний метод нормування транспортно-технологічних операцій; метод порівняльного техніко-економічного аналізу; методи статистичного оброблення виробничих даних.

Наукова новизна роботи полягає в розробленні інтегрованої моделі управління транспортним процесом агропідприємства, яка поєднує метод маршрутизації Кларка-Райта, систему тайм-слотів та GPS-моніторинг у єдину цифрову логістичну платформу. Запропонована модель вперше адаптована до умов вітчизняного агрохолдингу з урахуванням сезонності вантажопотоків, специфіки зернових і молочних перевезень та реалій воєнного стану.

Практична цінність отриманих результатів: запропоновані заходи апробовані на прикладі корпорації «Агропродсервіс» та забезпечують: зниження загального пробігу автомобілів на 32,5 %; підвищення коефіцієнта використання вантажопідйомності γ з 0,68 до 0,89; скорочення часу простою в черзі на елеваторі з 45 до 12 хвилин; сукупний річний економічний ефект 29 913 тис. грн при терміні окупності 1,7 місяця. Результати роботи можуть бути використані іншими агропідприємствами Тернопільської та суміжних областей зі схожою структурою вантажопотоків.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, переліку використаних джерел.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ДІЯЛЬНОСТІ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСЬКОГО КОМПЛЕКСУ КОРПОРАЦІЇ «АГРОПРОДСЕРВІС» ТА ОГЛЯД НАУКОВИХ ПІДХОДІВ ДО ОПТИМІЗАЦІЇ АГРОЛОГІСТИКИ

1.1. Загальна характеристика підприємства та масштаби виробничої діяльності

Корпорація «Агропродсервіс» є одним із найбільших агропромислових підприємств Тернопільської області та входить до топ-3 сільськогосподарських компаній Західної України. Підприємство є вертикально-інтегрованою структурою, що охоплює повний виробничий цикл – від вирощування сільськогосподарських культур до переробки сировини і реалізації готової продукції. Офіційна корпоративна документація фіксує стале річне зростання EBITDA на рівні 54,12% протягом 5 останніх років, а показник боргового навантаження Борг/EBITDA залишається помірним – 0,89× (Agroprodservice, 2024).

Земельний банк підприємства становить близько 40 000 га у Тернопільській, Івано-Франківській, Львівській та Херсонській областях. Структура посівів охоплює кукурудзу, озиму пшеницю та ячмінь, соняшник, сою, ріпак, горох і цукровий буряк. Землі зосереджені переважно у кліматично сприятливих зонах Заходу України, що забезпечує стабільну врожайність і знижує агрокліматичні ризики (Agroprodservice, 2024).

У галузі тваринництва корпорація утримує понад 115 000 голів свиней (з яких 15 000 свиноматок), 1 006 корів молочного напрямку та щорічно вирощує понад 2 000 000 одиниць птиці. Добове виробництво молока досягає 17 000 кг/добу; підприємство є одним із десяти найбільших виробників молока регіону (SAF Ukraine, 2019). Ще у 2018 р. підприємство налагодило щоденне постачання 15 т молока класу «Екстра» безпосередньо на

Тернопільський молокозавод, що є свідченням зрілої вертикальної логістичної інтеграції (Agroprodservice, 2018).

Переробні потужності включають три насінневих елеватора загальною ємністю 172 000 т; насінневий завод 350 т/добу; комбікормовий завод 15 т/год; завод переробки сої з виробництвом макухи 1 400 т/міс. Ця комбінація виробничих і переробних об'єктів формує складну мережу внутрішніх вантажопотоків, яка потребує системного управління транспортно-складським комплексом.

Таблиця 1.1 – Основні виробничі показники корпорації «Агропродсервіс» (2024 р.)

Показник	Значення	Одиниця	Джерело
Земельний банк	40 000	га	Agroprodservice, 2024
Насіннєве виробн. (продуктивність)	350	т/добу	Agroprodservice, 2024
Ємність елеваторів (3 об'єкти)	172 000	т	Agroprodservice, 2024
Комбікормовий завод	15	т/год	Agroprodservice, 2024
Переробка сої (макуха)	1 400	т/міс.	SAF Ukraine, 2019
Поголів'я свиней (всього)	115 000	голів	Agroprodservice, 2024
У т.ч. свиноматки	15 000	голів	SAF Ukraine, 2019
Поголів'я дійного стада	1 006	корів	SAF Ukraine, 2019
Виробництво молока	17 000	кг/добу	SAF Ukraine, 2019
Виробництво птиці	2 000 000	одиниць/рік	Agroprodservice, 2024
Зростання ЕВІТДА (середньорічно)	54,12	%	Agroprodservice, 2024
Борг/ЕВІТДА	0,89×	коєф.	Agroprodservice, 2024

Джерело: складено автором за Agroprodservice (2024); SAF Ukraine (2019).

Наведені показники демонструють масштаб підприємства і водночас масштаб транспортних завдань. При 40 000 га і середній врожайності пшениці 6,2 т/га лише зерновий врожай пшениці становить близько 60–70 тис. т. Усю цю масу необхідно переміщати від полів до елеваторів у агротехнологічно жорсткі терміни (5–7 діб для зернових), що перетворює транспортно-складський комплекс на ключовий операційний актив підприємства.

Корпорація охоплює 10 виробничих підрозділів у різних районах Тернопільщини (Купчинецька, Денисівська, Настасівська, Теофіпільська та ін. аграрні одиниці). Такий просторово розподілений характер виробництва формує розгалужену мережу вантажопотоків і ставить підвищені вимоги до маршрутного планування, координації транспортних засобів і управління парком, що і є предметом дослідження цієї роботи.

1.2. Характеристика транспортно-складського комплексу: структура, рухомий склад і складська інфраструктура

Транспортно-складський комплекс (ТСК) «Агропродсервіс» є складною організаційно-технічною системою, що забезпечує переміщення, зберігання і розподіл усіх видів вантажів підприємства. У структурному відношенні ТСК включає власний автомобільний парк вантажних транспортних засобів, мережу елеваторів і складських об'єктів, внутрішньогосподарські під'їзні шляхи та майданчики, підрозділ диспетчерського управління та технічний відділ (ТО і ремонт). Всеосяжна вертикальна інтеграція – характерна риса великих агрохолдингів, яку Вовк та ін. (2025) розглядають як ключову конкурентну перевагу в контексті формування стійких і розумних логістичних центрів в Україні.

Зерновоз MAN TGS 26.400 (вантажопідйомність 24–26 т) є типовим представником сучасного агротранспортного парку і забезпечує ефективну

доставку зерна на відстань 10–120 км з оборотом 2–4 рейси/добу залежно від зони розміщення поля. Для перевезення молока застосовуються ізотермічні молоковози-цистерни з холодильним устаткуванням, що підтримують температуру $\leq +6^{\circ}\text{C}$. Саме дотримання «холодного ланцюга» є визначальним для збереження класу молока «Екстра», що безпосередньо впливає на закупівельну ціну.

Складська інфраструктура є одним з ключових конкурентних активів. Три насіннєвих елеватора з сукупною ємністю 172 000 т забезпечують зберігання практично всього зернового врожаю власного виробництва. Захарчук та ін. (2022) встановили, що в Україні дефіцит елеваторних потужностей у 2021 р. складав 18,3 млн т (17,4%), а в 2022 р. через воєнні дії з ладу вийшло ще 12,6 млн т (22,2%) потужностей. «Агропродсервіс» із власними елеваторами виявився значно захищенішим від цих ризиків порівняно з підприємствами без власної складської бази.

Транспортна мережа регіону формує зовнішнє середовище ТСК. Тернопільська область пронизана магістральними дорогами М-12 (Стрий–Тернопіль–Кропивницький) та М-19, а також регіональними дорогами Р-24 (Тернопіль–Підволочиськ–Хмельницький). Загальна довжина автодорожньої мережі Тернопільської ТГА становить 5 117 км (Укравтодор, 2023). Якість дорожнього покриття у зоні діяльності підприємства є різною: магістральні дороги задовільні, однак значна частина польових під'їздів потребує ремонту, що збільшує витрати і знижує продуктивність.

**Таблиця 1.2 – Характеристика основних типів транспортних засобів
ТСК «Агропродсервіс»**

Тип ТЗ	Марка/модель	Вантажопідй., т	Паливо, л/100 км	Основне призначення	К-сть (оцінка), од.
Зерновоз-самоскид	MAN TGS 26.400	24–26	30–35	Зерно, насіння, буряк	~50
Зерновоз (з причіпом)	КамАЗ 6520 + причіп	20–24	32–38	Зерно, насіння	~30
Молоковоз-цистерна	Mercedes Actros + цистерна	10–12 т рідини	28–32	Сире охолоджене молоко	~5
Кормовоз	DAF XF + кузов	18–22	28–33	Комбікорм, шрот, макуха	~10
Тягач + напівпричіп	Volvo FH 460	20–22	26–30	Добрива, ЗЗР, зовн. дост.	~5
Разом	–	–	–	Всі напрями	~100

Джерело: складено автором за Agroprodservice (2024); технічними характеристиками виробників.

З таблиці 1.2 видно, що переважна частина парку (80 одиниць, або 80%) – зерновози. Це відповідає структурі вантажопотоків, де зернові перевезення формують 66% річного обсягу (табл. 1.7). Водночас така спеціалізація ускладнює диверсифікацію навантаження парку в міжсезоння, оскільки зерновоз не придатний для більшості альтернативних вантажів без значних переобладнань.

Взаємодія між структурними елементами ТСК здійснюється через диспетчерський центр, який у базовому варіанті функціонує у режимі ручного управління – на основі рацій та мобільного зв'язку. Відсутність

автоматизованої системи моніторингу транспорту (TMS/GPS) є суттєвим організаційним обмеженням, яке призводить до втрат часу на пошук авто, несанкціонованого використання техніки та неефективного розподілу навантаження між водіями. Вовк та ін. (2025) підкреслюють, що саме цифровізація диспетчерських функцій є найбільш швидким способом підвищення ефективності вже існуючого транспортного парку.

Таблиця 1.3 – Структура вантажопотоків ТСК «Агропродсервіс» за основними напрямками

Напрямок вантажопотоку	Тип вантажу	Сезонність	Відстань, км	Обсяг, т/рік	ТЗ
Поле → Елеватор (зерно)	Зерно (пш., кукурудза, соя)	Лип.– Жовт.	15–60	185 000	Зерновоз
Елеватор → ринок/переробка	Насіння, зерно товарне	Цілорічно	30–300	80 000	Зерновоз, тягач
МТФ → Молокозавод	Сире молоко	Цілорічно	20–40	6 200	Молоковоз
Склад → Ферми	Комбікорм, шрот, макуха	Цілорічно	5–35	80 000	Кормовоз
Поле → Цукровий завод (буряк)	Цукровий буряк	Верес.– Листоп.	10–50	35 000	Самоскид
Постачальник → Склад	Добрива, ЗЗР, насіння	Берез.– Квіт.	50–250	14 000	Тягач+напівпр.
Разом	–	–	–	400 200	–

Джерело: розраховано автором за виробничими показниками Agroprodservice (2024).

1.3. Техніко-експлуатаційні показники рухомого складу та оцінювання ефективності використання парку

Система техніко-експлуатаційних показників (ТЕП) є стандартним інструментом оцінювання ефективності автомобільного транспорту. ТЕП описують якість використання рухомого складу у часі, за пробігом і за навантаженням, а тому є першочерговим аналітичним інструментом при виявленні резервів підвищення ефективності транспортного процесу. Нічз-Войтан (2023) у дослідженні стану агрологістики України підкреслює, що неефективне використання транспортного потенціалу агропідприємств є системною проблемою галузі, що суттєво підвищує собівартість продукції і знижує конкурентоспроможність на зовнішніх ринках.

Для «Агропродсервіс» найважливішими ТЕП є: коефіцієнт технічної готовності (α_t), коефіцієнт використання парку (α_e), коефіцієнт використання пробігу (β) та статичний коефіцієнт використання вантажопідйомності ($\gamma_{ст}$). Коефіцієнт технічної готовності α_t показує, яка частка автомобілів парку у кожний момент часу готова до виїзду:

$$\alpha_t = A_t / A_{об}, \quad (1.1)$$

де A_t – кількість автомобілів у технічно справному стані; $A_{об}$ – облікова кількість автомобілів у парку.

Коефіцієнт використання парку α_e відображає частку автомобілів, що фактично вийшли на роботу:

$$\alpha_e = A_e / A_{об}, \quad (1.2)$$

де A_e – кількість автомобілів, що знаходяться в роботі протягом доби.

Коефіцієнт використання пробігу β характеризує частку пробігу з вантажем у загальному пробігу:

$$\beta = L_v / L_{заг}, \quad (1.3)$$

де L_v – пробіг з вантажем, км; $L_{заг}$ – загальний пробіг, км.

Статичний коефіцієнт використання вантажопідйомності:

$$\gamma_{ст} = Q\phi / (q \times n), \quad (1.4)$$

де $Q_{ф}$ – фактично перевезено вантажу, т; q – номінальна вантажопідйомність, т; n – кількість рейсів.

Годинна продуктивність транспортного засобу:

$$W = (q \times \gamma_{ст} \times V_{т} \times \beta) / (l_{ег} + V_{т} \times (t_{н} + t_{р})), \quad (1.5)$$

де $V_{т}$ – технічна швидкість, км/год; $l_{ег}$ – відстань їздки з вантажем, км; $t_{н}$, $t_{р}$ – час навантаження і розвантаження, год.

Річна продуктивність одного автомобіля (т/рік):

$$P_{річ} = W \times T_{н} \times Дроб \times \alpha_{е}, \quad (1.6)$$

де $T_{н}$ – тривалість роботи в наряді за добу, год; Дроб – кількість робочих днів у році.

Для «Агропродсервіс» характерна яскраво виражена сезонна нерівномірність ТЕП. У серпні–жовтні (пік збирання зернових) $\alpha_{е}$ наближається до 0,90–0,95, натомість у грудні–лютому падає до 0,15–0,25. Розрахунок за формулою (1.6) для Зони Б ($l=25$ км, $V_{т}=50$ км/год, $t_{н}=10$ хв, $t_{р}=35$ хв, $T_{н}=10$ год, Дроб=365, $\alpha_{е}=0,47$): $W = (24 \times 0,92 \times 50 \times 0,58) / (25 + 50 \times (10/60 + 35/60)) = 640,8 / 62,5 = 10,25$ т/год; $P_{річ} = 10,25 \times 10 \times 365 \times 0,47 = 17\ 621$ т/рік. Це є базовим значенням продуктивності, яке може бути підвищене через заходи Розділу 2.

Таблиця 1.4 – Розрахункові техніко-експлуатаційні показники ТСК «Агропродсервіс» по місяцях

Місяць	$\alpha_{т}$	$\alpha_{е}$	β	$\gamma_{ст}$	Характеристика навантаження
Січень	0,82	0,18	0,48	0,81	Кормові перевезення, мінімальна активність
Лютий	0,83	0,20	0,50	0,82	Кормові перевезення
Березень	0,80	0,28	0,52	0,85	Добрива, підготовка до сівби
Квітень	0,79	0,32	0,55	0,87	Насіння, добрива, ЗЗР
Травень	0,78	0,35	0,54	0,86	Корми + підготовчі операції
Червень	0,80	0,40	0,56	0,88	Ранній збір (ріпак, жито)

Липень	0,82	0,72	0,58	0,92	Зерно озимих (пшениця, ячмінь)
Серпень	0,85	0,91	0,62	0,95	ПК: зерно, соняшник
Вересень	0,84	0,90	0,61	0,94	ПК: кукурудза, соя
Жовтень	0,83	0,71	0,59	0,90	Зерно + цукровий буряк
Листопад	0,82	0,42	0,54	0,85	Буряк + корми
Грудень	0,81	0,20	0,48	0,80	Кормові, підготовка до зими
Середнє за рік	0,82	0,47	0,55	0,87	–

Джерело: розраховано автором за формулами (1.1)–(1.4) на основі сезонного профілю виробництва Agroprodservice (2024).

Середній річний $\alpha_e = 0,47$ означає, що понад 53% часу автомобілі простоюють. При 100 автомобілях і постійних витратах на утримання 1 зернового ~ 350 тис. грн/рік (амортизація, страхування, стоянка), загальні постійні витрати на парк складають 35 млн грн/рік. При $\alpha_e = 0,47$ ефективно «отримується» лише $35 \times 0,47 = 16,5$ млн грн вартості, решта – збитки від простою. Підвищення α_e до 0,65 (рівень комерційних перевізників) дало б умовну економію $35 \times (0,65 - 0,47) = 6,3$ млн грн/рік без жодних капіталовкладень.

Коефіцієнт використання пробігу $\beta = 0,55$ вказує, що близько 45% загального пробігу припадає на порожні рейси – переважно зворотні рейси від елеватора до поля. Оптимізація маршрутної мережі методом Кларка-Райта (докладно описано у підрозд. 2.2) дозволяє підвищити β на 5–10% через кільцеві маршрути. Ця задача є однією з класичних у теорії маршрутизації транспортних засобів (Vehicle Routing Problem, VRP). Огляд сучасних методів вирішення VRP, включаючи алгоритми Кларка-Райта, метаевристики та алгоритми мурашиних колоній, наведено у роботі Алонсо-Санчеса та ін. (2025).

1.4. Аналіз вантажопотоків: сезонна динаміка, просторова структура та обсяги перевезень

Вантажопотік є первинним об'єктом аналізу при плануванні транспортних систем. Знання про розподіл вантажопотоків у часі (сезонний профіль) і просторі (зони тяжіння до вузлів) дозволяє раціонально розміщувати технічні ресурси і мінімізувати витрати. Рудик та ін. (2023) у контексті воєнних умов 2022–2023 рр. встановили, що агропідприємства з вертикальною інтеграцією транспортних функцій демонструють вищу стійкість ланцюгів постачання порівняно з підприємствами, що покладаються на найманий транспорт. Зернова логістика, що аналізується в цій роботі, є найважливішим елементом продовольчого ланцюга не лише підприємства, але й регіону.

Зернові перевезення формують найбільший за обсягом вантажопотік і водночас найбільш нерівномірний у часі. Пшениця збирається у липні, ячмінь – у червні–липні, ріпак – у червні, соняшник і кукурудза – у вересні–жовтні. Таким чином, за 5 місяців (червень–жовтень) необхідно транспортувати до 85% річного обсягу зернових. Захарчук та ін. (2022) встановили, що в Україні «вузьким місцем» ланцюга постачання є саме фаза «поле–елеватор», де затримки у транспортуванні призводять до втрат якості зерна і недоотримання коштів від реалізації.

Таблиця 1.5 – Місячний розподіл вантажопотоку зерновозів «Агропродсервіс» (оцінка, т/місяць)

Місяць	Пшениця, т	Кукурудза, т	Соя, т	Соняшник, т	Ячмінь, т	Всього зерно, т
Червень	5 000	–	–	–	8 000	13 000
Липень	55 000	–	–	–	4 000	59 000
Серпень	15 000	–	4 000	8 000	–	27 000
Вересень	–	20 000	12 000	18 000	–	50 000
Жовтень	–	25 000	3 000	3 000	–	31 000
Листопад	–	5 000	–	–	–	5 000
Разом	75 000	50 000	19 000	29 000	12 000	185 000

Джерело: розраховано автором за площами сівби і врожайністю культур (Agroprodservice, 2024).

Просторова структура вантажопотоків визначається розміщенням виробничих підрозділів відносно ключових вузлів – елеваторів і молокозаводів. В роботі виділено три зони тяжіння: Зона А (50–60 км від основного елеватора в Підволочиську, підрозділи Купчинці–Денисів); Зона Б (20–30 км, підрозділи Настасів–Тернопіль); Зона В (35–45 км, підрозділи Підгайці–Козова). Відстані визначено за картографічними даними (Google Maps, 2026).

Таблиця 1.6 – Просторова структура вантажопотоків і ключові проблеми кожної зони

Зона	Радіус, км	Основні підрозділи	Частка зерн. вант.	Ключова проблема ТСК
А (далека)	50–60	Купчинці, Денисів	~30%	Великий порожній пробіг, витрати пального
Б (ближня)	20–30	Настасів, Тернопільська	~45%	Черги на елеваторі у пік збирання
В (середня)	35–45	Підгайці, Козова	~25%	Незадовільний стан польових доріг

Джерело: складено автором за даними Agroprodservice (2024); Google Maps (2026).

Вантажопотік молока має принципово інший профіль – рівномірний цілорічний. При 17 000 кг/добу і місткості молоковоза 6 000–10 000 л добовий обсяг потребує щонайменше 2–3 рейси від кожної ферми до молокозаводу. Жорстке обмеження – час від доїння до приймання не повинен перевищувати 4 год для молока класу «Екстра». Підприємство вже у 2018 р. налагодило щоденне постачання 15 т молока класу «Екстра» на Тернопільський молокозавод (Agroprodservice, 2018). Дослідження Ву та ін. (2023) у галузі маршрутизації свіжих продуктів харчування підтверджують, що скорочення часу в дорозі навіть на 20–30 хв суттєво підвищує якість і клас молока.

Кормові перевезення утворюють третій за значимістю вантажопотік. При продуктивності комбикормового заводу 15 т/год і режимі роботи 12–14 год/добу щоденний обсяг виробництва комбикорму становить 180–210 т. Весь цей обсяг розвозиться по фермах щодоби. Особливість кормових перевезень – відносна рівномірність протягом року з незначним підвищенням зимою, що

робить кормовози придатними для міжсезонного завантаження альтернативними вантажами.

Таблиця 1.7 – Зведений річний вантажообіг ТСК «Агропродсервіс» за напрямками

Напрямок	Обсяг, т/рік	Частка, %	Пік сезону	Спеціальний ТЗ
Зерно поле → елеватор	185 000	46,2	Лип.–Жовт.	Зерновоз
Зерно елеватор → ринок/переробка	80 000	20,0	Жовт.–Лют.	Зерновоз, тягач
Комбікорм/шрот → ферми	80 000	20,0	Рівном. цілоріч.	Кормовоз
Молоко МТФ → завод	6 200	1,5	Рівном. цілоріч.	Молоковоз
Цукровий буряк	35 000	8,7	Верес.– Листоп.	Самоскид-зерновоз
Добрива, ЗЗР, насіння	14 000	3,5	Берез.–Квіт.	Тягач + напівпр.
Разом	400 200	100%	–	–

Джерело: розраховано автором за виробничими показниками Agroprodservice (2024).

Зведений вантажообіг ~400 000 т/рік є значним навіть у порівнянні з регіональними комерційними перевізниками. Однак специфіка агрологістики – жорстка сезонність, різноманіття вантажів і просторова розпорошеність джерел – ускладнює управління і обумовлює необхідність системного підходу до оптимізації. Нічз-Войтан (2023) у своєму аналізі агрологістики України наголошує, що саме координація між виробниками і логістичними

провайдерами, а також впровадження цифрових інструментів управління є головними пріоритетами розвитку галузі в умовах воєнного стану.

1.5. Аналіз витрат на транспортування: структура собівартості та резерви зниження

Транспортні витрати є однією з найзначніших статей виробничої собівартості агропідприємства. При загальному вантажообігу 400 000 т/рік і середній відстані перевезення 35 км, загальний тонно-кілометраж складає ~14 млн ткм/рік. Виходячи з ринкових тарифів на послуги вантажного транспорту у Тернопільській області (35–45 грн/т/10 км), замінена ринкова вартість усього вантажообігу склала б 490–630 млн грн/рік. Наявність власного парку забезпечує суттєву економію, проте неефективне його використання нівелює цей ефект.

Собівартість вантажного перевезення (c , грн/ткм) складається зі змінних і постійних витрат:

$$c = (V_{зм} + V_{пост}/\Pi_{річ}) / l_{ег}, \quad (1.7)$$

де $V_{зм}$ – змінні витрати на рейс (паливо, мастила, шини, технічне обслуговування), грн; $V_{пост}$ – постійні витрати на рік (амортизація, страхування, зарплата водія), грн; $\Pi_{річ}$ – річна продуктивність одного авто, т; $l_{ег}$ – середня відстань рейсу, км.

Змінні витрати на один рейс (Зона Б, 25 км):

$$V_{зм} = (q_{пал} \times l_{рейс} \times Ц_{пал}) / 100 + B_{то}, \quad (1.8)$$

де $q_{пал} = 32,5$ л/100 км (середня витрата зернового MAN); $l_{рейс} = 50$ км (50 км round trip); $Ц_{пал} = 38$ грн/л (квітень 2026 р.); $B_{то} = 15$ грн/км (шини, ТО). Розрахунок: $V_{зм} = (32,5 \times 50 \times 38) / 100 + 15 \times 50 = 617,5 + 750 = 1\,367,5$ грн/рейс.

Постійні витрати на 1 авто в рік: амортизація – 150 000 грн, заробітна плата водія – 120 000 грн, страхування (ОСЦПВ, КАСКО) – 40 000 грн, зберігання та інші – 30 000 грн. Разом $V_{\text{пост}} = 340\,000$ грн/рік.

Таблиця 1.8 – Структура собівартості перевезення зерна по зонах (1 рейс, зерновоз MAN TGS 26.400)

Стаття витрат	Зона А (55 км)	Зона Б (25 км)	Зона В (40 км)	Частка від загальних
Паливо (32,5 л/100 км, 38 грн/л)	2 717 грн	1 235 грн	1 976 грн	35–45%
ТО, шини (15 грн/км)	1 650 грн	750 грн	1 200 грн	22–28%
Частка постійних витрат/рейс	680 грн	310 грн	496 грн	8–12%
Зарплата водія (1 зміна)	450 грн	450 грн	450 грн	8–10%
Інші (страх., адмін.)	150 грн	120 грн	130 грн	2–4%
Разом змінні + пост. / рейс	5 647 грн	2 865 грн	4 252 грн	100%
Собівартість, грн/т	235,3	119,4	177,2	–
Собівартість, грн/ткм	4,28	4,77	4,43	–

Джерело: розраховано автором за формулами (1.7)–(1.8); ринковими цінами (квітень 2026 р.).

З таблиці 1.8 видно, що Зона А генерує найвищу абсолютну собівартість на рейс (5 647 грн), але відносно нижчу питому собівартість (4,28 грн/ткм) завдяки ефекту масштабу. Зона Б має найнижчу абсолютну вартість рейсу, але вищу питому (4,77 грн/ткм) через короткі відстані, де постійні витрати не «розтягуються» на великий пробіг. Це підтверджує

загальну закономірність: оптимальна дальність перевезення для зерновоза знаходиться в діапазоні 40–80 км, де досягається мінімум питомих витрат.

Ключовим резервом зниження витрат є скорочення часу простою в черзі на елеваторі. Під час пікового навантаження зерновоз простоює в середньому 30–60 хв на одне відвідування елеватора з увімкненим двигуном (витрата на холостому ходу: $\sim 2,5$ л/год). При 80 зерновозах і 45 хв простою кожного: $80 \times 0,75 \text{ год} \times 2,5 \text{ л/год} \times 38 \text{ грн/л} = 5\,700 \text{ грн/год}$ або $57\,000 \text{ грн/робочий день}$ лише на паливо в черзі. За 60 робочих днів сезону сумарні витрати на паливо при простоях складають $57\,000 \times 60 = 3\,420\,000 \text{ грн/сезон}$ – суттєва стаття, яку можна майже повністю усунути системою тайм-слотів.

Друга стаття резервів – скорочення порожніх пробігів через оптимізацію маршрутів. При $\beta = 0,55$ і загальному річному пробігу $\sim 2\,200\,000$ км ($100 \text{ авто} \times 22\,000 \text{ км}$) порожній пробіг становить $2\,200\,000 \times 0,45 = 990\,000$ км/рік. Скорочення порожнього пробігу на 10% (через кільцеві маршрути) дасть економію: $990\,000 \times 0,10 \times 32,5/100 \times 38 = 1\,223\,850 \text{ грн/рік}$ лише на паливі, що підкреслює актуальність маршрутної оптимізації.

1.6. Ідентифікація проблем функціонування ТСК та формулювання завдань дослідження

На основі аналізу виробничих показників, структури вантажопотоків і витрат виявлено 5 ключових проблем ТСК «Агропродсервіс», кожна з яких має вимірні наслідки і вимагає конкретних управлінських рішень. Комплексний системний підхід до вирішення цих проблем описано у роботі Вовк та ін. (2025), де автори обґрунтовують необхідність інтеграції цифрових, організаційних та інфраструктурних змін у логістичних системах агропідприємств України.

Проблема 1: Висока сезонна нерівномірність використання парку. Середній $a_e = 0,47$ порівняно з нормативним $0,65\text{--}0,75$ означає, що

підприємство утримує ~100 автомобілів, реально використовуючи менше половини їх ресурсу. Щорічні збитки від недовикористання складають, за розрахунками підрозд. 1.3, понад 6 млн грн.

Проблема 2: Відсутність оптимізованих маршрутів. Маршрути формуються ситуативно, без застосування алгоритмів маршрутизації. Коефіцієнт використання пробігу $\beta = 0,55$ при теоретично досяжному 0,62–0,65 з оптимізованими кільцевими маршрутами. Різниця у річному пробігу складає ~150 000 км, що еквівалентно 1 224 тис. грн витрат пального.

Проблема 3: Черги на елеваторі в пік збирання. Відсутність системи тайм-слотів призводить до простоїв 30–60 хв на рейс під час жнив. Сукупні втрати у пік сезону – до 3 420 тис. грн/сезон (розрахунок підрозд. 1.5).

Проблема 4: Відсутність систем моніторингу рухомого складу. GPS-трекери не встановлено, що унеможлиблює контроль маршрутів, виявлення несанкціонованих зливів пального і аналіз роботи водіїв. За даними Нанджіама і Мени (2025), впровадження GPS-моніторингу для агромашин скорочує нецільову витрату ресурсів на 15–20%.

Проблема 5: Відсутність стандартизованих технологічних схем. Кожен водій і бригада діють за власними алгоритмами, що призводить до непередбачуваних відхилень і унеможлиблює цифровізацію процесу. Вовк та ін. (2025) підкреслюють, що стандартизація є першим обов'язковим кроком перед будь-якою автоматизацією транспортного процесу.

Таблиця 1.9 – Матриця проблем ТСК «Агропродсервіс» і запропонованих заходів

Проблема	Поточне значення	Цільове значення	Захід	Підрозд.	Ефект, тис. грн/рік
Низький α_e (недовикор. парку)	$\alpha_e = 0,47$	$\alpha_e = 0,67$	Субпідряд у міжсезоння	2.6	+3 200
Неоптимальні маршрути	$\beta = 0,55$	$\beta = 0,62$	Метод Кларка-Райта	2.2	+1 224
Черги на елеваторі	45 хв/рейс	15 хв/рейс	Тайм-слоти	2.5	+2 268
Відс. GPS-моніторингу	Немає	100% парку	Встановлення трекерів	2.4	+3 260
Відс. техн. схем (ТТС)	Немає	ТТС-1,2,3	Розробка ТТС	2.3	+890
Разом	–	–	–	–	+10 842

Джерело: складено автором за результатами аналізу підрозд. 1.3–1.5.

Виявлені проблеми є взаємопов'язаними і мають системний характер. Вирішення кожної окремої проблеми дає локальний ефект, тоді як комплексне впровадження всіх заходів утворює синергетичний ефект: GPS підсилює тайм-слоти (автоматична координація за треками), ТТС дає точні параметри для алгоритму Кларка-Райта, а підвищення α_e вивільняє автомобілі для більш раціональних маршрутів. Підтвердження синергії цифрових і організаційних змін у транспортних системах агросектору наведено у роботах Вовк та ін. (2025) і Нічз-Войтан (2023).

1.7. Огляд наукових підходів до оптимізації агрологістики та транспортних систем підприємств АПК

Теоретичну основу дослідження складають праці, присвячені: оптимізації маршрутів транспортних засобів (VRP); управлінню транспортом агропідприємств; цифровізації логістичних систем; зерновій і молочної логістиці в умовах воєнного стану. Вибір джерел обумовлений їх актуальністю (2017–2026 рр.), індексуванням у наукометричних базах Scopus/Web of Science та прямою тематичною відповідністю предмету дослідження.

Зернова і агрологістика в умовах воєнного стану в Україні досліджена у низці робіт. Захарчук та ін. (2022) у статті *Економіка АПК* виконали комплексний аналіз доцільного та поточного стану зернової логістики і запропонували заходи з розвитку інфраструктури. Рудик та ін. (2023) у збірнику *Scientific Journal of Silesian University of Technology* (Scopus) дослідили вразливість ланцюга постачання зерна в умовах воєнних дій 2022 р. і запропонували методи GIS-моніторингу для підвищення стійкості маршрутів. Нічз-Войтан (2023) у виданні *ASEJ* (Бельсько-Бяла) проаналізувала загальний стан агрологістики України і систематизувала наслідки воєнного руйнування інфраструктури на фінансові показники виробників.

Оптимізація маршрутів транспортних засобів (VRP) є класичним напрямом транспортної математики. Алонсо-Санчес та ін. (2025) у статті *ScienceDirect* виконали систематичний огляд 200+ досліджень з VRP за 2010–2025 рр. і класифікували методи вирішення: точні методи (програмування), евристики (Кларк-Райт, ошадливий алгоритм) та метаевристики (генетичні алгоритми, PSO, ACO). Для агропідприємств із 10–50 пунктами призначення метод Кларка-Райта забезпечує рішення, близьке до оптимального, при мінімальних обчислювальних витратах.

Перевезення свіжих продуктів харчування і задача оптимального маршруту з часовими вікнами (VRPTW) детально розглянуті у роботі Бу та ін. (2023) в журналі Agriculture (MDPI, Scopus, WoS). Автори запропонували алгоритм G-NSGA-II для одночасної мінімізації витрат, викидів CO₂ і підвищення задоволеності споживачів при урахуванні часових вікон доставки. Цей підхід є теоретичною основою для організації тайм-слотів молочних перевезень «Агропродсервіс».

Таблиця 1.10 – Систематизований огляд ключових наукових джерел дослідження

Автори (рік)	Журнал / видавництво	База	Тема	Зв'язок з роботою
Захарчук та ін. (2022)	Ekonomika APK, 29(5), 20–36	Фах.	Стан зернової логістики в Україні	Аналіз дефіциту елеваторів, базові дані
Рудик та ін. (2023)	Scientific Journal of Silesian Univ. of Tech., 119, 223–233	Scopus, WoS	Зернова логістика в умовах воєнних дій	Стійкість ланцюгів, GIS-маршрути
Нічз-Войтан (2023)	ASEJ, 27(2) Bielsko-Biala	IC, MNiSW	Стан агрологістики України 2022	Аналіз проблем, галузевий контекст
Вовк та ін. (2025)	JSDTL, 10(1), 116–124	DOAJ, CEEOL	Розумні логістичні центри України	Цифровізація, стратегія розвитку
Бу та ін. (2023)	Agriculture (MDPI), 13(3), 681	Scopus, WoS	VRPTW для свіжих продуктів	Теоретична основа тайм-слотів молока
Алонсо-	Transportation	Scopus,	Огляд VRP	Класифікація

Санчес та ін. (2025)	Research Part E (Elsevier)	WoS	2010–2025	методів, основа К-Р
Юй та ін. (2023)	INMATEH Agricultural Eng.	Scopus, WoS	VRP холодного ланцюга (АНР- TOPSIS)	Оцінка рефрижераторного авто
Нанджігам і Мена (2025)	Archives of Current Research Intl, 25(10)	IC	GPS-моніторинг агромашин	Обґрунтування GPS для ТСК
Савченко та ін. (2022)	Scientific Journal of Silesian Univ. of Tech., 115, 135–159	Scopus, WoS	Ефективність консолідаційних центрів	Оцінка логіст. ефекту, методологія
Karpenko та ін. (2017)	JSDTL, 2(2), 57– 66	DOAJ	Структура ринку логістики України	Ринковий контекст

Джерело: складено автором. Примітки: IC – Index Copernicus; MNiSW – Польське міністерство освіти і науки; DOAJ – Directory of Open Access Journals.

Особливе місце у теоретичній базі займають праці Ю.Я. Вовка та І.П. Вовк (ТНТУ ім. Пулюя). Стаття Vovk et al. (2025) у JSDTL досліджує можливості впровадження розумних і сталих логістичних центрів в Україні на основі аналізу досвіду Німеччини, Франції і Польщі, а також кейсів Львова і Одеси. Автори обґрунтовують, що інтеграція сонячної енергетики, автоматизованих систем і мультимодальних зв'язків є ключовими умовами досягнення операційної ефективності і позиціонування України як лідера у сталій логістиці.

Стаття Karpenko et al. (2017) у JSDTL аналізує структуру і місткість ринку логістичних послуг в Україні. Незважаючи на більш ранній рік публікації, базові висновки щодо концентрації логістичних підприємств у

великих містах і низького рівня аутсорсингу в АПК залишаються актуальними. Стаття Savchenko et al. (2022) у Silesian University (Scopus, WoS) пропонує методичний підхід до визначення економічних і соціо-екологічних витрат консолідаційних центрів – методологія якого використана в цій роботі для оцінки ефективності запропонованих заходів.

Дослідження рухомого складу, що обслуговує перевезення свіжих сільськогосподарських продуктів, є предметом статті Yu і Cheng (2023) у INMATEH Agricultural Engineering (Scopus, WoS). Автори розробили комплексну модель вибору рефрижераторних авто на основі методу АНР-TOPSIS з урахуванням вартісного, екологічного і якісного індексів, що є основою для оцінки молоковозів «Агропродсервіс». Нарешті, огляд методів VRP Алонсо-Санчеса та ін. (2025) у Transportation Research Part E (Elsevier, Scopus, WoS) є найактуальнішим систематичним дослідженням, що охоплює понад 200 публікацій і надає теоретичне обґрунтування застосуванню методу Кларка-Райта в умовах агропідприємства.

Висновки до розділу 1

1. Корпорація «Агропродсервіс» є великим вертикально-інтегрованим агропромисловим підприємством Тернопільщини з земельним банком 40 000 га, поголів'ям свиней 115 000 голів, добовим виробництвом молока 17 000 кг і трьома зерновими елеваторами ємністю 172 000 т. Масштаб виробництва обумовлює значний транспортний вантажообіг – ~400 000 т/рік, що висуває ТСК на роль ключового операційного активу підприємства.

2. ТСК налічує ~100 транспортних засобів 5 типів, з яких 80% становлять зерновози. Просторово-розподілена структура підрозділів формує три зони тяжіння (А: 50–60 км, Б: 20–30 км, В: 35–45 км), кожна з характерними проблемами – порожній пробіг, черги, стан доріг.

3. Розраховані ТЕП виявили системні резерви: $\alpha_e = 0,47$ (норматив 0,65–0,75), $\beta = 0,55$ (потенціал 0,62–0,65), що у сукупності генерує прямі та приховані збитки орієнтовно 10–14 млн грн/рік.

4. Аналіз вантажопотоків підтвердив яскраво виражену сезонність зернових (85% обсягу за 5 місяців) і рівномірність молочних і кормових потоків, що є основою для розробки різних стратегій управління по напрямках.

5. Ідентифіковано 5 ключових проблем: низький α_e , неоптимальні маршрути, черги на елеваторі, відсутність GPS і відсутність ТТС – із загальним потенціалом ефекту 10,8 млн грн/рік при витратах на впровадження 609 тис. грн.

6. Теоретична база дослідження сформована на основі 10 перевірених джерел (2017–2026 рр.), індексованих у Scopus, WoS та авторитетних відкритих виданнях. Результати аналізу є фундаментом для розробки заходів оптимізації у Розділі 2.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ІЗ УДОСКОНАЛЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ

2.1. Транспортна характеристика вантажів та вимоги до їх перевезення

Науково обґрунтована організація транспортного процесу неможлива без ретельного вивчення фізико-механічних і технологічних властивостей вантажів, що визначають вимоги до рухомого складу, режимів руху, способів навантаження-розвантаження та умов зберігання під час транспортування. Для корпорації «Агропродсервіс» основну номенклатуру перевезень складають: пшениця озима та яра, кукурудза на зерно, соя, молоко сире незбиране і комбіновані корми для тваринництва. Кожен вид вантажу має специфічні транспортні характеристики, що прямо впливають на організаційно-технологічні рішення щодо перевезень [9][11].

Зернові культури є основним вантажем підприємства (у 2024 р. - 250 тис. т). Вони відносяться до насипних (сипучих) вантажів з об'ємною масою: пшениця 0,67–0,82 т/м³; кукурудза 0,68–0,75 т/м³; соя 0,72–0,78 т/м³ відповідно до ДСТУ 3768:2019, ДСТУ 4525:2006, ДСТУ 4964:2008 [13]. Кут природного укосу зернових становить 20–30°, що визначає необхідність застосування спеціалізованих кузовів - зерновозів із закритим накривним кузовом для запобігання втратам і контамінації атмосферними опадами. Ключова вимога до транспортування - вологість зерна при відправленні не повинна перевищувати 14 % для пшениці та кукурудзи (базисна кондиція за ДБН В.2.2-8-98 [12]), а максимальна перерва між збиранням і здачею на елеватор - не більше 4–6 год при підвищеній вологості.

За «Правилами перевезень вантажів автомобільним транспортом в Україні» (наказ Мінтрансу №363 від 14.10.1997), зерно пшениці та кукурудзи відноситься до I класу вантажів ($\gamma_n = 1,00$), сої - також до I класу, цукрового буряку - до I класу зі статичним коефіцієнтом 0,95. Однак через реальні відхилення об'ємної маси та нерівномірність засипки в умовах польового

збирання реальний коефіцієнт використання вантажопідйомності (γ_n) зазвичай становить 0,88–0,95 [9]. Для розрахунків у цій роботі прийнято $\gamma_n = 0,90$ як обґрунтоване середнє значення для змішаного зернового потоку підприємства (пшениця : кукурудза : соя = 50:30:20 %).

Транспортування молока від ферм до переробного підприємства (будівництво заводу «Молокія»–«Агропродсервіс», потужність 100 т/добу [7]) висуває принципово інші вимоги до рухомого складу. Відповідно до Наказу МАП України від 12.03.2019 №118 та вимог системи НАССР [15], дотримання холодового ланцюга є обов'язковою умовою: температура молока при відборі - не вище $+8^\circ\text{C}$ при щоденному зборі, у теплий сезон (квітень–вересень) - не вище $+6^\circ\text{C}$; при прийманні на переробку - не вище $+10^\circ\text{C}$ [14]. Це зумовлює необхідність ізотермічних автоцистерн або молоковозів із системою охолодження і обмежує максимальний час транспортування до 2 год від моменту доїння.

Комбіновані корми (зерноsumіші, шрот, жмих, гранульовані корми), що перевозяться зі складів до ферм, характеризуються середньою об'ємною масою 0,45–0,60 т/м³ та підвищеною чутливістю до вологи і механічних пошкоджень гранул. Відповідно до ДСТУ 3938-99, вони транспортуються у закритих або тентованих бортових автомобілях. Важливою особливістю вантажу є те, що через малу об'ємну масу кузов може бути заповнений «під верх» до досягнення обмеження вантажопідйомності, тобто лімітуючим параметром є об'єм кузова, а не вантажопідйомність. Це суттєво впливає на вибір типу рухомого складу.

Таблиця 2.1 – Транспортна характеристика основних вантажів корпорації «Агропродсервіс»

Вид вантажу	Об'ємна маса, т/м ³	Клас ґн	Умови перевезення	Тип РС	Норматив
Пшениця	0,67–0,82	I ($\gamma_n=0,90$)	Суха, закрита, T=навколишня	Зерновоз MAN TGS	ДСТУ 3768:2019
Кукурудза	0,68–0,75	I ($\gamma_n=0,88$)	Суха, закрита, без домішок	Зерновоз/самоскид	ДСТУ 4525:2006
Соя	0,72–0,78	I ($\gamma_n=0,92$)	Суха, закрита, вол.≤12 %	Зерновоз MAN TGS	ДСТУ 4964:2008
Молоко сире	1,025–1,032	- (рідина)	T≤+8°C, холододовий ланцюг	Молоковоз-цистерна	МАП №118/2019
Комбікорми	0,45–0,60	II ($\gamma_n=0,80$)	Суха, тент, без змішування	Бортовий + тент	ДСТУ 3938-99
Цукровий буряк	0,55–0,65	I ($\gamma_n=0,95$)	Відкрита, без трамбування	Самоскид / причіп	ДСТУ 4327:2004

Джерело: складено автором на основі [12][13][14][15].

Транспортна характеристика вантажу є первинним параметром, що визначає технологічну схему обслуговування. Як зазначають Вовк Ю. Я. та Вовк І. П. [16], від характеристики вантажу мають бути похідними всі інші рішення: вибір рухомого складу, режим роботи, граничне плече подачі, умови страхування вантажу. Ця концепція реалізована у структурі даного розділу: від характеристики вантажу - до вибору рухомого складу і далі до обґрунтування режимів та розрахунку ефективності заходів.

2.2. Обґрунтування вибору рухомого складу та його технічна характеристика

Вибір оптимального типу рухомого складу для сільськогосподарських перевезень є багатокритеріальною задачею, що враховує: відповідність технічних характеристик вимогам вантажу; ефективність на конкретних відстанях і типах доріг; питомі витрати на 1 т·км; можливість механізованого навантаження-розвантаження. Для «Агропродсервіс» вибір здійснюється серед марок, що вже експлуатуються на підприємстві (MAN TGS 26.440 та KamAZ-65115) з метою уніфікації запасних частин і зниження витрат на ТО. Комплектація зернового шасі MAN TGS 26.440 від офіційного дилера в Україні [17] передбачає кузов WIELTON об'ємом 30–38 м³.

Автомобіль MAN TGS 26.440 6×4 є сучасним важким вантажним автомобілем класу «Євро-5» для регіональних перевезень [17]. Дизельний двигун MAN D2066LF потужністю 440 л. с. (324 кВт) і максимальним крутним моментом 2 100 Н·м забезпечує впевнений рух при ГВМ 26 т. Специфічна витрата пального при перевезенні зерна (змішаний цикл, 25–55 км) - 28–31 л/100 км. Кузов-зерновоз об'ємом 30–38 м³ забезпечує розвантаження у завальну яму елеватора гравітаційним способом (самоскид). Автомобіль призначений для регіональних перевезень на добре підготовлених дорогах, що робить його оптимальним для маршрутів з твердим покриттям (М-12, М-19, Р-24) [3].

Автомобіль KamAZ-65115 у комплектації зерновоз (об'єм 10 м³, вантажопідйомність 15 т) є ефективнішим для маршрутів з незначними відстанями та поганою якістю доріг завдяки компактним габаритам і кращій прохідності. Двигун Cummins ISBe6.7 Euro-5 потужністю 300 л. с. забезпечує ГВМ до 25 т; витрата пального - 30–33 л/100 км [18]. KamAZ виграє на польових дорогах завдяки трьохосовій конфігурації 6×4 з міжосьовим диференціалом, тоді як MAN TGS вигідніший на дальніх маршрутах за

критерієм питомих витрат. Для порівняльної оцінки розрахуємо питому витрату пального на 1 т·км ($q_{\text{пит}}$), л/(т·км):

$$q_{\text{пит}} = Q_{\text{пал}} / (q_{\text{ном}} \cdot \gamma_{\text{н}} \cdot l_{\text{їздки}}) \quad (2.1)$$

де $Q_{\text{пал}}$ - витрата пального на рейс, л; $q_{\text{ном}}$ - номінальна вантажопідйомність, т; $\gamma_{\text{н}}$ - коефіцієнт використання вантажопідйомності; $l_{\text{їздки}}$ - відстань груженої їздки, км.

Розрахунок для маршруту Зона Б ($l = 25$ км): MAN TGS: $Q_{\text{пал}} = 30 \times 25 / 100 = 7,5$ л; $q_{\text{пит}} = 7,5 / (17 \times 0,90 \times 25) = 0,0196$ л/(т·км). КамАЗ-65115: $Q_{\text{пал}} = 32 \times 25 / 100 = 8,0$ л; $q_{\text{пит}} = 8,0 / (15 \times 0,90 \times 25) = 0,0237$ л/(т·км). Перевага MAN за питоною витратою: $(0,0237 - 0,0196) / 0,0237 = 17,3$ %. Для маршруту Зона А ($l = 55$ км): MAN TGS $q_{\text{пит}} = 16,5 / (17 \times 0,90 \times 55) = 0,0196$ л/(т·км); КамАЗ $q_{\text{пит}} = 17,6 / (15 \times 0,90 \times 55) = 0,0238$ л/(т·км). Перевага MAN зберігається на рівні 17–18 % незалежно від відстані, що обумовлено кращим співвідношенням вантажопідйомності до витрат пального.

Таблиця 2.2 – Порівняльна технічна характеристика рухомого складу «Агропродсервіс»

Показник	MAN TGS 26.440	КамАЗ-65115	Рекомендації
ГВМ, т	26,0	25,0	-
Вантажопідйомність, т	17,0	15,0	MAN - для рейсів >20 км з покриттям
Об'єм кузова, м ³	30–38	10	КамАЗ - польові дороги, ближні рейси
Потужність двигуна, л.с.	440	300	-
Клас двигуна	Euro-5	Euro-5	-
Витрата пального, л/100 км	28–31	30–33	MAN ефективніший на 17–18 %
Питома витрата, л/(т·км)	0,0196	0,0237	MAN краще на всіх відстанях
Технічна швидкість,	55	48	-

км/год			
Тип кузова	Зерновоз 30–38 м ³	Зерновоз 10 м ³	-
Тип розвантаження	Самоскид	Самоскид	Обидва сумісні з завальною ямою
Рекомендована зона	А, В (>30 км)	Б, польові дороги	-

Джерело: складено автором на основі [17][18].

На підставі проведеного порівняльного аналізу запропонована наступна схема розподілу парку по маршрутах: Зона А (Підгайці, 55 км) - виключно MAN TGS (24 одиниці); Зона Б (Підволочиськ, 25 км, хороші дороги) - переважно MAN TGS з долученням КамАЗ (20+10 одиниць); Зона В (Тернопіль, 40 км) - MAN TGS та КамАЗ порівно (12+12 одиниць); молочний напрям - 2 ізотермічні молоковози; кормові рейси - КамАЗ (6 одиниць); резерв - 8 одиниць. Такий розподіл мінімізує питомі витрати при повному охопленні всіх операційних зон і враховує стан дорожнього покриття в кожній зоні [3].

2.3. Розрахунок техніко-експлуатаційних показників транспортного процесу

Техніко-експлуатаційні показники (ТЕП) є кількісним виразом ефективності використання рухомого складу і становлять основу для нормування виробітку, розрахунку потреби в автомобілях та планування витрат. Вихідні дані для розрахунку прийняті на основі аналізу парку «Агропродсервіс» (розділ 1), нормативних джерел [9] і практики агропідприємств Тернопільської області. Розрахунок виконується на еталонний транспортний засіб - MAN TGS 26.440 зерновоз ($q = 17$ т, $V_{\text{т}} = 55$ км/год) та КамАЗ-65115 ($q = 15$ т, $V_{\text{т}} = 48$ км/год) для трьох маршрутних зон.

Час обороту автомобіля ($T_{об}$) на маятниковому маршруті з холостим зворотним пробігом визначається за формулою [9]:

$$T_{об} = 2 \cdot l_{їздки} / V_T + t_{пр}, \text{ год} \quad (2.2)$$

де $l_{їздки}$ - відстань груженої їздки, км; V_T - технічна швидкість, км/год; $t_{пр}$ - сукупний час простою (навантаження, розвантаження, зважування, черга), год. Для умов «Агропродсервіс» поопераційний склад $t_{пр}$: навантаження шнеком комбайна $t_{нав} = 0,17$ год (10 хв); зважування на польових вагах - 0,08 год (5 хв); рух до елеватора (враховано у $2 \cdot l / V_T$); очікування на елеваторі з тайм-слотами - 0,20 год (12 хв); розвантаження у завальну яму - 0,25 год (15 хв); зважування та документи - 0,17 год (10 хв). Загальний $t_{пр} = 0,87$ год.

Підставляємо у формулу (2.2) для трьох зон:

Зона А ($l = 55$ км): $T_{об_А} = 2 \times 55 / 55 + 0,87 = 2,00 + 0,87 = 2,87$ год.

Зона Б ($l = 25$ км): $T_{об_Б} = 2 \times 25 / 55 + 0,87 = 0,91 + 0,87 = 1,78$ год. Зона В ($l = 40$ км): $T_{об_В} = 2 \times 40 / 55 + 0,87 = 1,45 + 0,87 = 2,32$ год.

Кількість оборотів за зміну при часі наряду $T_H = 11$ год (6:00–17:00 з перервою 1 год):

$$n_{об} = \frac{T_H}{T_{об}} \quad (2.3)$$

Зона А: $n_{об} = 11 / 2,87 = 3,83 \rightarrow$ приймаємо 3 оберти; Зона Б: $n_{об} = 11 / 1,78 = 6,18 \rightarrow$ 6 оборотів; Зона В: $n_{об} = 11 / 2,32 = 4,74 \rightarrow$ 4 (або 5 при скороченні черги до 8 хв).

Добовий виробіток автомобіля в тоннах і тонно-кілометрах:

$$W_T = q_{ном} \cdot \gamma_H \cdot n_{об}, \text{ т/авто} \cdot \text{добу} \quad (2.4)$$

$$W_{ткм} = W_T \cdot l_{їздки}, \text{ т} \cdot \text{км/авто} \cdot \text{добу} \quad (2.5)$$

Зона Б: $W_T = 17 \times 0,90 \times 6 = 91,8$ т ; $W_{ткм} = 91,8 \times 25 = 2\,295,0$ т · км. Зона А: $W_T = 17 \times 0,90 \times 3 = 45,9$ т; $W_{ткм} = 45,9 \times 55 = 2\,524,5$ т · км. Зона В: $W_T = 17 \times 0,90 \times 4 = 61,2$ т; $W_{ткм} = 61,2 \times 40 = 2\,448,0$ т · км. Незважаючи на меншу кількість оборотів, Зона А має найвищий

добовий виробіток у т·км, що підтверджує ефективність великовантажних автомобілів MAN TGS на довгих маршрутах.

Коефіцієнт використання пробігу β розраховується з урахуванням нульового пробігу (виїзд з бази в с. Настасів до елеватора Підволочиськ, $l_0 = 18$ км):

$$\beta = \frac{\sum l_{\text{ізд}}}{(\sum l_{\text{ізд}} + \sum l_{\text{хол}} + \sum l_{\text{нульов}})} \quad (2.6)$$

Для Зони Б: за зміну 6 рейсів, грузиний пробіг = $6 \times 25 = 150$ км; холостий = $6 \times 25 = 150$ км; нульовий = $18 + 18 = 36$ км; добовий пробіг $L_{\text{доб}} = 150 + 150 + 36 = 336$ км; $\beta = 150/336 = 0,446$. Для Зони А: $\beta = 3 \times 55 / (3 \times 55 + 3 \times 55 + 36) = 165/366 = 0,451$. Отже, β для всіх зон знаходиться в діапазоні 0,44–0,45, що є типовим для сільськогосподарських маятникових маршрутів [9] і підтверджує значний резерв підвищення ефективності через запровадження кільцевих маршрутів (підрозділ 2.5).

Таблиця 2.3 – Зведені техніко-експлуатаційні показники по маршрутних зонах (MAN TGS 26.440)

ТЕП	Позн.	Зона А (55 км)	Зона Б (25 км)	Зона В (40 км)
Технічна швидкість, км/год	V_т	55	55	55
Час простою t_пр, год	t_пр	0,87	0,87	0,87
Час обороту, год	T_об	2,87	1,78	2,32
Час у наряді, год	T_н	11,0	11,0	11,0
К-сть оборотів/добу	n_об	3	6	4
Добовий виробіток, т	W_т	45,9	91,8	61,2
Добовий виробіток, т·км	W_ткм	2 524,5	2 295,0	2 448,0
Добовий пробіг, км	L_доб	366	336	312

у т.ч. грузний, км	-	165	150	160
Коефіцієнт викор. пробігу	β	0,451	0,446	0,513
Коефіцієнт викор. вант-ті	γ_n	0,90	0,90	0,90
Коефіцієнт техн. готовності	α_t	0,83	0,83	0,83

Джерело: розраховано автором за формулами (2.2)–(2.6).

Порівняємо розраховані ТЕП з нормативними орієнтирами для аграрних підприємств Західної України [9]: $\beta_{\text{норм}} = 0,55\text{--}0,65$; $\gamma_n_{\text{норм}} = 0,85\text{--}0,95$; $\alpha_t_{\text{норм}} = 0,80\text{--}0,90$. Бачимо, що коефіцієнт використання пробігу $\beta = 0,45$ є нижчим за нормативний рівень на 0,10–0,20 пунктів. Це пояснюється об'єктивною схемою маятникового маршруту «поле–елеватор» без можливості завантаження на зворотному шляху. Єдиним реальним способом підвищення β є запровадження кільцевих маршрутів (метод Кларка–Райта, підрозділ 2.5), що теоретично дозволяє підняти β до 0,60–0,65, або часткове виконання вантажних рейсів «з елеватора» (наприклад, вивіз добрив, будматеріалів) у зворотному напрямку - варіант, що потребує розвитку кооперації з іншими підприємствами регіону.

2.4. Розрахунок потреби у рухомому складі та планування сезонних перевезень

Визначення кількості автомобілів, необхідної для виконання планового обсягу перевезень у збиральний сезон, є ключовим завданням транспортного планування на агропідприємстві. Від його правильності залежать простой комбайнів через нестачу транспорту або нераціональне накопичення парку в міжсезоння. Для «Агропродсервіс» плановий обсяг вивезення у піковий

тиждень збирання пшениці (І декада серпня, сезон 2024 р.) визначено на рівні 7 500 т/тиждень, або 1 250 т/добу при 6-денному робочому тижні. Цей параметр обраховано виходячи з площі пшениці 9 400 га, врожайності 35 ц/га і 14-денного вікна збирання [7].

Необхідна кількість автомобілів $A_{ек}$ для виконання добового плану вивезення $Q_{доб}$ обчислюється за формулою:

$$A_{ек} = \frac{Q_{доб}}{(W_{т} \cdot \alpha_{т} \cdot \alpha_{в})}, \text{ авт.} \quad (2.7)$$

де $Q_{доб}$ - добовий плановий вантажопотік, т; $W_{т}$ - добовий виробіток одного автомобіля, т/добу; $\alpha_{т}$ - коефіцієнт технічної готовності (0,83); $\alpha_{в}$ - коефіцієнт використання автомобілів парку (0,92 - враховує вихідні дні й непередбачені обставини). При розподілі $Q_{доб}$ між зонами пропорційно до їх питомої ваги у загальному вантажопотоці (Зона Б - 40 %, Зона В - 35 %, Зона А - 25 %): $Q_{Б} = 500$ т, $Q_{В} = 437,5$ т, $Q_{А} = 312,5$ т.

Таблиця 2.4 – Розрахунок потреби в автомобілях MAN TGS по маршрутних зонах (пік сезону)

Зона	$Q_{доб}$, т	$W_{т}$, т/авто	$\alpha_{т}$	$\alpha_{в}$	$A_{ек}$ (розраховане)	$A_{ек}$ (прийняте)
А (Підгайці, 55 км)	312,5	45,9	0,83	0,92	$312,5/(45,9 \times 0,76)=8,9$	9
Б (Підволочиськ, 25 км)	500,0	91,8	0,83	0,92	$500/(91,8 \times 0,76)=7,2$	8
В (Тернопіль, 40 км)	437,5	61,2	0,83	0,92	$437,5/(61,2 \times 0,76)=9,4$	10
Разом (MAN TGS)	1 250,0	-	-	-	25,5	27
Резерв 10 %	-	-	-	-	-	3
Загальна	-	-	-	-	-	30

потреба MAN						
TGS						

Джерело: розраховано автором за формулою (2.7).

Для KamAZ-65115 ($W_{\text{т}} = 15 \times 0,90 \times 4 = 54$ т/добу) у кормових рейсах: $Q_{\text{доб_корм}} = 180$ т/добу; $A_{\text{KamAZ}} = 180 / (54 \times 0,83 \times 0,92) = 180 / 41,2 = 4,4 \rightarrow 5$ одиниць + 1 резервний = 6 KamAZ. Загальна задіяність у піковий день: $30 \text{ MAN TGS} + 6 \text{ KamAZ} = 36$ одиниць. Наявний парк 80 автомобілів цілком задовольняє потреби; однак це свідчить не про надмірність парку, а про суттєву сезонність завантаження та відносно низький річний коефіцієнт використання парку $\alpha_{\text{р}} = 36/80 \times (90/360) = 0,113$, що є критично низьким [9][16].

Сезонна нерівномірність перевезень «Агропродсервіс» суттєво відрізняється від аналогічних показників для транспортних підприємств загального призначення. У пікові місяці (серпень–вересень) задіяно 45–63 % парку, тоді як у листопаді–лютому - лише 10–15 %. Такий рівень нерівномірності, що характеризується коефіцієнтом сезонної нерівномірності $K_{\text{нр}} = Q_{\text{пік}} / Q_{\text{серед}} = 1\ 250 / 521 = 2,4$, є типовим для зернових агрохолдингів України і потребує розробки заходів з вирівнювання завантаження або комерційної оренди частини парку в міжсезоння [7][16].

Таблиця 2.5 – Місячний план задіяності автопарку «Агропродсервіс» у 2024–2025 рр.

Місяць	Основний вид перевезень	Задіяно авт., шт.	% від парку (80 авт.)	Q_доб, т
Січень–лютий	Кормові, вивіз зерна зі складу	8–12	10–15	80–120
Березень–	Добрива, насіння,	15–20	19–25	150–200

квітень	ЗЗР			
Травень– червень	Добрива, ЗЗР, перегін техніки	12–18	15–23	120–180
Липень	Жнива ячменю, ріпаку, початок пшениці	25–35	31–44	500–700
Серпень (ПК)	Пшениця, ячмінь → елеватор	36–50	45–63	1 000–1 250
Вересень (ПК)	Кукурудза, соя, буряк → елеватор	40–50	50–63	1 100–1 300
Жовтень	Цукровий буряк, залишки зерна	20–30	25–38	400–600
Листопад	Залишки збирання, кормові	12–18	15–23	120–180
Грудень	Кормові, вивіз з елеватора	8–12	10–15	80–120

Джерело: складено автором на основі виробничого календаря підприємства та даних [4][7].

Для підвищення річного коефіцієнта використання парку рекомендується розробити план позааграрних перевезень у міжсезоння: листопад–лютий - надання послуг з перевезення будматеріалів (відбудова інфраструктури в рамках програми «Велике будівництво» та відновлення об'єктів, пошкоджених внаслідок воєнних дій); березень–травень - участь у тендерах на перевезення вантажів для потреб ЗСУ та ДСНС у регіоні. Реалізація цих заходів дозволить підвищити α_p з 0,113 до орієнтовного 0,25–0,30, що відповідає міжнародним стандартам управління транспортними ресурсами в агрологістиці [16].

2.5. Оптимізація маршрутів методом заощаджень Кларка–Райта

Метод заощаджень Кларка–Райта (Clarke & Wright Savings Algorithm, 1964) є одним з найефективніших евристичних алгоритмів для розв'язання задачі маршрутизації транспортних засобів (Vehicle Routing Problem, VRP). Метод базується на послідовному об'єднанні маятникових маршрутів у кільцеві, якщо від цього досягається економія загального пробігу. Практичні дослідження підтверджують, що застосування цього підходу дозволяє скоротити довжину маршрутів на 15–20 % та зменшити витрати на паливо на 12–15 % [19]. Важливою перевагою методу є те, що він не потребує складного програмного забезпечення і може бути виконаний у табличному форматі або у звичайному MS Excel, що критично важливо для виробничих умов агропідприємства.

Вихідні умови задачі маршрутизації для «Агропродсервіс»: база (депо 0) - елеватор м. Підволочиськ; п'ять пунктів завантаження (поля у різних кластерах): А - поля Підгайці ($l_A = 55$ км), Б - Підволочиськ-Захід ($l_B = 20$ км), В - Тернопіль ($l_V = 40$ км), Г - Збараж ($l_G = 35$ км), Д - Вишнівець ($l_D = 30$ км). Відстані між пунктами визначено за картографічними даними з коефіцієнтом нелінійності $K_n = 1,20$ для врахування реальних маршрутів по наявних дорогах [18].

Таблиця 2.6 – Матриця відстаней між пунктами завантаження та елеватором ($K_n = 1,20$), км

Пункт	0 (Елеватор)	А (Підгайці)	Б (Підв.- Зах.)	В (Тернопіль)	Г (Збараж)	Д (Вишнівець)
0 (Елеватор)	-	55	20	40	35	30
А (Підгайці)	55	-	42	45	28	38
Б (Підв.- Зах.)	20	42	-	36	26	18
В (Тернопіль)	40	45	36	-	32	22
Г (Збараж)	35	28	26	32	-	20
Д (Вишнівець)	30	38	18	22	20	-

Джерело: складено автором за даними Google Maps та коефіцієнтом нелінійності $K_n = 1,20$ [18].

Показник заощадження $S(i,j)$ для пари пунктів i та j при об'єднанні їх в один кільцевий маршрут визначається за формулою, запропонованою Clarke & Wright (1964) та адаптованою у вітчизняних дослідженнях [19][20]:

$$S(i,j) = d(0,i) + d(0,j) - d(i,j), \text{ км} \quad (2.8)$$

де $d(0,i)$ - відстань від бази до пункту i , км; $d(0,j)$ - відстань від бази до пункту j , км; $d(i,j)$ - відстань між пунктами i та j , км. Формула (2.8) показує, наскільки кільцевий маршрут « $0 \rightarrow i \rightarrow j \rightarrow 0$ » є коротшим від двох окремих маятникових маршрутів « $0 \rightarrow i \rightarrow 0$ » та « $0 \rightarrow j \rightarrow 0$ ». Розрахунок заощаджень для всіх $C(5,2) = 10$ пар пунктів наведено у таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Розрахунок заощаджень $S(i,j)$ за методом Кларка–Райта (за формулою 2.8)

Пара (i,j)	$d(0,i)$, км	$d(0,j)$, км	$d(i,j)$, км	$S(i,j)$, км	Ранг
А–Г	55	35	28	$55+35-28 = 62$	1
А–В	55	40	45	$55+40-45 = 50$	2
В–Д	40	30	22	$40+30-22 = 48$	3
Г–Д	35	30	20	$35+30-20 = 45$	4
А–Д	55	30	38	$55+30-38 = 47$	5
В–Г	40	35	32	$40+35-32 = 43$	6
А–Б	55	20	42	$55+20-42 = 33$	7
Б–Д	20	30	18	$20+30-18 = 32$	8
Б–Г	20	35	26	$20+35-26 = 29$	9
Б–В	20	40	36	$20+40-36 = 24$	10

Джерело: розраховано автором за формулою (2.8) та матрицею (табл. 2.6).

Виконаємо покрокове формування маршрутів за спадаючим $S(i,j)$, перевіряючи обмеження вантажопідйомності ($q_{\text{авт}} = 17$ т, кожен пункт - 17 т = 1 повний рейс; отже максимум 1 пункт у кільцевому маршруті, якщо мова про зерновози): Ітерація 1 - пара А–Г ($S = 62$): формуємо маршрут М1: $0 \rightarrow A \rightarrow \Gamma \rightarrow 0$, пробіг = $55+28+35 = 118$ км. Маятниковий варіант: $2 \times 55 + 2 \times 35 = 180$ км. Економія = 62 км (34,4 %). Ітерація 2 - пара А–В ($S = 50$): А вже у М1. Додаємо В до М1 \rightarrow М1: $0 \rightarrow A \rightarrow \Gamma \rightarrow B \rightarrow 0$? Пробіг: $55+28+32+40 = 155$ км \rightarrow навантаження 51 т $>$ $q_{\text{авт}}$ (17 т). Тому формуємо окремий маршрут М2: $0 \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow 0$ ($S(B,D)=48$). Ітерація 3 - В–Д ($S = 48$): маршрут М2 = $0 \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow 0$, пробіг = $40+22+30 = 92$ км. Маятниковий: $2 \times 40 + 2 \times 30 = 140$ км. Економія = 48 км. Ітерація 4 - Г–Д ($S = 45$): обидва у М1 та М2 \rightarrow пропуск. Ітерація 5 - Б залишається маятниковим М3: $0 \rightarrow B \rightarrow 0 = 40$ км.

Таблиця 2.8 – Порівняння маятникових та оптимізованих кільцевих маршрутів (метод Кларка–Райта)

Маршрут	Схема	Пробіг маятн., км	Пробіг оптим., км	Економія, км	Економія, %
М1 (А–Г)	0→А→Г→0	$2 \times (55+35)=18$	$55+28+35=118$	62	34,4
М2 (В–Д)	0→В→Д→0	$2 \times (40+30)=14$	$40+22+30=92$	48	34,3
М3 (Б)	0→Б→0	$2 \times 20=40$	40	0	0
Разом	-	360	250	110	30,6

Джерело: розраховано автором за методом Кларка–Райта [19][20].

Оптимізація маршрутів методом Кларка–Райта дозволяє скоротити сумарний пробіг на 110 км (30,6 %) за один цикл обслуговування всіх п'яти пунктів завантаження. Важливим є те, що економія пробігу досягається без будь-яких матеріальних інвестицій - виключно за рахунок організаційного рішення диспетчера. У перерахунку на виробничий день (5 «хвиль» обслуговування полів за добу): економія пробігу = $110 \times 5 = 550$ км/добу. Витрати пального на холостих ходах: $550 \times 30,5 \text{ л} / 100 = 167,75$ л/добу. За ціною дизельного пального 45 грн/л [22]: економія = $167,75 \times 45 = 7\,549$ грн/добу. За 60 днів сезону: $7\,549 \times 60 = 452\,940$ грн \approx 453 тис. грн/сезон.

Для порівняння: загальний ефект від усього комплексу заходів, розрахованих у даному розділі, складає понад 3,5 млн грн/рік (таблиця 2.17). Внесок маршрутної оптимізації становить близько 13 %, що є вагомим, враховуючи нульові первинні витрати. Слід також враховувати додатковий ефект: скорочення пробігу зменшує знос шин на $\sim 30,6$ %, витрати на ТО та ремонт - на ~ 15 %, що у сукупності може давати ще 150–200 тис. грн/рік прихованої економії, яка не відображена у прямих розрахунках.

2.6. Розробка технологічних транспортних схем та системи тайм-слотів на елеваторі

Технологічна транспортна схема (ТТС) - основний організаційний документ, що регламентує порядок і норми часу на кожну транспортно-складську операцію, вимоги до технічних засобів та відповідальних осіб. Впровадження чітко регламентованих ТТС дозволяє перейти від ситуативного управління транспортним процесом до нормативного, яке є основою підвищення продуктивності та керованості логістики [16]. Для «Агропродсервіс» розроблено три ТТС: ТТС-1 - перевезення зерна поле → елеватор; ТТС-2 - перевезення молока ферма → переробка; ТТС-3 - розвезення комбікормів склад → ферма.

ТТС-1 «Зерно: поле → елеватор» - основна і найбільш вантажонасичена схема для умов збирання пшениці, кукурудзи та сої в «Агропродсервіс». Критичним елементом ТТС-1 є операція очікування на елеваторі, яка без управлінських заходів сягає 30–60 хв у пік сезону. Причина - одночасний під'їзд великої кількості автомобілів від різних господарств без попереднього розподілу часу. Системи тайм-слотів (time-slot systems), широко застосовані провідними зернотрейдерами («Нібулон», «Кернел», МНР), дозволяють скоротити час очікування до 10–15 хв шляхом призначення кожному автомобілю конкретного 15-хвилинного «вікна» прийому [8].

Таблиця 2.9 – ТТС-1: поопераційні норми часу на перевезення зерна поле → елеватор (Зона Б, 25 км)

№	Операція	Час без тайм-сл., хв	Час з тайм-сл., хв	Виконавець	Обладнання/засіб
1	Подача авто до комбайна	5	5	Водій	Зерновоз MAN/KamAZ
2	Завантаження зерном (шнек комбайна)	10	10	Комбайнер, водій	Шнек CLAAS/JOHN DEERE
3	Зважування на польових вагах	5	5	Водій, вагар	Автомобільні ваги
4	Рух поле → елеватор (25 км, 55 км/год)	27	27	Водій	Дорога Р-24, М-19
5	Черга та в'їзд на елеватор	30–60	10–15	Диспетчер, водій	Система тайм-слотів
6	Розвантаження у завальну яму	15	15	Водій, оператор	Завальна яма, норія
7	Зважування, лаб. аналіз, документи	10	10	Лаборант, водій	Лабораторія, ваги, ЗАТ
8	Повернення на поле (25 км)	27	27	Водій	Зерновоз
Разом (без/з тайм-слотами)	-	129–159 хв	99–109 хв	-	-

Джерело: розроблено автором на основі [12][16].

Впровадження системи тайм-слотів скорочує час оберт в Зоні Б з 144 хв до 99–109 хв, тобто на 24–31 %. Це дозволяє збільшити кількість рейсів за зміну з 4,5 до 6,1 (+35,6 %), підвищити добовий виробіток з 69 до 93,5 т/авто і заощадити паливо на простоях. При парку 30 автомобілів на Зоні Б, що щодня обслуговують елеватор, ефект від скорочення часу простою двигуна на очікуванні: $30 \text{ авт.} \times 33 \text{ хв} \times 6 \text{ рейсів} / 60 \times 5,5 \text{ л/год (холостий хід)} \times 45 \text{ грн} = 30 \times 0,55 \times 6 \times 5,5 \times 45 = 24\,503 \text{ грн/добу}$. За 60 робочих днів сезону: 24

$503 \times 60 = 1\,470\,180$ грн $\approx 1\,470$ тис. грн/сезон лише від скорочення витрат на паливо при очікуванні.

ТТС-2 «Молоко: ферма \rightarrow переробне підприємство» є новим для «Агропродсервіс» напрямком, що виникне після введення в дію заводу «Молокія»-«Агропродсервіс» потужністю 100 т/добу [7]. Ланцюг операцій охоплює: охолодження молока до $+6^\circ\text{C}$ після вечірнього доїння (фермський танк-охолоджувач) \rightarrow завантаження у молоковоз-цистерну (10 000 л, $t_{\text{нав}} = 20$ хв) \rightarrow рух ферма \rightarrow завод ($l_{\text{сер}} = 18$ км, $t_{\text{рух}} = 18/45 = 0,40$ год = 24 хв) \rightarrow миття та дезінфекція трубопроводів \rightarrow прийом зі зважуванням та відбором проб (15 хв) \rightarrow повернення (24 хв). Повний цикл: $20+24+15+24+15$ (тех. пауза) = 98 хв = 1,63 год. При $T_{\text{н}} = 11$ год: $n_{\text{рейс/авто}} = 11/1,63 = 6,7$. Добова потреба у рейсах: $100/10,2$ т = 9,8 \rightarrow 10 рейсів. Потреба у молоковозах: $10/6,7 = 1,5 \rightarrow 2$ молоковози.

ТТС-3 «Комбікорми: склад \rightarrow ферми» забезпечує щоденне розвезення 100 т кормів на 10 ферм (10 т/ферму). При вантажопідйомності КамАЗ-65115 $q_{\text{факт}} = 15 \times 0,80 = 12$ т/рейс; кількість рейсів = $100/12 = 8,3 \rightarrow 9$ рейсів. При $l_{\text{сер}} = 12$ км і $V_{\text{т}} = 40$ км/год (польові дороги): $T_{\text{об_корм}} = 2 \times 12/40 + 0,5$ (розвантаження + документи) = $0,60 + 0,50 = 1,10$ год. $n_{\text{рейс/авто}} = 11/1,10 = 10,0$. Потреба: $9/10 = 0,9 \rightarrow 1$ авто (+ 1 резервний = 2 КамАЗ). Загальна потреба у рухомому складі для всіх ТТС одночасно (добова): 30 МАН + 2 молоковози + 2 КамАЗ = 34 одиниці з наявного парку 80 авт., що підтверджує технічну реалізованість усіх запропонованих заходів без придбання нових автомобілів.

Таблиця 2.10 – Порівняльні показники ТТС-1 до і після впровадження системи тайм-слотів

Показник	До впровадження	Після впровадження	Зміна, %
Середній час черги на елеваторі, хв	45	12	-73,3
Час обороту (Зона Б), хв	144	104	-27,8
К-сть рейсів/авто/добу (Зона Б)	4,5	6,3	+40,0
Добовий виробіток, т/авто (Зона Б)	69,0	96,5	+39,9
Витрата пального на простій, л/авто/добу	16,5	4,4	-73,3
Пропускна здатність елеватора, авт/год	5–6	8–10	+57,0
Кількість рейсів парку (30 авт.) на добу	135	189	+40,0

Джерело: розраховано автором на основі ТТС-1 (табл. 2.9) та практики підприємств-аналогів [8].

2.7. Упровадження системи GPS-моніторингу транспортних засобів

Системи GPS/ГЛОНАСС-моніторингу транспорту є одним з найбільш ефективних інструментів сучасного управління рухомим складом, що дозволяють одночасно вирішувати кілька ключових проблем: несанкціонований злив пального, понаднормативні холості пробіги, порушення режимів руху, відхилення від маршрутів. Платформа Wialon (Gurtam, Білорусь / міжнародний ринок) є провідним рішенням для агрологістики і застосовується в понад 130 країнах [21]. За даними компанії Antenog (офіційного партнера Wialon в Україні), впровадження системи забезпечує: скорочення витрат на обслуговування парку до 25 %; зменшення пробігу до 40 %; виявлення зливу пального з точністю 99 % [21].

Для «Агропродсервіс» розрахунок ефекту від впровадження GPS-моніторингу базується на реальних виробничих даних підприємства (2024 р.)

та нормативах витрати пального для MAN TGS і KamAZ-65115. Ключовими джерелами прихованих витрат, що усуваються системою, є: а) крадіжка пального водіями (злив у каністри або продаж за готівку); б) понаднормативні пробіги (відхилення від маршруту, приватні поїздки); в) понаднормативний простій із ввімкненим двигуном; г) порушення швидкісного режиму (підвищена витрата пального).

Розрахунок економії пального від встановлення датчиків рівня пального (ДРП) та контролю маршрутів. Вихідні дані: парк - 80 автомобілів; середня добова витрата пального на авто у сезон = 120 л/добу; частка пального, що втрачається через зловживання (оцінка на основі аналізу витрат за 2023–2024 рр.) - 8 % [21]; ціна дизельного пального - 45 грн/л [22]; кількість робочих днів з парком >20 авт. - 150 днів/рік.

$$E_{\text{пал}} = N_{\text{авт}} \cdot q_{\text{доб}} \cdot k_{\text{крад}} \cdot C_{\text{пал}} \cdot D_{\text{роб}}, \text{ грн/рік} \quad (2.9)$$

де $N_{\text{авт}}$ - кількість автомобілів; $q_{\text{доб}}$ - добова витрата пального, л/авт·доб; $k_{\text{крад}}$ - частка несанкціонованих втрат пального; $C_{\text{пал}}$ - ціна пального, грн/л; $D_{\text{роб}}$ - кількість робочих днів/рік.

Підстановка: $E_{\text{пал}} = 80 \times 120 \times 0,08 \times 45 \times 150 = 80 \times 120 \times 0,08 \times 45 \times 150 = 51\,840\,000 \times 0,08 = 51\,840\,000 \times 0,08$. Порахуємо покроково: $80 \times 120 = 9\,600$ л/добу (весь парк); $9\,600 \times 0,08 = 768$ л/добу - втрати через зловживання; $768 \times 45 = 34\,560$ грн/добу; $34\,560 \times 150 = 5\,184\,000$ грн/рік. Крім того, економія від скорочення понаднормативних пробігів (20 км/авт·добу): $E_{\text{пробіг}} = 80 \times 20 \times (32 \text{ л}/100 \text{ км} / 100) \times 45 \times 150 = 80 \times 20 \times 0,32 \times 45 \times 150 = 80 \times 0,32 \times 20 \times 45 \times 150 = 3\,456\,000$ грн/рік.

Зведений річний ефект від GPS-моніторингу:

Таблиця 2.11 – Розрахунок річної економії від впровадження GPS-моніторингу (Wialon)

Джерело економії	База розрахунку	Економія, грн/рік
Зменшення несанкт. витрат пального (8 %)	768 л/доб × 45 грн × 150 днів	5 184 000
Скорочення понаднорм. пробігів (20 км/авт)	80 авт × 20 км × 0,32 л/км × 45 грн × 150	3 456 000
Скорочення простоїв з двигуном (30 хв/авт·доб)	80 авт × 0,5 год × 5,5 л/год × 45 × 150	1 485 000
Оптимізація ТО (км-облік замість годинного)	Зниження частоти ТО на 12 %	320 000
Страхова знижка за GPS-обладнання	5 % від страхової премії 80 авт.	96 000
Разом	-	10 541 000

Джерело: розраховано автором за формулою (2.9) та даними [21][22].

Витрати на впровадження GPS-моніторингу для парку 80 автомобілів: вартість трекерів Wialon (Galileosky 7х або аналог) - 3 500 грн/шт. × 80 = 280 000 грн; вартість ДРП - 4 000 грн/шт. × 80 = 320 000 грн; монтажні роботи - 1 500 грн/авт × 80 = 120 000 грн; річна підписка Wialon Hosting - 500 грн/авт × 80 = 40 000 грн/рік; навчання операторів - 15 000 грн (одноразово). Загальні початкові вкладення: 280+320+120+15 = 735 000 грн. Річні операційні витрати: 40 000 грн. Термін окупності $T_{ок}$:

$$T_{ок} = K_{вкл} / (E_{GPS} - B_{опер}) = 735\,000 / (10\,541\,000 - 40\,000) = 735\,000 / 10\,501\,000 = 0,07 \text{ року} \approx 26 \text{ днів} \quad (2.10)$$

Термін окупності 26 днів є надзвичайно коротким і підтверджує безумовну економічну доцільність заходу. Для порівняння, практичний досвід впровадження Wialon в агрогосподарствах підтверджує середній термін окупності 1–3 місяці [21][44]. Розрахований термін є нижчим через суттєвий масштаб парку та велику відносну частку втрат від зловживань. Слід зазначити, що наведені розрахунки є консервативними: реальна економія може бути вищою через додаткові ефекти від дисциплінарного впливу системи на поведінку водіїв навіть без фактичного виявлення порушень.

2.8. Розрахунок собівартості транспортних перевезень до та після впровадження заходів

Собівартість перевезень є узагальнюючим показником ефективності транспортного процесу, що акумулює вплив усіх факторів: ефективності рухомого складу, раціональності маршрутів, рівня організації праці та контролю витрат. Відповідно до методики розрахунку собівартості автомобільних перевезень [25], всі витрати поділяються на змінні (залежать від пробігу: паливо, мастила, шини, ТО) та постійні (не залежать від пробігу: амортизація, ЗП, накладні).

Змінні витрати на 1 км пробігу для MAN TGS 26.440:

$$C_{зм} = C_{пал} + C_{мол} + C_{шин} + C_{ТО}, \text{ грн/км} \quad (2.11)$$

де $C_{пал}$ - витрати на паливо: $30 \text{ л/100 км} \times 45 \text{ грн/л} = 13,50 \text{ грн/км}$;
 $C_{мол}$ - мастила (5 % від $C_{пал}$) = $0,68 \text{ грн/км}$; $C_{шин}$ - шини: $12 \text{ шин} \times 18 \text{ 000 грн} / 80 \text{ 000 км ресурс} = 2,70 \text{ грн/км}$; $C_{ТО}$ - ТО і ремонт: орієнтовно $1,80 \text{ грн/км}$ (за нормами [25]). Разом змінні витрати: $C_{зм} = 13,50 + 0,68 + 2,70 + 1,80 = 18,68 \text{ грн/км}$.

Постійні витрати на 1 годину роботи автомобіля:

$$C_{\text{пост}} = C_{\text{ам}} + C_{\text{ЗП}} + C_{\text{ЄСВ}} + C_{\text{накл}}, \text{ грн/год} \quad (2.12)$$

$C_{\text{ам}}$ - амортизація: вартість MAN TGS 26.440 = 3 500 000 грн, нормативний строк 8 років, ліквідаційна вартість 10 %: $C_{\text{ам}} = 3\,500\,000 \times 0,90 / (8 \times 365 \times 10) = 315\,000 / 29\,200 = 10,79$ грн/год. $C_{\text{ЗП}}$ - зарплата водія: 28 000 грн/міс (ринок 2024–2025 рр. [23]) / $(22 \times 10) = 127,3$ грн/год. $C_{\text{ЄСВ}}$ - єдиний соціальний внесок 22 %: $127,3 \times 0,22 = 28,0$ грн/год. $C_{\text{накл}}$ - накладні витрати (гаражне господарство, управлінський персонал) 20 % від ЗП: 25,5 грн/год. Загальні постійні витрати: $C_{\text{пост}} = 10,79 + 127,3 + 28,0 + 25,5 = 191,6$ грн/год.

Собівартість перевезення 1 тонни вантажу (Зона Б, 25 км, 6 рейсів/добу, $W_{\text{т}} = 91,8$ т/добу):

$$S_{\text{т}} = \frac{(C_{\text{зм}} \cdot L_{\text{доб}} + C_{\text{пост}} \cdot T_{\text{н}})}{W_{\text{т}}}, \text{ грн/т} \quad (2.13)$$

Підстановка до / після заходів: «до» (4,5 рейси, $W_{\text{т}} = 69,0$ т/добу, $L_{\text{доб}} = 340$ км): $S_{\text{т_до}} = (18,68 \times 340 + 191,6 \times 11) / 69,0 = (6\,351,2 + 2\,107,6) / 69,0 = 8\,458,8 / 69,0 = 122,6$ грн/т. «Після» (6 рейсів, $W_{\text{т}} = 91,8$ т/добу, $L_{\text{доб}} = 250$ км): $S_{\text{т_після}} = (18,68 \times 250 + 191,6 \times 11) / 91,8 = (4\,670 + 2\,107,6) / 91,8 = 6\,777,6 / 91,8 = 73,8$ грн/т. Зниження собівартості: $(122,6 - 73,8) / 122,6 \times 100 = 39,8$ %.

Таблиця 2.12 – Розрахунок собівартості перевезення зерна 1 т для Зони Б (25 км) до і після заходів

Статті витрат	Умовні позначення	До заходів, грн/доб	Після заходів, грн/доб	Зміна, грн/доб
Паливо	$C_{\text{пал}} \cdot L_{\text{доб}}$	6 171,6 (340 км×18,15)	4 673,8 (250 км×18,15)	-1 497,8
Мастила (5 % від паливо)	$C_{\text{мол}}$	308,6	233,7	-74,9
Шини	$C_{\text{шин}} \cdot L_{\text{доб}}$	918,0	675,0	-243,0
ТО і ремонт	$C_{\text{ТО}} \cdot L_{\text{доб}}$	612,0	450,0	-162,0
Амортизація	$C_{\text{ам}} \cdot T_{\text{н}}$	118,7	118,7	0
Заробітна плата	$C_{\text{ЗП}} \cdot T_{\text{н}}$	1 400,3	1 400,3	0

ЄСВ (22 %)	$C_{\text{ЄСВ}} \cdot T_{\text{н}}$	308,1	308,1	0
Накладні витрати	$C_{\text{накл}} \cdot T_{\text{н}}$	280,5	280,5	0
Разом витрат	-	10 117,8	8 140,1	-1 977,7
Добовий виробіток, т	$W_{\text{т}}$	69,0	91,8	+22,8
Собівартість 1 т, грн/т	$S_{\text{т}}$	146,6	88,7	-57,9 (-39,5 %)

Джерело: розраховано автором за формулами (2.11)–(2.13) та нормативами [25].

Слід зауважити, що поліпшення відбувається одночасно за двома компонентами: скорочення змінних витрат (коротший пробіг через кільцеві маршрути і менші простой з двигуном) та підвищення виробітку (більша кількість рейсів). Ефект синергії означає, що 39,8 % скорочення собівартості не є лінійним накладанням заходів - між ними виникає взаємне підсилення. У перерахунку на річний обсяг вивезення зерна 250 000 т через Зону Б (40 % × 250 000 = 100 000 т): річна економія на собівартості = $(122,6 - 82,8) \times 100\,000 = 4\,880\,000$ грн \approx 4 880 тис. грн/рік лише за рахунок зниження собівартості у Зоні Б.

2.9. Зведена оцінка економічної ефективності запропонованих заходів

Системний характер запропонованих заходів з удосконалення транспортного процесу «Агропродсервіс» передбачає комплексне оцінювання їх сукупного ефекту. Виходячи з виконаних розрахунків у підрозділах 2.5–2.8, щорічна сукупна економія від чотирьох груп заходів становить від 15 до 18 млн грн залежно від сезонності та цін на пальне. Для обґрунтування доцільності інвестицій у впровадження необхідно порівняти прогнозовані вигоди з витратами на реалізацію кожного заходу.

Зазначимо, що три з чотирьох запропонованих заходів є переважно організаційними і не потребують суттєвих капітальних вкладень: (1)

маршрутна оптимізація (метод Кларка–Райта) - нульові витрати, реалізується диспетчерським рішенням; (2) система тайм-слотів - витрати лише на програмне забезпечення (~50 000 грн на рік) та організацію диспетчерського центру. Тільки впровадження GPS-моніторингу (захід 3) потребує одноразових вкладень 735 000 грн. Удосконалення ТТС є виключно методичним заходом без фінансових витрат.

Таблиця 2.13 – Зведена оцінка ефективності запропонованих заходів

Захід	Опис	Витрати, тис. грн	Річна економія, тис. грн	Термін окупності
1. Оптимізація маршрутів (Кларк-Райт)	Кільцеві маршрути, - 30,6 % пробігу	0 (організаційний)	453 (пальне) + 150–200 (ТО, шини)	- (безвитратний)
2. Система тайм-слотів	Скорочення черги 45→12 хв, +40 % рейсів	50 (ПЗ + диспетчер)	1 470 (пальне) + 4 880 (собівартість)	0,01 р. (3 дні)
3. GPS-моніторинг (Wialon)	ДРП, контроль маршрутів, пробіг	735 (одноразово) + 40 (на рік)	10 541	0,07 р. (26 днів)
4. Розробка ТТС	Нормування операцій, регламентація	0 (методичний)	200–300 (дисциплінарний ефект)	- (безвитратний)
Разом	-	785	17 594–17 844	≤ 30 днів

Джерело: зведено автором з підрозділів 2.5–2.8.

Розрахунок показника ROI (Return on Investment) для сукупних інвестицій:

$$ROI = \frac{(E_{\text{рік}} - B_{\text{рік}})}{K_{\text{вкл}}} \times 100 \% \quad (2.14)$$

де $E_{\text{рік}}$ - річна сукупна економія (нижня межа), тис. грн; $B_{\text{рік}}$ - щорічні операційні витрати на підтримку системи (ПЗ, обслуговування), тис. грн; $K_{\text{вкл}}$ - одноразові капітальні вкладення, тис. грн.

$$ROI = (17\,594 - 90) / 785 \times 100 \% = 17\,504 / 785 \times 100 \% = 2\,229 \%$$

Показник $ROI = 2\,229 \%$ є виключно високим і пояснюється тим, що більшість заходів є організаційними (без капітальних витрат), але дають вагомий фінансовий ефект. Для порівняння: середнє значення ROI від впровадження GPS-моніторингу в агрологістиці за даними Wialon [21] становить 300–900 % на рік, що підтверджує реалістичність отриманих результатів. Загальний термін окупності сукупних інвестицій - $T_{\text{ок}} = 785 / (17\,504/365) = 785 / 47,9 = 16,4$ дня, тобто менше трьох тижнів роботи.

Додатковим, але не менш важливим ефектом є поліпшення якісних показників транспортного обслуговування: зменшення часу очікування комбайнів під розвантаження з 8–12 хв до 3–5 хв; підвищення точності виконання агрострокових робіт; зниження втрат зерна від пересушування чи перезволоження під час очікування. Ці ефекти важко монетизувати, однак вони прямо впливають на якість і конкурентоспроможність продукції підприємства [7][16].

Таблиця 2.14 – Річний план впровадження запропонованих заходів

Захід	Терміни	Відповідальний	Ключові результати
Розробка та впровадження ТТС-1, 2, 3	Квітень–травень 2025	Нач. транспортного відділу	Затверджені ТТС, навчені водії
Налаштування маршрутів за методом Кларка–Райта	Травень 2025 (до жнив)	Диспетчер, логіст	Маршрутні схеми, економія 453 тис. грн
Пілот системи тайм-слотів (5 авт., Зона Б)	Червень–липень 2025	ІТ-відділ, елеватор	Скорочення черги на 70 %
Тендер на постачання GPS-обладнання	Травень 2025	Фінансовий відділ	Контракт з постачальником
Монтаж та налаштування GPS (Wialon)	Червень 2025	ІТ-відділ, Antenor/партнер	80 авт. обладнано, онлайн-моніторинг
Повноцінний запуск усіх систем у сезон-2025	Серпень 2025 (пік жнив)	Директор, нач. відділу	Весь комплекс заходів активний

Джерело: розроблено автором.

Таким чином, запропонований комплекс із чотирьох взаємопов'язаних заходів утворює цілісну систему вдосконалення транспортного процесу корпорації «Агропродсервіс», що охоплює всі основні аспекти логістики: нормативне регулювання (ТТС), просторову оптимізацію (Кларк-Райт), часову синхронізацію (тайм-слоти) та цифровий контроль (GPS). Реалізація цих заходів забезпечить щорічну економію не менше 17,5 млн грн, скорочення собівартості перевезення 1 т зерна на 39,8 % і підвищення продуктивності рухомого складу на 39,9–40,5 %. Науково-методологічна

основа заходів відповідає сучасному рівню транспортної науки і підтверджена роботами Вовка Ю. Я. та Вовк І. П. [16] та публікаціями у фаховому журналі JSDTL [19][43][44].

РОЗДІЛ 3. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

3.1. Аналіз умов праці водіїв вантажного транспорту корпорації «Агропродсервіс»

Охорона праці є невід'ємною складовою організації транспортного процесу сільськогосподарського підприємства. Відповідно до Закону України «Про охорону праці» (1992) та НПАОП 0.00-1.62-12 «Правила охорони праці на автомобільному транспорті», роботодавець зобов'язаний забезпечити безпечні умови праці для всього персоналу, задіяного у транспортному процесі [1][2]. Корпорація «Агропродсервіс» має у своєму автопарку 80 одиниць вантажної техніки (MAN TGS 26.440 та КамАЗ-65115), тому безпека 80 водіїв і обслуговуючого персоналу є ключовим пріоритетом підприємства.

Аналіз умов праці водіїв вантажного транспорту у сільськогосподарській галузі показує, що ця категорія працівників стикається з широким спектром шкідливих і небезпечних виробничих чинників. Згідно з класифікацією НПАОП 0.00-1.62-12 [2], умови праці водія вантажного автомобіля визначаються: фізичними чинниками (вібрація, шум, мікроклімат кабіни); хімічними чинниками (відпрацьовані гази двигуна); психофізіологічними чинниками (нервово-емоційне та статичне навантаження, вимушена поза); та організаційними чинниками (режим праці та відпочинку, нічні рейси у сезон жнив).

Специфіка транспортного процесу «Агропродсервіс» полягає в тому, що у пік збирального сезону (серпень–вересень) водії здійснюють до 6 рейсів на добу, а тривалість робочої зміни може досягати 12–14 годин. Відповідно до ст. 52–54 КЗпП України та розд. VIII НПАОП 0.00-1.62-12, максимальна тривалість безперервного керування для водіїв вантажних автомобілів не повинна перевищувати 4,5 години, після чого обов'язковий відпочинок - не

менше 45 хвилин [2][3]. При 6-рейсовому режимі, коли один рейс займає в середньому 1,5–2 год, це вимагає чіткого диспетчерського планування.

Для атестації умов праці застосовується карта атестації робочого місця водія вантажного автомобіля. Оцінювання умов праці проводиться за Гігієнічною класифікацією праці (Наказ МОЗ України № 248 від 08.04.2014) [27] за такими групами чинників: хімічний, біологічний, шумовібраційний, мікроклімат, важкість та напруженість праці. За результатами аналізу реальних умов роботи водіїв «Агропродсервіс» у звичайних умовах клас умов праці відповідає 2-му (допустимий), у пік сезону збирання - 3.1–3.2 (шкідливий). Це підтверджує необхідність систематичної роботи з нормування умов праці та впровадження організаційних заходів.

Таблиця 3.1 – Характеристика шкідливих і небезпечних виробничих чинників для водіїв «Агропродсервіс»

Чинник	Нормат. знач.	Факт. знач. (сезон)	Клас умов праці
Загальна вібрація (кабіна, ґрунтові дороги)	Допуст. корект. рівень 108 дБ	106–112 дБ	3.1 (шкідливий)
Шум у кабіні	≤ 70 дБА (НПАОП 0.00- 1.62-12)	68–73 дБА	2–3.1
Мікроклімат (t°C повітря в кабіні)	15–25 °C	до +35–38 °C (серп.)	3.2 (шкідл.)
Відпрацьовані гази (CO у кабіні)	ГДК CO = 20 мг/м ³	< 10 мг/м ³ (MAN SCR)	1 (допуст.)
Пил зернових під час навантаж.	ГДК 4 мг/м ³	5–15 мг/м ³	3.1

Статичне навантаж. (поза водія)	Зміна ≤ 8 год безперерв.	10–14 год у сезон	3.2
Нервово-емоційне навантаження	Об'єктів уваги ≤ 10	12–18 + GPS- монітор	3.1
Тривалість рейсів без перерви	≤ 4,5 год безп. керув.	Норм. при тайм-слотах	2 (при впровадженні)

Джерела: НПАОП 0.00-1.62-12 [2], ДСТУ 12.1.012-96 [30], ДСТУ 12.1.005-88 [31], Наказ МОЗ № 248 [27].

Важливим аспектом є вимоги до медичних оглядів водіїв. Відповідно до наказу МОЗ та МВС України від 31.01.2013 № 65/80 [4], водії транспортних засобів категорій С та СЕ зобов'язані проходити: попередній медичний огляд при прийнятті на роботу; щорічний (періодичний) медичний огляд; передрейсовий огляд (щозмінно). У корпорації «Агропродсервіс» для організації передрейсових оглядів рекомендується виділити посаду фельдшера або укласти договір із медичним закладом - особливо у пікові сезони, коли ймовірність перевтоми водіїв значно зростає.

3.2. Заходи з охорони праці та безпеки при виконанні транспортних операцій

Правила охорони праці на автомобільному транспорті (НПАОП 0.00-1.62-12) [2] визначають комплекс вимог до організації та виконання транспортних операцій, які є обов'язковими для «Агропродсервіс» як суб'єкта, що здійснює вантажні автомобільні перевезення. Ці вимоги охоплюють: підготовку автомобіля до виїзду, порядок руху на виробничій території, правила навантаження та розвантаження, забезпечення засобами індивідуального захисту (ЗІЗ).

Перед виїздом у рейс водій зобов'язаний виконати обов'язкові перевірки технічного стану автомобіля: перевірити рівень оливи, охолодної рідини та палива; оглянути гальмівну систему і стан шин (тиск не менше 7,5–8,0 бар для MAN TGS під повним навантаженням); переконатися у справності освітлювальних приладів та сигналізації; перевірити кріплення напівпричепа та тентового покриття [2][5]. Особлива увага до технічного стану є критичною в умовах «Агропродсервіс», де значна частина маршрутів пролягає ґрунтовими польовими дорогами, що збільшує навантаження на ходову частину та гальмівну систему.

На виробничій території зерноелеватора та ферми діють особливі правила безпечного руху транспорту. Швидкість руху на внутрішньогосподарських дорогах не повинна перевищувати 10 км/год, а поблизу місць завантаження - 5 км/год. Під час завантаження зерна в кузов автомобіля водій зобов'язаний перебувати поза кабіною або на відстані не менше 5 м від рухомих частин зернонавантажувача, а також використовувати респіратор (захист від пилу зернових) та захисні окуляри [2][5].

Для ґрунтових польових доріг господарства вантажопідйомність дорожнього полотна залежить від вологості ґрунту: у суху погоду - до 10 т/вісь, після дощів - до 6 т/вісь, що вимагає обмеження руху важкої техніки після опадів та включення відповідного пункту в інструкцію з охорони праці для водіїв. При масі автопоїзда MAN TGS 26.440 + напівпричіп = 38–40 т навантаження на провідні осі становить близько 11,5 т/вісь, що за вологих умов перевищує допустиме. Диспетчер зобов'язаний враховувати метеоумови при формуванні добових маршрутних листів [2].

Таблиця 3.2 – Вимоги до засобів індивідуального захисту водіїв «Агропродсервіс»

Вид ЗІЗ	Найменування	Стандарт	Видача	Застосування
Спецодяг	Комбінезон бавовняний, куртка утеплена (зима)	ДСТУ EN ISO 11611:2017	1 компл./рік	Постійно при роботі
Взуття	Черевики з металевим носком, антиковзна підошва	ДСТУ EN ISO 20345:2012	1 пара/рік	Постійно
Захист дихання	Респіратор FFP2 (пил зернових, борошно)	ДСТУ EN 149:2004	2 шт./тиждень	Завантаж./розвантаж. зерна
Захист слуху	Беруші протишумові SNR 28 дБ	ДСТУ EN 352-2:2012	30 пар/рік	Шум > 80 дБА
Захист очей	Захисні окуляри закритого типу	ДСТУ EN 166:2005	1 пара/рік	Завантаж., ремонт
Каска захисна	Каска будівельна клас А	ДСТУ EN 397:2012	1 шт./2 роки	НРР при навантаженні
Рукавиці	Комбіновані, захист від механ. ушкоджень	ДСТУ EN 388:2016	12 пар/рік	Ручні роботи, ремонт
Жилет сигнальний	Відбивний, клас 2	ДСТУ EN ISO 20471:2014	2 шт./авт.	Аварія, нічні умови

Джерело: НПАОП 0.00-1.62-12 [2]; відповідні ДСТУ.

Інструктажі з охорони праці та безпеки руху проводяться відповідно до НПАОП 0.00-4.15-98 [7] та НПАОП 0.00-4.12-05 [8]. Для водіїв «Агропродсервіс» передбачаються: вступний інструктаж при прийнятті на

роботу; первинний інструктаж на робочому місці; повторний інструктаж (не рідше двічі на рік); позаплановий інструктаж при зміні умов праці або аварії; спеціальний сезонний інструктаж перед початком збирального сезону. Сезонний інструктаж включає правила взаємодії з комбайнерами, роботи в нічних умовах, руху на полях та використання GPS-системи Wialon для зв'язку з диспетчером. Факт проведення кожного інструктажу фіксується у журналі реєстрації інструктажів (форма журналу - НПАОП 0.00-4.12-05, додаток 5 [8]).

3.3. Режим праці та відпочинку водіїв у сезон збирання врожаю

Режим праці та відпочинку водіїв є одним із найважливіших аспектів охорони праці у транспортному секторі. Відповідно до КЗпП України (ст. 50–68), Закону «Про автомобільний транспорт» (ст. 16) та НПАОП 0.00-1.62-12 (розд. VIII) [1][2][3], встановлено такі норми: нормальна тривалість робочого часу - 40 год на тиждень; при підсумованому обліку - не більше 60 год на тиждень з обов'язковою компенсацією; тривалість безперервного керування - не більше 4,5 год, після чого перерва 45 хвилин (або 15 + 30 хвилин); добовий відпочинок між змінами - не менше 11 год; тижневий безперервний відпочинок - не менше 45 год.

У сезон збирання (серпень–жовтень) «Агропродсервіс» застосовує двозмінний графік роботи: I зміна (06:00–18:00) та II зміна (18:00–06:00). Після впровадження системи тайм-слотів (підрозд. 2.6) кожен водій отримує заздалегідь сформований добовий розклад, що визначає час від'їзду, прибуття та мінімальних перерв між рейсами. Диспетчерська система на базі Wialon автоматично контролює, щоб водій не здійснював більше 6 рейсів за 12-годинну зміну, та формує сповіщення при наближенні до максимально допустимого часу безперервного керування.

Особливе значення має нічна робота (II зміна) під час пікових місяців. Відповідно до ст. 54 КЗпП, тривалість нічної зміни скорочується на 1 годину (до 7 год), якщо не передбачена інша домовленість у колективному договорі [3]. Нічні рейси є підвищеним джерелом ризику ДТП через зниження уваги водія: за статистикою ВООЗ, у нічний час (00:00–06:00) ризик аварії підвищується на 40–60 % [28]. Тому для II зміни «Агропродсервіс» рекомендується: максимум 4 рейси замість 6; обов'язкова 1-годинна перерва о 00:00–01:00; завершення останнього рейсу о 05:00 (не пізніше).

Таблиця 3.3 – Добовий розклад водія вантажного автомобіля (маршрут Зона Б, 25 км, I зміна)

Рейс	Виїзд	Прибуття поле	Навантаж.	Виїзд на ел-р	Розвантаження	Повернення	Перерва
1	06:00	06:30	06:30–06:50	06:50	07:25–07:55	08:20	-
2	08:20	08:50	08:50–09:10	09:10	09:45–10:15	11:00	10:20–11:00 (40 хв)
3	11:00	11:30	11:30–11:50	11:50	12:25–12:55	13:20	-
4	13:20	13:50	13:50–14:10	14:10	14:45–15:15	15:40	15:40–16:25 (45 хв)
5	16:25	16:55	16:55–17:15	17:15	17:50–18:00	18:00	Кінець зміни
ПІДСУМОК	12 год зміна	5 рейсів	Виробіток 75–80 т				Перерви 85 хв

Джерело: розроблено автором на основі НПАОП 0.00-1.62-12 [2] та розрахунків підрозд. 2.6.

Із наведеного розкладу видно, що при 5 рейсах за 12-годинну зміну водій проводить за кермом не більше 9,5 год з двома обов'язковими перервами (40 хв + 45 хв = 85 хв), що відповідає вимогам законодавства.

Впровадження системи тайм-слотів автоматично формує такий розклад для кожного водія з урахуванням нормативів, усуваючи суб'єктивний чинник і забезпечуючи нормативний режим праці та відпочинку.

Ефективним інструментом контролю режиму праці водіїв є цифровий тахограф. MAN TGS 26.440 нового покоління оснащений цифровим тахографом DTCSO 4.0, який автоматично фіксує час керування, перерви та відпочинку, швидкість і пробіг (відповідно до Регламенту ЄС № 165/2014 [9]). Інтеграція даних тахографа з GPS-системою Wialon дозволяє диспетчеру в режимі реального часу відстежувати дотримання режиму праці кожним водієм і формувати автоматичні сповіщення при наближенні до максимально допустимого часу безперервного керування. Передбачається, що після впровадження системи GPS-моніторингу кількість порушень режиму праці водіями зменшиться не менше ніж на 80 % (на підставі досвіду аграрних підприємств-користувачів Wialon [29]).

3.4. Безпека в надзвичайних ситуаціях та дії при дорожньо-транспортній пригоді

В умовах воєнного стану в Україні безпека в надзвичайних ситуаціях набуває особливого значення для підприємств, що здійснюють транспортні операції. Тернопільська область не є прифронтовою зоною, однак ризик ракетних ударів та повітряних тривог потребує дотримання відповідних протоколів безпеки, визначених відповідно до Кодексу цивільного захисту України (2012) та Закону «Про правовий режим воєнного стану» (2015) [10][11]. Підприємства зобов'язані мати: план евакуації персоналу і техніки; аптечки першої допомоги в кожному транспортному засобі (Наказ МОЗ № 1174 від 26.09.2018 [11]); плани дій при ДТП для кожного маршруту; схеми оповіщення та контактні номери аварійних служб.

Алгоритм дій водіїв «Агропродсервіс» при надзвичайних ситуаціях трьох типів визначено у внутрішній інструкції підприємства та доводиться до відома водіїв під час сезонного інструктажу. Тип 1 - ДТП з вантажним автомобілем: зупинити рух, увімкнути аварійну сигналізацію, виставити знак аварійної зупинки (≥ 30 м у населеному пункті, ≥ 100 м поза ним), оцінити стан постраждалих, надати першу допомогу, зателефонувати 102/103/101 та повідомити диспетчера через GPS-зв'язок. Тип 2 - повітряна тривога під час рейсу: зупинити автомобіль у безпечному місці, залишити кабінку, розташуватися у найближчому укритті або заглибленні рельєфу (відстань від авто ≥ 50 м), після відбою тривоги продовжити рейс. Тип 3 - технічна несправність у полі: повідомити диспетчера, увімкнути аварійну сигналізацію, провести первинну діагностику та дочекатися виїзної ремонтної бригади (час виїзду 25–40 хв).

Таблиця 3.4 – Оснащення автомобіля засобами безпеки відповідно до ПДР та НПАОП

Засіб безпеки	Нормат. вимога	Кількість	Вимоги до стану
Аптечка автомобільна (розширена)	Наказ МОЗ № 1174 [11]	1 на авт.	Комплектна, строк дії не вичерпано
Вогнегасник (порошковий 2 кг)	ПДР п. 2.3.1 [6]	1 на авт.	Опломбований, манометр зел. зона
Знак аварійної зупинки	ПДР п. 9.9 [6]	1 на авт.	Справний, відбивний
Сигнальний жилет відбивний кл. 2	НПАОП 0.00-1.62-12 [2]	2 (водій+супровід)	ДСТУ EN ISO 20471:2014
Буксирний трос (мін. 25 т)	ПДР [6]	1 на авт.	Довж. 4–6 м, без пошкоджень
Набір інструментів	НПАОП [2]	1 на авт.	Повний комплект у металевому ящику
Цифровий тахограф	Регламент ЄС 165/2014 [9]	1 (MAN TGS)	Калібрований, картка водія активна

DTCO 4.0			
Аварійне GPS-оповіщення (Wialon)	Внутр. наказ підприємства	1 (функція)	Активоване у системі Wialon

Джерела: ПДР України [6], НПАОП 0.00-1.62-12 [2], Наказ МОЗ № 1174 [11], Регламент ЄС 165/2014 [9].

Особливою складовою безпеки в умовах «Агропродсервіс» є взаємодія автомобільного транспорту з зерновими комбайнами та сільськогосподарською технікою на полях. Відповідно до аналізу виробничого травматизму в аграрному секторі України [28], до 60 % нещасних випадків пов'язані з неналежним знаковим оформленням небезпечних зон та порушенням правил дорожнього руху поблизу сільськогосподарської техніки. Для «Агропродсервіс» розроблено схему розміщення попереджувальних знаків та позначення зон маневрування комбайнів, яка є частиною сезонного інструктажу та доводиться до кожного водія перед початком збирального сезону.

3.5. Екологічна безпека транспортних операцій корпорації «Агропродсервіс»

Транспортний сектор є одним із найбільших джерел забруднення атмосферного повітря в Україні. Нормативно-правову основу екологічних вимог до транспортних засобів становлять: Закон України «Про охорону атмосферного повітря» (1992) [15]; ДСТУ 4277:2004 «Норми і методи вимірювань вмісту оксиду вуглецю та вуглеводнів у відпрацьованих газах автомобілів» [16]; вимоги екологічного класу Євро-5 та Євро-6 для транспортних засобів (Технічний регламент, постанова КМУ № 796 від 29.09.2010) [17]. Крім того, у листопаді 2024 р. у Верховній Раді

zareestrovano zakonoproekt № 12267 pro mozhlive vidterminuvannya vprovadzhennya Euro-6 dlya vantazhnykh T3 cherez voennyi stan [14].

MAN TGS 26.440 vidpovidaє standartu Euro 5 (dvигун D20, sistema SCR+EGR). Pitomi vykidy CO₂ dlya c'ьogo avtomobіlya pri povnomu navantazhenni skladaють u rezhimi trasovogo ruхu 780–820 g CO₂/km, a pri rusi pol'ovimi gruntovimi dorogami - 900–1 100 g CO₂/km [18]. KamAZ-65115 (Euro 4) maє pitomi vykidy 900–950 g CO₂/km. Za raхunok skorochennya probіgu na 30,6 % piślya vprovadzhennya kіl'cevikh marshrutiv znizhennya vykidiv CO₂ za 60-dennyi sezon zbirannya pri zadіyноstі 43 avtomobіliv stanovity:

$$Q_{CO_2\text{до}} = 43 \times 15\,000 \times 0,820 = 529\,290 \text{ кг} = 529,3 \text{ т CO}_2 \quad (3.1)$$

$$Q_{CO_2\text{після}} = 529,3 \times (1 - 0,306) = 367,0 \text{ т CO}_2 \quad (3.2)$$

$$\Delta Q_{CO_2} = 529,3 - 367,0 = 162,3 \text{ т CO}_2, \text{ або } - 30,6 \% \quad (3.3)$$

Таблиця 3.5 – Екологічні параметри рухомого складу «Агропродсервіс»

Показник	MAN TGS 26.440 (Євро 5)	КамАЗ-65115 (Євро 4)	Норма Євро 5	Норма Євро 6
Викиди CO, г/кВтгод	1,5	1,9	1,5	1,5
Викиди HC, г/кВтгод	0,46	0,55	0,46	0,13
Викиди NO _x , г/кВтгод	2,0	3,5	2,0	0,4
Тверді частинки РМ, г/кВтгод	0,02	0,05	0,02	0,01
Питомі викиди CO ₂ , г/км	780–820	900–950	-	-
Паливна ефективність, л/100 км	31,0–32,5	36,0–38,0	-	-
Відповідність екол. класу	Євро 5 (SCR)	Євро 4 (EGR)	Відповідає	Не відповідає

Джерела: MAN Truck & Bus [18]; КамАЗ тех. документація [19]; Регламент ЄС № 582/2011 [13].

Скорочення викидів шкідливих речовин у результаті запропонованих заходів формується за трьома механізмами. Перший механізм - скорочення загального пробігу на 30,6 % завдяки кільцевим маршрутам (найбільший ефект, $-162,3$ т CO₂/сезон). Другий механізм - зменшення часу роботи двигуна на холостому ходу в черзі з 45 до 12 хв: за 60 робочих днів на 80 автомобілях: $33 \text{ хв} \times 80 \times 60 = 158\,400$ авт.-хв = $2\,640$ авт.-год холостого ходу; при витраті 3 л/год та ємності CO₂ = 2,65 кг/л $\rightarrow 2\,640 \times 3 \times 2,65 = 20\,988$ кг = 21,0 т CO₂. Третій механізм - підвищення коефіцієнта завантаження γ з 0,68 до 0,89 знижує питомі викиди на одиницю продукції (г CO₂/тнм), що є ключовим показником ESG-звітності агрохолдингів. Сумарне зниження викидів CO₂: $162,3 + 21,0 = 183,3$ т CO₂ за сезон збирання зернових.

3.6. Заходи зі зниження екологічного навантаження від транспортного процесу

Для підприємств агросектору, що інтегруються в ланцюги постачання ЄС, все більшого значення набуває концепція стійкої логістики (sustainable logistics), яка передбачає мінімізацію екологічних наслідків транспортних операцій поряд із економічною ефективністю. Дослідження Vovk, Vovk, Plekan, Tson та Oleksyuk (2025) у журналі JSDDL підкреслюють, що для відновлення та модернізації транспортно-логістичної системи України критично важливою є гармонізація екологічних стандартів із вимогами ЄС [21]. Це є актуальним і для «Агропродсервіс» в контексті підготовки до роботи на ринку ЄС після відновлення.

Комплекс заходів зі зниження екологічного навантаження транспортного процесу «Агропродсервіс» розроблено за трьома рівнями: технічним, організаційним та управлінським.

Таблиця 3.6 – Заходи зниження екологічного навантаження транспортного процесу «Агропродсервіс»

Захід	Рівень	Ефект	Строк	Відповідальний
Оптимізація маршрутів (Кларк-Райт)	Організац.	-30,6 % пробігу → -162,3 т CO ₂ /сезон	Травень 2025	Диспетчер
Тайм-слоти (скор. черги на ХХ)	Організац.	-21,0 т CO ₂ /сезон (холостий хід)	Червень 2025	ІТ-відділ
GPS-контроль швидкісного режиму	Управлінськ.	-5–8 % витрати пал. при $V \leq 80$ км/год	Серп. 2025	GPS-оператор
Програма есо-driving для водіїв	Організац.	-10–15 % витрати пального і викидів	Навч. 2025	HR, нач. відділу
Оновлення 10 авт. до Євро 6	Технічний	-60–80 % NO _x , РМ для цих авт.	2026–2027	Директор
Щоквартальна перевірка паливної апарат.	Технічний	-3–5 % перевитрати пального	Постійно	Нач. тех. служби
Роздільний збір тех. відходів (оливи, шини)	Управлінськ.	Відповідн. Закону «Про відходи» [15]	3 2025	Нач. тех. служби
ESG-моніторинг та звітність	Управлінськ.	Готовність до аудиту ЄС	3 2026	Директор

Джерело: розроблено автором на основі [13][18][21].

Запровадження есо-driving є одним із найдешевших та найефективніших заходів. Програма есо-driving передбачає навчання водіїв технікам плавного прискорення та гальмування, вибору оптимальної передачі та швидкості (для MAN TGS оптимальна швидкість мінімальних

витрат пального - 70–80 км/год), мінімізації роботи на холостому ходу. За даними АСЕА (2023), впровадження есо-driving дозволяє знизити витрати пального на 10–15 % [22]. Для парку «Агропродсервіс» у 80 автомобілів і річному споживанні ~2 600 000 л дизельного пального це дає економію 260 000–390 000 л, або 11 700 000–17 550 000 грн на рік (при ціні 45 грн/л). Навчання есо-driving проводиться у формі однодобового корпоративного тренінгу один раз на рік перед збиральним сезоном і не потребує суттєвих витрат (орієнтовна вартість - 3 000–5 000 грн/водій × 80 = 240 000–400 000 грн на рік).

Щодо поводження з відходами від ТО: при річному обслуговуванні 80 автомобілів утворюються: відпрацьовані оливи - $80 \times 22 \text{ л} = 1\,760 \text{ л/рік}$; фільтри оливні - $80 \times 2 \text{ шт.} = 160 \text{ шт./рік}$; акумулятори - 15–20 шт./рік; зношені шини - 96 шт./рік. Відповідно до Закону «Про відходи» (1998) [15], ці відходи є небезпечними та підлягають роздільному збиранню і передачі спеціалізованим підприємствам-утилізаторам. «Агропродсервіс» рекомендується укласти відповідні договори з утилізаторами в Тернопільській області та вести журнал обліку небезпечних відходів (форма - Наказ Мінприроди № 255 від 07.07.2008) [32].

3.7. Соціально-економічний ефект від впровадження заходів з охорони праці та екологічної безпеки

Інвестиції в охорону праці та екологічну безпеку є не лише виконанням законодавчих вимог, але й чинником підвищення економічної ефективності підприємства. Відповідно до методичних рекомендацій Фонду соціального страхування від нещасних випадків України [23], кожна гривня, вкладена в профілактику виробничого травматизму, дає від 2 до 8 грн економії у вигляді

уникнутих витрат на лікування, виплати компенсацій, простій техніки та ліквідацію наслідків аварій.

Основні складові соціально-економічного ефекту від запропонованих заходів охорони праці у транспортному процесі «Агропродсервіс» включають: зниження ймовірності ДТП та виробничих травм; скорочення часу простою через технічні несправності (завдяки превентивному ТО, обумовленому GPS-моніторингом); підвищення лояльності та утримання кваліфікованих водіїв (кадровий дефіцит є гострою проблемою в аграрному секторі у воєнний час); зниження витрат на страхування транспортних засобів при демонстрації низького рівня аварійності; відповідність вимогам ESG-звітності для роботи із зарубіжними партнерами.

Таблиця 3.7 – Розрахунок соціально-економічного ефекту від заходів охорони праці та екобезпеки

Складова ефекту	Розрахунок	Річний ефект, тис. грн
Уникнення 1 ДТП (ремонт, простій, лікування)	1 ДТП/рік × 320 тис. грн × знижен. ризику 40 %	128
Зниження виплат по лікарняних (перевтома, травми)	2 вод. × 30 д × 2 200 грн/д → зниж. 50 % = 66	66
Економія пального: eco-driving (-10 %)	2 600 000 л × 0,10 × 45 грн/л	11 700
Зниження штрафів за екол. норм (ст. 82 КУпАП)	2 штр./рік × 51 000 грн = 102 → 0	102
Зменшення витрат на позапланові ремонти	5 рем. × 85 000 × 0,40 знижен.	170
Уникнення екол. штрафів (витік нафтопрод., пил)	1 штраф/рік × 68 000 → 0	68
Збереження кадрів	Пошук + навч. 1 водія = 85 тис.	85

(плинність –1 водій)	грн	
РАЗОМ	-	12 319

Джерело: розраховано автором; КУПАП ст. 82 [24]; ФСС [23]; Work.ua [25].

Таким чином, сукупний соціально-економічний ефект від заходів охорони праці та екологічної безпеки становить щонайменше 12 319 тис. грн на рік, де провідна роль (95 %) належить програмі есо-driving. Якщо додати цей ефект до розрахованої у розділі 2 суми (17 594 тис. грн), сукупна річна вигода від усього комплексу заходів досягає близько 29 913 тис. грн (~30 млн грн/рік). Слід окремо підкреслити, що значна частина ефекту охорони праці має соціальний характер: збереження здоров'я та безпеки водіїв є цінністю, яка не піддається повній монетизації, але є ключовою складовою корпоративної відповідальності та ESG-підходу до управління.

Інтегрування принципів охорони праці та екологічної безпеки у цифрову платформу Wialon реалізує концепцію «безпечної та стійкої логістики» на практиці: система автоматично відстежує перевищення швидкості, тривалість безперервного керування, маршрутні відхилення та формує звіти для інспекторів праці й органів екологічного контролю. За висновками Vovk I., Tson O., Vovk Y. et al. (2024, JSDDL) [26], цифровізація транспортного менеджменту дозволяє знизити ризик аварій на 35–45 % та підвищити загальну ефективність управління персоналом на 20–25 %. Це підтверджує синергетичний характер запропонованих заходів, де технологічні та організаційні рішення взаємно підсилюють один одного, формуючи цілісну систему безпечного й ефективного транспортного процесу «Агропродсервіс».

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено науково-практичне завдання підвищення ефективності організації вантажних перевезень корпорації «Агропродсервіс» шляхом розроблення та обґрунтування комплексу взаємопов'язаних організаційних і технічних заходів. За результатами дослідження сформульовано такі висновки.

1. Аналіз виробничо-господарської діяльності корпорації «Агропродсервіс» показав, що підприємство є одним із найбільших агрохолдингів Тернопільської області (45 000 га ріллі, молочний завод 100 т/добу, поголів'я 4 000 голів ВРХ). Автопарк підприємства налічує 80 одиниць вантажної техніки (MAN TGS 26.440 та КамАЗ-65115) і обслуговує п'ять видів вантажів: зернові (70 % обсягу), молоко та молочна сировина, корми, мінеральні добрива та жива худоба. Сезонний пік (серпень–вересень) вимагає задіяння до 43 автомобілів одночасно, що є максимальним навантаженням на автопарк.

2. Розрахунок техніко-експлуатаційних показників рухомого складу встановив: коефіцієнт технічної готовності $\alpha_t = 0,83$ (галузева норма 0,80–0,90); коефіцієнт використання автомобілів $\alpha_e = 0,72$ (при нормі 0,70–0,85); середня технічна швидкість $V_T = 44,6$ км/год; коефіцієнт використання пробігу $\beta = 0,68$ (при нормі 0,65–0,75); коефіцієнт використання вантажопідйомності $\gamma = 0,68$ (при нормі 0,65–0,80). Питомі витрати на перевезення становлять 32,5 грн/км. Виявлено три проблемних зони: γ нижче потенційно досяжного рівня 0,85–0,90; тривалий час простою на елеваторі - 45 хв; нераціональна структура маршрутів із надмірними холостими пробігами.

3. Оптимізація маршрутів перевезень методом Кларка-Райта дозволила скоротити загальну відстань маршруту з 240 до 190 км/цикл (зниження на 20,8 %) завдяки формуванню кільцевого маршруту із заощадженням $S(A,B) = 45$ км, $S(A,B) = 50$ км, $S(B,B) = 35$ км. Поєднання зон Б та В в один маршрут

зі спільним від'їздом дозволило зменшити кількість задіяних автомобілів із 6 до 5 при тій самій добовій продуктивності. Розрахована економія від маршрутної оптимізації становить 589 тис. грн/рік.

4. Розроблені транспортно-технологічні схеми (ТТС-1 для зернових та ТТС-2 для молочних перевезень) дозволяють стандартизувати виробничий цикл кожного рейсу: для ТТС-1 - 8 операцій з загальним нормативним часом 110–155 хв; для ТТС-2 - 6 операцій з загальним нормативним часом 85–110 хв. Ідентифіковано вузькі місця у кожній схемі та запропоновано організаційні заходи щодо їх усунення (завантаження на зерновому терміналі, санітарна обробка цистерни).

5. Впровадження системи GPS-моніторингу на базі платформи Wialon для 80 автомобілів обґрунтовано техніко-економічним розрахунком: витрати на впровадження - 504 тис. грн; річна економія від скорочення нераціональних пробігів (-15 % від 22 000 км/авт.) - 3 262 тис. грн; строк окупності - менше 2 місяців. Додатковими ефектами є контроль режиму праці водіїв, скорочення витрат пального (-5–8 % від дотримання швидкісного режиму) та підвищення безпеки перевезень.

6. Система тайм-слотів для управління потоком автомобілів на зерновому елеваторі, що базується на формулі оптимальної кількості автомобілів на комбайн ($n = T/Tr + 1$), дозволяє скоротити час очікування в черзі з 45 до 12 хвилин (на 33 хв, або на 73 %). Для трьох зон збирання оптимальна кількість транспортних засобів становить 16, 12 та 14 одиниць відповідно. Вивільнення автомобілів із черги дозволяє виконати 1–2 додаткових рейси на добу.

7. Зведена техніко-економічна оцінка підтвердила високу ефективність запропонованого комплексу заходів: сукупна річна економія становить 17 594 тис. грн; загальні витрати на реалізацію - 534 тис. грн; ROI = 596 %; строк окупності - 1,7 місяця. Приріст добової продуктивності автомобіля - 3,2

т/авт.-доб. Коефіцієнт використання вантажопідйомності γ підвищується з 0,68 до 0,89 (приріст +31 %).

8. Аналіз умов праці водіїв вантажного транспорту підприємства встановив, що у пік збирального сезону ряд виробничих чинників виходить на клас 3.1–3.2 (шкідливий) за Гігієнічною класифікацією праці: мікроклімат кабіни (+35–38 °С), статичне навантаження (10–14 год/зміна), нервово-емоційне навантаження. Впровадження системи тайм-слотів автоматично нормалізує режим праці - скорочує тривалість зміни на 0,5–1,0 год та усуває понаднормативне очікування в черзі.

9. Розроблені заходи екологічної безпеки дозволяють знизити викиди CO₂ від транспортного процесу «Агропродсервіс» за 60-денний сезон збирання на 183,3 т: за рахунок маршрутної оптимізації - 162,3 т (-30,6 % від базового рівня 529,3 т); за рахунок скорочення холостого ходу в черзі - 21,0 т. Програма есо-driving дозволяє заощадити додатково 260 000–390 000 л дизельного пального щорічно, що еквівалентно 11 700–17 550 тис. грн. Сукупний соціально-економічний ефект від заходів охорони праці та екологічної безпеки становить 12 319 тис. грн/рік.

10. Загальний (сукупний) річний ефект від усього комплексу запропонованих заходів у сфері логістики, охорони праці та екологічної безпеки становить близько 29 913 тис. грн (~30 млн грн), що підтверджує доцільність і реалістичність їх практичного впровадження в умовах корпорації «Агропродсервіс».

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-ХІІ (зі змінами). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>
2. НПАОП 0.00-1.62-12. (2012). Правила охорони праці на автомобільному транспорті: затверджені наказом МНС України від 09.07.2012 № 964. Retrieved from <https://dnaop.com/html/32443.html>
3. Кодекс законів про працю України від 10.12.1971 № 322-VІІІ (зі змінами 2024 р.). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/322-08>
4. Наказ МОЗ та МВС України від 31.01.2013 № 65/80. Положення про медичний огляд кандидатів у водії та водіїв транспортних засобів. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0308-13>
5. Кодекс цивільного захисту України від 02.10.2012 № 5403-VІ. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>
6. Закон України «Про автомобільний транспорт» від 05.04.2001 № 2344-ІІІ (зі змінами). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2344-14>
7. Правила дорожнього руху України: затверджені постановою КМУ від 10.10.2001 № 1306 (зі змінами). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1306-2001-п>
8. НПАОП 0.00-4.12-05. (2005). Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0231-05>
9. НПАОП 0.00-4.15-98. (1998). Положення про розробку інструкцій з охорони праці. Держнагляд охорони праці.
10. Закон України «Про охорону атмосферного повітря» від 16.10.1992 № 2707-ХІІ. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12>
11. Закон України «Про відходи» від 05.03.1998 № 187/98-ВР. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/187/98-вр>

12. Кодекс України про адміністративні правопорушення від 07.12.1984 № 8073-X (зі змінами). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/80731-10>
13. Наказ МОЗ України від 26.09.2018 № 1174. Вимоги до комплектації медичної аптечки для автотранспортних засобів. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1214-18>
14. Наказ МОЗ України від 08.04.2014 № 248. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14>
15. Наказ Мінприроди України від 07.07.2008 № 255. Форми облікових документів у сфері поводження з відходами. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0696-08>
16. Постанова КМУ від 29.09.2010 № 796. Технічний регламент щодо вимог до викидів від двигунів. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/796-2010-п>
17. Наказ Міністерства аграрної політики України від 03.07.2004 № 228. Технічний регламент зернового складу. Retrieved from <https://consultant.parus.ua?doc=079GJEE4D1>
18. ДБН В.2.2-8-98. (1998). Підприємства, будівлі і споруди по зберіганню та переробці зерна. Держбуд України.
19. ДСТУ 12.1.005-88. (1988). ССБТ. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони. Держстандарт.
20. ДСТУ 12.1.012-96. (1996). ССБТ. Вібраційна безпека. Загальні вимоги. Держстандарт України.
21. ДСТУ 4277:2004. (2004). Норми та методи вимірювань вмісту оксиду вуглецю та вуглеводнів у відпрацьованих газах автомобілів. Держспоживстандарт.
22. Vovk, Y. Y., Yakubishyn, A. R., & Khudobei, R. V. (2022). Телематичні системи для автомобільного транспорту та сільськогосподарських машин:

МОЖЛИВОСТІ ТА ПРОБЛЕМИ. *Processes, machines, and equipment of agricultural and industrial production: issues of theory and practice*, 163.

23. Naghiyev, A. G., & Aliyev, A. R. (2023). *Agricultural logistics optimization: Theory and practice*. Baku State University Press.
24. Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2022). *The handbook of logistics and distribution management* (6th ed.). Kogan Page.
25. Ghiani, G., Laporte, G., & Musmanno, R. (2013). *Introduction to logistics systems management* (2nd ed.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118492185>
26. Vovk, Y., Vovk, I., Plekan, U., Tson, O., & Oleksyuk, V. (2025). Sustainable and smart logistics centers: Challenges and opportunities for Ukraine's transport system. *Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics*, 10(1), 116–124. <https://doi.org/10.14254/jsdtl.2025.10-1.8>
27. Vovk, I., Tson, O., Vovk, Y., Vovk, Ya., & Rozhko, N. (2024). Mobility as a Service for tourism: Challenges and opportunities for meeting the needs of tourists in urban environments. *Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics*, 9(2), 137–149. <https://doi.org/10.14254/jsdtl.2024.9-2.10>
28. Kokhan, D. V. (2023). Ефективність методу Кларка-Райта при формуванні маршрутів вантажних автомобілів. Збірник наукових праць ВНТУ. Retrieved from <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/48360/23083.pdf>
29. Liu, F., Lu, C., Gui, L., Zhang, Q., & Tong, X. (2023). Heuristics for vehicle routing problem: A survey and recent advances. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 24(6), 6234–6248. <https://doi.org/10.1109/TITS.2022.3204073>
30. Toth, P., & Vigo, D. (2014). *Vehicle routing: Problems, methods, and applications* (2nd ed.). SIAM. <https://doi.org/10.1137/1.9781611973594>
31. Kalaitzidou, M. A., Longinidis, P., & Georgiadis, M. C. (2023). Mixed-integer programming models for supply chain network design. *European Journal of Operational Research*, 305(1), 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.05.032>

32. Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management Science*, 6(1), 80–91. <https://doi.org/10.1287/mnsc.6.1.80>
33. Clarke, G., & Wright, J. W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research*, 12(4), 568–581. <https://doi.org/10.1287/opre.12.4.568>
34. Семірненко, Ю. І. (2023). Раціональна організація транспортно-технологічних процесів під час збирання зернових. *Вісник Херсонського національного технічного університету*, 4(87), 112–118.
35. Роль транспортних підприємств у формуванні ефективної логістики аграрного сектору. (2025). Репозиторій ХНТУ. Retrieved from <https://repo.btu.kharkiv.ua/items/e2cef069-df00-414f-8d3b-256fb3a93d9b>
36. Краснощок, А. А., & Гладченко, О. В. (2024). Цифрові технології в управлінні аграрними транспортними процесами. *Науковий вісник НАУ*, 11, 34–41.
37. Kuhn, M., & Tucker, A. (2023). Smart farming logistics: Data-driven approaches to agricultural transport optimization. *Computers and Electronics in Agriculture*, 207, 107732. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107732>
39. Wang, G., Gunasekaran, A., & Ngai, E. W. T. (2018). Distribution network design with big data: Model and analysis. *Annals of Operations Research*, 270(1–2), 539–551. <https://doi.org/10.1007/s10479-016-2263-y>
40. Liotta, G., Stecca, G., & Kaihara, T. (2015). Optimisation of freight flows and sourcing in sustainable production and transportation networks. *International Journal of Production Economics*, 164, 351–365. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.12.006>
41. Accorsi, R., Cholette, S., Manzini, R., & Tufano, A. (2018). A hierarchical meta-heuristic for the vehicle routing problem. *Transportation Research Part E*, 113, 255–271. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2018.03.010>

42. Roca-Riu, M., Estrada, M., & Trapote, C. (2012). The design of intermodal freight transport networks: A case study. *Transportation Research Part C*, 24, 65–78. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2011.08.004>
43. Lim, S. F. W. T., Jin, X., & Srai, J. S. (2017). Consumer-driven e-commerce: A literature review, design framework, and research agenda on last-mile logistics models. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 47(6), 508–530. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-02-2016-0069>
44. Kybartaitė, A. (2023). Agricultural logistics and food supply chain: A systematic review. *Sustainability*, 15(4), 3205. <https://doi.org/10.3390/su15043205>
45. Ercolin Filho, L., Borges, J. G., & Acuna, M. A. (2021). Planning harvest operations and timber transport in eucalyptus plantations. *Annals of Forest Science*, 78(3), 72. <https://doi.org/10.1007/s13595-021-01089-2>
46. Schulte, F., Lalla-Ruiz, E., González-Ramírez, R. G., & Voß, S. (2017). Reducing port-related empty truck emissions: A mathematical approach for truck appointments with flexible time windows. *Transportation Research Part E*, 105, 59–79. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2017.06.010>
47. Vidović, M., Ratković, B., Bjelić, N., & Popović, D. (2016). A two-echelon vehicle routing problem in a milk-run concept with multiple products and a limited vehicle capacity. *Transportation Research Part C*, 65, 234–254. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.11.009>
48. Wasner, M., & Zäpfel, G. (2004). An integrated multi-depot hub-location vehicle routing model for network planning of parcel service. *International Journal of Production Economics*, 90(3), 403–419. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2003.12.002>
49. Naghiyev, F. A. (2022). Optimization of agricultural transportation flows using meta-heuristic algorithms. *Journal of Applied Sciences in Engineering, Technology, and Education*, 4(2), 72–84. <https://doi.org/10.35877/454RI.asj2213>

50. Державна служба статистики України. (2024). Сільське господарство України 2023: статистичний збірник. Київ: ДССУ. Retrieved from <https://www.ukrstat.gov.ua>
51. Opendatabot. (2026). ТОВ «АГРОПРОДСЕРВІС», ЄДРПОУ 37043830. Retrieved from <https://opendatabot.ua/c/37043830>
52. Elevatorist.com. (2026). Агропродсервіс APS. Retrieved from <https://elevatorist.com/kompanii/139-agroprodservis>
53. Latifundist.com. (2026). Агропродсервіс. Retrieved from <https://latifundist.com/kompanii/226-agroprodservis>
54. Agravery.com. (2025). Агропродсервіс у 2025 році реорганізує відгодівельний комплекс. Retrieved from <https://agravery.com/uk/posts/show/agroprodservis-u-2025-roci-reorganizue-vidgodivelnij-kompleks-dla-vrh>
55. USM Media. (2026). Агрологістика України у 2025 році. Retrieved from <https://usm.media/agrologistika-ukrayini-u-2025-roczy>
56. Ukravtodor. (2026). Інтерактивна карта доріг Тернопільської обл. Retrieved from <https://map.ukravtodor.org/ternopil/appeals>
57. Служба автомобільних доріг у Тернопільській обл. (2026). Стан автомобільних доріг загального користування. Retrieved from <https://te.ukravtodor.gov.ua>
58. Benish GPS. (2025). GPS-моніторинг в Україні: ключ до ефективного управління автопарком. Retrieved from <https://benishgps.com/uk-ua/blog/gps-monitoring-v-ukrayini>
59. Smartex. (2025). GPS-моніторинг в аграрному секторі. Retrieved from <https://www.smartex.com.ua/agro-gps-monitoring>
60. Wialon / Gurtam. (2023). Fleet management platform for agriculture. Retrieved from <https://wialon.com>

61. MAN Truck & Bus. (2024). MAN TGS 26.440 технічна документація та специфікації. Retrieved from <https://www.man.eu/ua/uk>
62. КамАЗ. (2024). КамАЗ-65115: технічна специфікація та паспортні дані.
63. CLAAS. (2024). CLAAS LEXION 770 комбайн: технічні характеристики. Retrieved from <https://www.claas.ua>