

Вінницький національний технічний університет

Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

КОТЕНКО ВІКТОРІЯ ІГОРІВНА

УДК 656.135:656.073

ДИСЕРТАЦІЯ
УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ
ДОСТАВКИ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР МЕТОДАМИ МАШИННОГО
НАВЧАННЯ

Спеціальність 275 – «Транспортні технології (на автомобільному
транспорті)»

Галузь знань 27 – «Транспорт»

Подається на здобуття ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ В.І. Котенко

Науковий керівник: Біліченко Віктор Вікторович,
заслужений діяч науки і техніки України,
доктор технічних наук, професор

Вінниця – 2022

АНОТАЦІЯ

Котенко В.І. Удосконалення організації транспортного процесу доставки зернових культур методами машинного навчання – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 275 – Транспортні технології (на автомобільному транспорті) галузь знань 27 – «Транспорт». – Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2022.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної задачі, що полягає у підвищенні ефективності транспортного процесу доставки зернових культур завдяки розробленню моделі та удосконаленню методу, що базуються на використанні методів машинного навчання.

Аналіз науково-технічної літератури, а також вітчизняного та зарубіжного досвіду розробки методів та моделей вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки вантажів дозволив встановити, що існуючі моделі не враховують багатьох явищ та чинників імовірнісної природи, які притаманні процесу доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора. Зокрема, не враховується те, що витрати пального, як основної складової собівартості процесу доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, значною мірою зумовлюються особливостями конкретних замовлень.

Основні наукові та практичні результати полягають в наступному. На основі проведеного аналізу стану теорії та практики організації транспортного процесу під час доставки сільськогосподарської продукції виявлено основні тенденції та сформовано напрями підвищення ефективності транспортного процесу доставки зернових культур. Під час дослідження особливостей процесу доставки зернових культур до елеватора було встановлено, що на транспортний процес впливає множина чинників, серед яких вагомими є: техніко-експлуатаційні, дорожні, погодні та людські. Встановлено, що

основним напрямом удосконалення транспортного процесу доставки зернових культур є зниження витрат пального транспортними засобами.

Проведений аналіз застосування методів машинного навчання під час планування транспортних процесів доставки вантажів та існуючих підходів щодо вибору раціональних транспортних засобів дозволив згрупувати існуючі моделі, виявити їх переваги та недоліки. Встановлено, що під час планування транспортних процесів доставки вантажів найбільш поширеними та достатньо точними є методи машинного навчання, які реалізуються у моделях: GLM узагальненої лінійної регресії, DL глибинного навчання, DT дерева рішень та RF випадкового лісу.

Запропонований підхід до застосування методів машинного навчання для прогнозування витрат пального транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора передбачає виконання 6 етапів та забезпечує обґрунтування чотирьох алгоритмічних моделей машинного навчання, з-поміж яких обирається найточніша. Базовим етапом запропонованого підходу є база даних для прогнозування витрат палива транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, яка формується за результатами попередньо виконаних транспортних процесів із врахуванням виробничих умов.

Обґрунтування раціональної моделі прогнозування витрат пального транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора виконано на підставі запропонованого підходу та виконання машинного навчання. Це дало можливість створити 4 моделі машинного навчання, а саме: модель GLM узагальненої лінійної регресії, модель DL глибинного навчання, модель DT дерева рішень, модель RF випадкового лісу. На підставі порівняння результатів моделювання із використанням запропонованих моделей встановлено, що найбільш точні результати прогнозування витрат пального транспортними засобами під час доставки зернових культур від

сільськогосподарських підприємств до елеватора одержано під час використання моделі RF випадкового лісу на основі агрегації ансамблю з 5 дерев рішень. При цьому абсолютна помилка моделі становить 2,25 л/100км із стандартними відхиленнями $\pm 0,041$, відносною помилкою – 4,6% та загальним часом машинного навчання – 4,8с.

Удосконалений метод вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора передбачає виконання трьох етапів із використанням моделі RF випадкового лісу для прогнозування витрат палива транспортними засобами. Цей метод дозволяє отримати точні результати вибору раціональних транспортних засобів на підставі формування можливих сценаріїв транспортного обслуговування, визначення та порівняння функціональних та вартісних показників використання транспортних засобів у заданих виробничих умовах.

На підставі розроблених методу та алгоритму реалізовано комп'ютерну модель, що виконує вибір раціональних транспортних засобів для наявних замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора за критерієм мінімальної собівартості. Встановлено, що запропонована модель є адекватною та відповідає реальним транспортним процесам доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора. На відміну від існуючих, дозволяє спрогнозувати собівартість транспортування зернових культур та максимально швидко здійснити підбір транспортного засобу для виконання замовлень.

На підставі виконаного моделювання процесу доставки зернових культур транспортними засобами встановлено закономірності зміни питомих витрат палива транспортними засобами від обсягу вантажу під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора та виявлено спільні ознаки щодо використання транспортних засобів. Отримані результати дали можливість виконати групування транспортних засобів та встановити, що для окремої групи транспортних засобів існують свої

співвідношення обсягу вантажу та відстані транспортування, за яких досягається оптимальна собівартість виконання транспортних робіт.

На підставі моделювання транспортного процесу визначено економічний ефект від впровадження запропонованої комп'ютерної моделі вибору раціональних транспортних засобів на прикладі ТОВ «Волинь-Зерно-Продукт» у двотижневий піковий період виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора. Встановлено, що економічний ефект за цей період становить 121,53 тис. грн, який досягається за рахунок як пришвидшення розподілу, так і підбору раціональних транспортних засобів для наявних замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора.

Отримані результати досліджень призначені для використання менеджерами автотранспортних підприємств, які організують доставку зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора. Використання розробленої моделі, удосконаленого методу та на їх основі запропонованої комп'ютерної моделі забезпечує пришвидшення прийняття рішень та підвищення ефективності виконання відповідних транспортних процесів.

У дисертаційній роботі вперше розроблено модель прогнозування витрат палива транспортними засобами під час виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, яка базується на машинному навчанні та використанні сформованої бази даних за результатами попередньо виконаних транспортних процесів із врахуванням виробничих умов.

Удосконалено метод вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора. Цей метод системно враховує особливості організації транспортного процесу та специфіку окремих замовлень, і на відміну від існуючих методів передбачає використання досвіду попередньо реалізованих транспортних процесів, включає особливості виробничих умов

та характеристики доступних транспортних засобів, що забезпечує вибір раціональних транспортних засобів.

Практична цінність отриманих результатів полягає у розробці алгоритму та комп'ютерної моделі, які базуються на запропонованому методі вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, що передбачає використання розробленої моделі прогнозування витрат палива транспортними засобами та забезпечує підвищення якості прийняття рішень, а також ефективності виконання відповідних транспортних процесів.

Ключові слова: транспортний процес, доставка зернових культур, методи машинного навчання, модель GLM узагальненої лінійної регресії, модель DL глибинного навчання, модель DT дерева рішень, модель RF випадкового лісу, витрата палива транспортними засобами, вибір раціонального транспортного засобу.

ABSTRACT

Kotenko V.I. Improving of the grain crops delivery process by machine learning methods – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of philosophy in the direction of preparation 275 – "Transport Technologies (on road transport)" (27 – "Transport"). – Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 2022.

The theses are devoted to solving an actual scientific and applied problem, which is to increase the efficiency of the grain crops delivery process by developing a model and improving the way based on the use of machine learning methods.

The analysis of scientific and technical literature, as well as domestic and foreign experience in the development of methods and models for choosing rational transport for performing orders for the goods delivery has established that the existing models do not take into account many phenomena and factors of a probabilistic nature that are inherent in the grain crops delivery process from agricultural enterprises to the elevator. Particularly, they do not take into account that fuel consumption as the major component of the costs of grain crop delivery from the agricultural enterprises to the grain elevator is greatly determined by the specific production conditions.

The main scientific and practical results are as follows. Based on the analysis of the theory and practice of the transport process organization during the delivery of agricultural products, the main trends were identified and directions for improving the efficiency of the grain crops delivery process were formed. During the study of the peculiarities of the grain crops delivery process to the elevator, it was found that the transport process is influenced by many factors, among which the most important are: technical and operational, road, weather and human. It is established that the main direction of improving the grain crops delivery process is to reduce fuel consumption by vehicles.

The analysis of the application of machine learning methods in the planning of transport processes for the goods delivery and existing approaches to the selection

of rational vehicles allowed to group existing models, identify their advantages and disadvantages. It is established that in the planning of transport processes of the goods delivery, the most common and sufficiently accurate are machine learning methods that are implemented in models: GLM generalized linear regression, DL deep learning, DT decision tree and RF random forest.

The proposed approach to the application of machine learning methods for predicting fuel consumption by vehicles during the grain crops delivery from agricultural enterprises to the elevator involves the implementation of 6 stages and provides a justification for four algorithmic models of machine learning, among which the most accurate is selected. The basic stage of the proposed approach is a database for predicting fuel consumption by vehicles during the grain crops delivery from agricultural enterprises to the elevator, which is formed based on the results of previously performed transport processes, taking into account production conditions.

A justification of a rational model for predicting fuel consumption by vehicles during the grain crops delivery from agricultural enterprises to the elevator was performed on the basis of the proposed approach and machine learning. This made it possible to create 4 machine learning models, namely: GLM model of generalized linear regression, DL model of deep learning, DT model of decision tree, RF model of random forest. Based on the comparison of the simulation results using the proposed models, it was found that the most accurate results of predicting fuel consumption by vehicles during the grain crops delivery from agricultural enterprises to the elevator were obtained using the RF random forest model based on the aggregation of an ensemble of 5 decision trees. The absolute error of the model is 2.25 l/100km with standard deviations of ± 0.041 , relative error - 4.6% and total machine learning time - 4.8s.

An improved method of selecting rational transport for performing orders for the grain crops delivery from agricultural enterprises to the elevator involves the implementation of three stages using the RF random forest model for predicting fuel consumption by vehicles. This method allows to obtain accurate results of the choice

of rational vehicles based on the formation of possible scenarios of transport service, determination and comparison of functional and cost indicators of the use of vehicles in defined production conditions.

On the basis of the developed method and algorithm, a implemented computer model performs the selection of rational transports for existing orders for the grain crops delivery from agricultural enterprises to the elevator according to the criterion of minimum cost. It is established that the proposed model is adequate and corresponds to the real transport processes of grain crops delivery from agricultural enterprises to the elevator. Unlike the existing ones, it allows to predict the cost of transportation of grain crops and to select a vehicle for the execution of orders as quickly as possible.

Based on the modeling of the grain crops delivery process, the patterns of changes in specific fuel consumption by vehicles from the volume of cargo during the grain crops delivery from agricultural enterprises to the elevator were established and common features of the use of vehicles were identified. The obtained results made it possible to group the vehicles and to establish that for a separate group of vehicles there are their own ratios of cargo volume and transportation distance, at which the optimal cost of transportation work is achieved.

Based on the modeling of the transport process, the economic effect of the implementation of the proposed computer model for the selection of rational vehicles on the example of LLC "Volyn-Zerno-Product" during the two-week peak period of orders for the grain crops delivery from agricultural enterprises to the elevator is determined. It is established that the economic effect for this period is 121.53 thousand UAH, which is achieved by both accelerating the distribution and selection of rational vehicles for performing orders for the grain crops delivery from agricultural enterprises to the elevator.

The obtained research results are intended for use by managers of transport enterprises that organize the grain crops delivery from agricultural enterprises to the elevator. The use of the developed model, the improved method and on their basis

the proposed computer model provide the acceleration of decision-making and increase the efficiency of the relevant transport processes.

In the theses, for the first time, a model for predicting fuel consumption by vehicles during the execution of orders for the grain crops delivery from agricultural enterprises to the elevator is developed, which is based on machine learning and the use of the formed database formed on the results of previously performed transport processes, taking into account production conditions.

The method of selecting rational vehicles for the performing orders for the grain crops delivery from agricultural enterprises to the elevator has been improved. This method systematically takes into account the peculiarities of the organization of the transport process and the specifics of individual orders, and unlike existing methods involves the use of experience of previously implemented transport processes, includes features of production conditions and characteristics of available vehicles, which ensures the selection of rational vehicles.

The practical value of the obtained results lies in the development of an algorithm and a computer model based on the proposed method of selecting rational vehicles for the performing orders for the grain crops delivery from agricultural enterprises to the elevator, which involves the use of the developed model for predicting fuel consumption by vehicles and ensures improved decision-making and efficiency of the relevant transport processes.

Keywords: transport process, grain crops delivery, machine learning methods, GLM generalized linear regression model, DL deep learning model, DT decision tree model, RF random forest model, fuel consumption by vehicles, choice of rational vehicle.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у фахових виданнях України:

[1] В. Біліченко, В. Котенко, «Підходи до моделювання попиту на вантажні перевезення у зерновій логістиці», *Вісник машинобудування та транспорту*, № 2, С.4-9, 2019. DOI: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2019-10-2-4-9>.

[2] В. Котенко, «Особливості формування попиту у моделюванні ланцюгів поставок зернових культур», *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. Том 2, №15, С.35-41, 2020. DOI: <https://doi.org/10.36910/automash.v2i15.390>.

[3] V. Kotenko, «Development of the grain crops supply chain model», *Вісник машинобудування та транспорту*, 14(2), С.33-37, 2021. DOI: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2021-14-2-33-37>.

[4] В. Котенко, «Алгоритмічні моделі машинного навчання для прогнозування витрат пального транспортними засобами під час доставки зернових культур», *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*, Вип. 6 (37), ч. 1, С.173-182, 2022. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).1.173-182](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).1.173-182)

[5] В. Котенко, «Факторний аналіз функціональних та вартісних показників транспортного процесу доставки зернових культур», *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*, Том 2, №19, С.89-96, 2022. DOI: <https://doi.org/10.36910/automash.v2i19.907>

[6] V. Kotenko, «Application of algorithmic models of machine learning to the freight transportation process», *Transport Technologies*, Volume 3, Number 2, P.10-21, 2022.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

[7] В. Мялковська, «Аналіз критеріїв ефективності вантажовласників при плануванні діяльності», *Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (2019)*,

Вінниця, 2019. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2019/paper/view/7756>

[8] В. Біліченко, В. Мялковська, «Аналіз показників оцінки попиту на транспортне обслуговування вантажовласників при плануванні діяльності транспортних підприємств», *Матеріали I Міжнародної науково-технічної конференції “Перспективи розвитку машинобудування та транспорту – 2019” 13 – 15 травня 2019 р.): Збірник доповідей*, Вінниця: ВНТУ, 2019. С.159-160.

[9] В. Біліченко, В. Мялковська, «Аналіз моделей попиту на вантажні перевезення у зерновій логістиці», *Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» 21-23 жовтня 2019.: Збірник доповідей*, Вінниця, 2019. С.13-16.

[10] В. І. Котенко, «Особливості побудови моделей ланцюгів поставок зернових культур», *Тези Всеукраїнської науково-практичної on-line конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, присвяченої Дню науки 11-15 травня 2020 р.* Житомир, 2020, С.45.

[11] В. І. Котенко, «Фактори, що впливають на структуру логістичного ланцюга постачання зернових культур», *Матеріали L Науково-технічної конференції факультету машинобудування та транспорту*, Вінниця, 2021. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2021/paper/view/12326>

[12] В. І. Котенко, «Моделювання логістичних процесів при транспортуванні зернових культур», *Матеріали Четвертої Всеукраїнської науково-теоретичної конференції «Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв’язання», 25 – 26 березня 2021 року: Тези доповідей*, Львів, 2021, С. 88-89.

[13] В.І. Котенко, «Формування моделі ланцюга постачання зернових культур», *Матеріали XIV міжнародної науково-практичної конференції*

«Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 25-27 жовтня 2021 року, Вінниця, ВНТУ, 2021, С.117-119.

[14] В.І. Котенко, «Обґрунтування доцільності застосування штучних нейронних мереж для моделювання транспортного процесу постачання сільськогосподарської продукції», *Матеріали X-ої міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту»*, 14-15 квітня 2022 року: збірник наукових праць, Вінниця, 2022, С.172-174.

[15] В. Котенко, «Розробка моделі штучної нейронної мережі для транспортування сільськогосподарської продукції». в *НТКП ВНТУ. Факультет машинобудування та транспорту. Матеріали LI Науково-технічної конференції факультету машинобудування та транспорту*, 31 травня 2022 року, Вінниця, С.2472-2474. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2022/paper/view/16138>

[16] В. Котенко, «Підвищення ефективності організації транспортного процесу доставки сільськогосподарської продукції», *Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей: матеріали VII міжнарод. наук.-прак. конф*, Луцьк, 2022, С. 40-42.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	17
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ПЛАНУВАННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР В ТЕОРІЇ ТА ПРАКТИЦІ.....	24
1.1 Сучасний стан та проблеми організації транспортного процесу під час доставки зернових культур.....	24
1.2 Аналіз застосування алгоритмічних моделей машинного навчання під час доставки вантажів	30
1.3 Аналіз існуючих підходів щодо вибору раціональних транспортних засобів	44
1.4 Розроблення основних завдань дослідження.....	54
1.5 Висновки до першого розділу	57
РОЗДІЛ 2 ПЛАНУВАННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР НА ОСНОВІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ПІДХОДУ	59
2.1 Особливості процесу доставки зернових культур до елеватора.....	59
2.2 Формування попиту та особливості моделювання процесу доставки зернових культур до елеватора.....	66
2.3 Інтелектуальний підхід до прогнозування витрат пального транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора	74
2.4 Обґрунтування даних для прогнозування витрат палива транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора	78
2.5 Висновки до другого розділу.....	95
РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ВИТРАТ ПАЛЬНОГО ТРАНСПОРТНИМИ ЗАСОБАМИ ПІД ЧАС ДОСТАВКИ ЗЕРНОВИХ	

КУЛЬТУР ВІД СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВ ДО ЕЛЕВАТОРА.....	97
3.1 Обґрунтування алгоритмічних моделей машинного навчання для прогнозування витрат пального транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора	97
3.1.1 Модель GLM узагальненої лінійної регресії	99
3.1.2 Модель DL глибинного навчання.....	103
3.1.3 Модель DT дерева рішень.....	106
3.1.4 Модель RF випадкового лісу	108
3.2 Обґрунтування раціональної моделі прогнозування витрат пального транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора	112
3.3 Висновки до третього розділу	114
РОЗДІЛ 4 МЕТОД, КОМП'ЮТЕРНА МОДЕЛЬ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ЗАМОВЛЕНЬ ІЗ ДОСТАВКИ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ВІД СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВ ДО ЕЛЕВАТОРА.....	117
4.1 Метод вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора	117
4.2 Алгоритм та комп'ютерна модель вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора	127
4.3 Результати моделювання використання транспортних засобів під час виконання замовлень із доставки зернових культур	137

4.4 Економічний ефект від впровадження моделі вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора	152
4.5 Висновки до четвертого розділу.....	161
ВИСНОВКИ	163
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	167
ДОДАТКИ	185

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження.

Зростання попиту на сільськогосподарську продукцію у світі сприяє розвитку аграрної галузі України. Перед суб'єктами ринку сільськогосподарської продукції постає проблема підвищення ефективності доставки вантажів на етапі перевезення «поле/склад– елеватор».

При цьому однією із специфічних задач, яку вирішують автотранспортні підприємства, що займаються доставкою сільськогосподарської продукції, є вибір раціональних транспортних засобів для виконання існуючих замовлень. Вирішення цього завдання має свої особливості, порівняно із задачами, що стосуються доставки інших видів вантажів.

З року в рік інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень у автотранспортних логістичних системах набувають більшого застосування. Проведений аналіз існуючих досліджень засвідчив наявність фундаментальних праць у напрямку використання обчислювального інтелекту із застосування методів машинного навчання для розуміння функціональності та розширення можливостей вантажних перевезень, ланцюгів постачання та логістичних систем, проте що стосується розроблення інтелектуальних систем вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, то такі дослідження відсутні.

Задачі вибору транспортних засобів для виконання замовлень із доставки переважно вирішуються менеджерами інтуїтивно, що призводить до прийняття не завжди раціональних рішень. Окрім того, транспортні процеси доставки зернових культур відрізняються своєю специфікою, яка описується множиною чинників. Переважно їх ідеалізують та не враховують через необхідність виконання трудомістких розрахунків.

Розв'язання науково-прикладної задачі прогнозування витрат палива транспортними засобами під час доставки зернових культур від

сільськогосподарських підприємств до елеватора можливе на підставі створення узагальненої моделі із врахуванням виявлених чинників. Оскільки методи машинного навчання забезпечують виявлення складних взаємозв'язків між підготовленими даними, розробка методу вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора із застосуванням машинного навчання є актуальною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Задача удосконалення організації транспортного процесу доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора належить до напрямів наукової роботи кафедри автомобілів і транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету та відповідає Національній транспортній стратегії України до 2030 року, схваленій Кабінетом Міністрів України № 430-р від 30 травня 2018 р., а також Концепції Державної цільової програми розвитку аграрного сектору економіки на період до 2022 року від 30 грудня 2015 р. № 1437-р із змінами, внесеними згідно з Розпорядженнями Кабінету Міністрів № 102-р від 14.02.2018, № 254-р від 17.04.2019.

Мета і завдання дослідження.

Мета дисертаційної роботи полягає в удосконаленні організації транспортного процесу доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора методами машинного навчання з урахуванням функціональних та вартісних показників виконання замовлень.

Для досягнення мети роботи необхідно вирішити наступні *завдання*:

1. Проаналізувати теоретичні засади та практичні особливості організації транспортного процесу доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, а також провести дослідження застосування алгоритмічних моделей машинного навчання під час доставки вантажів та існуючих підходів щодо вибору раціональних транспортних засобів.

2. Провести обґрунтування даних для прогнозування витрат палива транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора.

3. Обґрунтувати раціональну модель прогнозування витрат пального транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора.

4. Удосконалити метод вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, що базується на обґрунтованій моделі прогнозування витрат палива транспортними засобами.

5. Розробити алгоритм та комп'ютерну програму, які базуються на розробленому методі та обґрунтованих моделях, а також із їх використанням виконати моделювання процесу доставки зернових культур транспортними засобами.

6. Визначити економічний ефект від застосування методу та комп'ютерної моделі вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора.

Об'єктом дослідження є транспортний процес доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Предметом є закономірності зміни параметрів транспортного процесу доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора залежно від особливостей його організації.

Методи дослідження – використання теорії транспортних процесів, математичної статистики, математичного моделювання, методів машинного навчання, методу ієрархічного кластерного аналізу та комп'ютерного експерименту. Дослідження виконувалися із застосуванням сучасного програмного забезпечення, а також із використанням прикладних пакетів програм STATISTICA, MATLAB, електронні таблиці Mito. Для виконання моделювання та оптимізаційних розрахунків розроблено прикладне

програмне забезпечення на мові Python 3.9 із використанням бібліотеки Scikit-Learn.

Наукова новизна одержаних результатів:

– вперше розроблено модель прогнозування витрат палива транспортними засобами під час виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, яка базується на машинному навчанні та використанні сформованої бази даних за результатами попередньо виконаних транспортних процесів із врахуванням виробничих умов;

– удосконалено метод вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, що передбачає виконання трьох етапів із використанням моделі RF випадкового лісу для прогнозування витрат палива транспортними засобами; цей метод системно враховує особливості організації транспортного процесу та специфіку окремих замовлень, і на відміну від існуючих методів передбачає використання досвіду попередньо реалізованих транспортних процесів, включає особливості виробничих умов та характеристики доступних транспортних засобів, що забезпечує вибір раціональних транспортних засобів.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробці алгоритму та комп'ютерної моделі, які базуються на запропонованому методі вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, що передбачає використання розробленої моделі прогнозування витрат палива транспортними засобами та забезпечує підвищення якості прийняття рішень, а також ефективності виконання відповідних транспортних процесів.

Результати досліджень апробовані у практичній діяльності ТОВ «Волинь-Зерно-Продукт», що дозволило знизити витрати на перевезення зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора. Матеріали

дисертаційної роботи впроваджені у навчальному процесі Вінницького національного технічного університету, а саме: при викладанні дисциплін «Вантажні перевезення» та «Основи теорії транспортних процесів і систем», а також Луцького національного технічного університету, зокрема, результати використовуються у лекціях, практичних заняттях з дисциплін «Сучасні транспортні технології» та «Управління ланцюгом постачань» для студентів спеціальності 275 «Транспортні технології».

Апробація основних теоретичних і практичних результатів дисертації на підприємстві та в організаціях підтверджується відповідними актами про впровадження.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати досліджень за темою дисертаційної роботи здобувачем отримані самостійно. Внесок автора в опублікованих наукових працях: досліджено підходи до моделювання попиту на вантажні перевезення у зерновій логістиці [1] (нумерація згідно додатку I), обґрунтовано формування попиту та особливості моделювання процесу доставки зернових культур до елеватора аналіз моделей попиту [2], актуалізовано модель ланцюга постачання зернових культур [3], систематизовано методи та моделі машинного навчання у вантажних перевезеннях, зокрема для прогнозування витрати палива [6], проведено порівняльний аналіз результатів прогнозування витрат пального транспортними засобами з використанням методів машинного навчання, які реалізовано у моделях: DT дерева рішень та RF випадкового лісу [4], виявлено взаємозв'язки між функціональними та вартісними показниками транспортного процесу доставки зернових культур та сформовано рекомендації щодо використання доступних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора [5].

У роботі [7] проведено аналіз критеріїв ефективності вантажовласників при плануванні діяльності, у роботах [8; 9] досліджено показники оцінки та моделей попиту на вантажні перевезення у зерновій логістиці, у роботі [10]

проаналізовано моделі ланцюгів поставок з метою отримання основних показників процесу вантажних перевезень, у роботі [11] обґрунтовано основні тенденції у аграрній галузі України та виокремлено фактори, які впливають на прийняття рішень фермерським господарством щодо структури логістичного ланцюга постачання зернових культур, у роботі [12] актуалізовано можливі сценарії транспортування зернових культур від фермерського господарства, у роботі [13] обґрунтовано процес доставки зернових культур як системи, у роботі [14] обґрунтовано застосування штучних нейронних мереж для моделювання транспортного процесу постачання сільськогосподарської продукції, у роботі [15] розроблено модель штучної нейронної мережі у вигляді блок-схеми для оперативного планування транспортного процесу перевезення сільськогосподарських вантажів, у роботі [16] запропоновано основні напрями підвищення ефективності організації транспортного процесу доставки сільськогосподарської продукції.

Апробація матеріалів дисертації. Результати дисертаційного дослідження пройшли апробацію на всеукраїнських та міжнародних конференціях: XLVIII науково-технічній конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (м. Вінниця, 13 – 15 березня 2019 р.); I Міжнародній науково-технічній конференції «Перспективи розвитку машинобудування та транспорту – 2019» (м. Вінниця, 13 – 15 травня 2019 р.); XII Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» (м. Вінниця, 21 – 23 жовтня 2019 р.); Всеукраїнській науково-практичній on-line конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, присвяченої Дню науки (м. Житомир, 11 – 15 травня 2020 р.); L – LI науково-технічних конференціях факультету машинобудування та транспорту (м. Вінниця, 2021 – 2022 рр.); LI науково-технічній конференції факультету машинобудування та транспорту (м. Вінниця, 31 травня 2022 р.); Четвертій Всеукраїнській науково-теоретичній конференції «Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв’язання» (м. Львів, 25 – 26 березня 2021 р.); XIV Міжнародній науково-практичній

конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» (м. Вінниця, 25 – 27 жовтня 2021 р.); X Міжнародній науково-технічній інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту» (м. Вінниця, 14-15 квітня 2022 р.); VII Міжнародній науково-практичній конференції «Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей» (м. Луцьк, 14-16 червня 2022 р.); XIII Міжнародній конференції «Transportation Science and Technology» (м. Вільнюс, Литва, 15 – 16 вересня 2022 р.).

Публікації. За матеріалами дисертаційного дослідження опубліковано 15 праць: 6 наукових статей у фахових виданнях України [1-6], а також 10 праць апробаційного характеру [7-16].

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 150 сторінок основного тексту. Список використаних джерел налічує 149 найменувань. Текст ілюструється 43 рисунками та містить 15 таблиць.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ ПЛАНУВАННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР В ТЕОРІЇ ТА ПРАКТИЦІ

1.1 Сучасний стан та проблеми організації транспортного процесу під час доставки зернових культур

Підвищення попиту на сільськогосподарську продукцію у світі сприяє розвитку аграрної галузі України. Перед суб'єктами ринку сільськогосподарської продукції постає проблема підвищення ефективності доставки вантажів, як на етапі перевезення «поле – склад/елеватор», так і «елеватор – підприємство-виробник готової продукції».

Проведений аналіз на основі офіційної статистичної інформації [1] обсягів перевезення сільськогосподарських вантажів за 2017-2021 роки дозволив встановити, що найбільші обсяги вантажу транспортуються залізничним транспортом. При цьому автомобільний транспорт посідає друге місце у структурі та із Рисунок 1.1 бачимо тенденцію до зростання обсягів перевезення саме цим видом транспорту.

Активний розвиток аграрного сектору в Україні, зокрема вирощування зернових культур, сприяє активізації його суб'єктів. Сьогодні ми бачимо не лише розвиток агрохолдингів, а й значну частку фермерських господарств (рис. 1.2). Так, станом на 1 липня 2021 року кількість фермерських господарств становить 48,4 тис., що менше, ніж у 2013 році – 49,1 тис. (рекордна кількість фермерів в Україні). Проте з 2015 по 2021 рік спостерігається лише позитивна динаміка зростання господарств, загалом на 11% [2].

Разом із розвитком фермерства в Україні перед аграріями постає проблема вибору місця для зберігання продукції, виду транспорту, виду зерна та нових технологій збирання врожаю. Усі ці фактори, як окремо, так і в сукупності, впливають на рентабельність господарства. Тому раціональна

оцінка витрат, які беруть участь у ланцюзі поставок зернових продуктів, має практичне значення і становить інтерес для господарства.

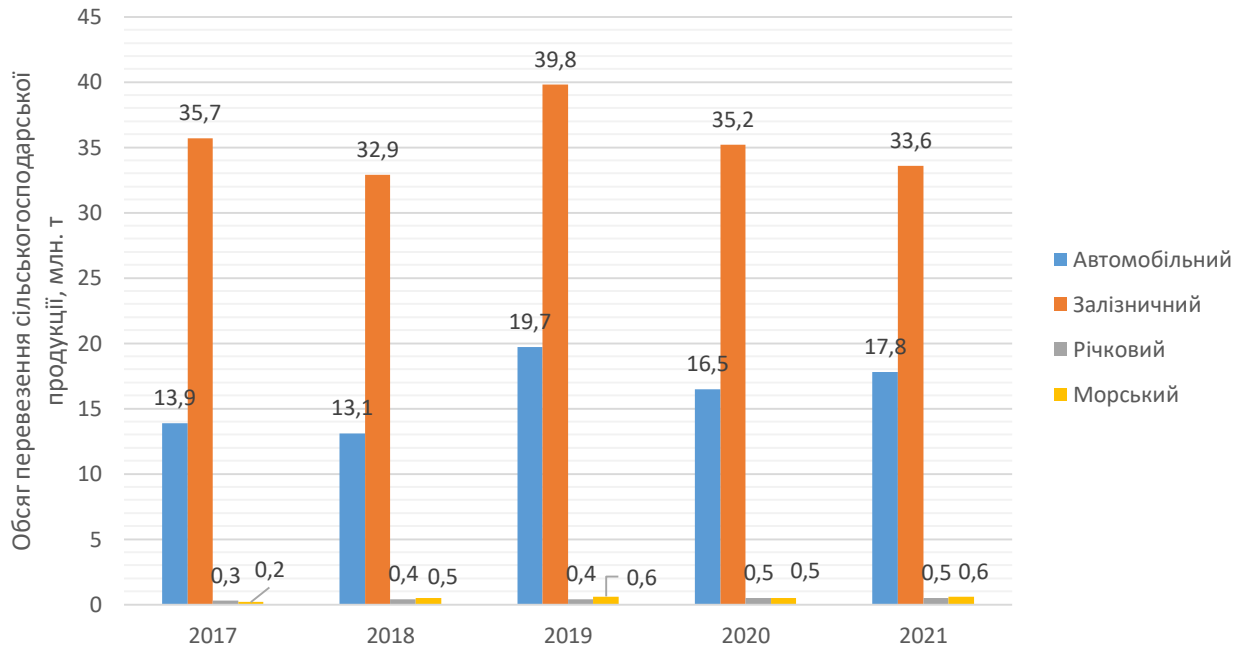


Рисунок 1.1 – Обсяги внутрішніх перевезення сільськогосподарської продукції (за видами транспорту)

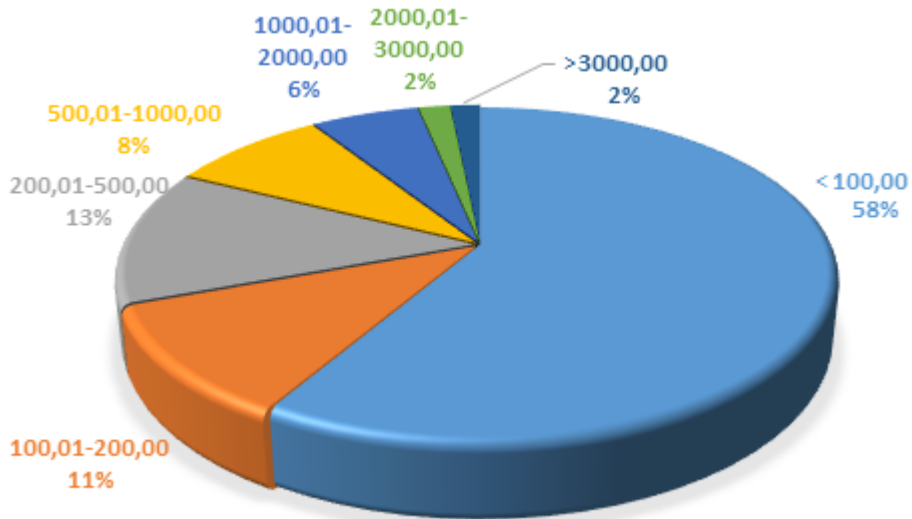


Рисунок 1.2 – Групування підприємств за обсягом зібраної площі (га) зернових культур у 2020 р.

Розглянувши основні тенденції в аграрному секторі України, які прямо чи опосередковано впливають на діяльність сільськогосподарського підприємства, необхідно виділити наступне:

1. Вплив агрохолдингових компаній

Аграрна промисловість України характеризується наявністю агрохолдингів. Хоча агрохолдинги обробляють лише 10% орних земель, їхній політичний вплив поширюється на всю країну. Вихід на нові експортні ринки, будівництво елеваторів, поступове скуповування орендованої землі, прагнення мінімізувати залучення працівників та закупівлю сучасного обладнання – усі ці явища притаманні українським агрохолдингам [3].

2. Врожайність зернових культур.

Збільшення індексу врожайності зерна з 27,4 ц/га до 42,9 ц/га [4], що можна пояснити використанням високопродуктивних видів зерна, а також поєднанням кращих видів і домінуючих систем землеробства в сільському господарстві. У розрізі зернових культур спостерігаємо таку картину: врожайність пшениці виросла на 39,1%, ячменю – 60,2%, жита – 93,8%. Більші врожаї вимагають більших вимог до послуг та інфраструктури в логістичних ланцюгах поставок зерна: зберігання зерна на фермі, транспортування, зберігання зерна в країні, зберігання зерна та перевалка в портах.

3. Використання сучасної збиральної техніки

Поєднання підвищення врожайності та обсягів вирощування зернових стимулює аграріїв використовувати більш ефективну збиральну техніку. Підвищення ефективності збирально-транспортного комплексу дозволяє скоротити тривалість збирання врожаю, що в свою чергу може призвести до додаткових витрат на зберігання зерна.

4. Спосіб зберігання зерна.

Сьогодні в Україні налічується понад 1200 елеваторів і зерноховищ. Більшість із них мають розвинену інфраструктуру, власні лабораторії для аналізів, залізничні колії. Також спостерігається тенденція до активного будівництва лінійних елеваторів та підвищення енергоефективності існуючих

зернохосовищ шляхом їх модернізації. Варто додати, що попит на елеватори значно перевищує їх пропозицію [5]. Особливо це стосується малих і середніх підприємств, які через відсутність зернохосовищ потребують зберігання зерна для перепродажу.

Крім того, спостерігаючи за динамікою загальної наявності зернових, зернобобових культур і насіння соняшнику на підприємствах, які безпосередньо їх вирощують, і на підприємствах, які займаються їх зберіганням і переробкою (рис. 1.3), можна стверджувати, що господарства дедалі більше зберігають свій урожай у власних зернохосовищах. Водночас зменшується обсяг зберігання зерна на спеціалізованих підприємствах. Це може бути пов'язано з відсутністю сучасних зернохосовищ та бажанням власників зерна зменшити витрати на зберігання врожаю у власних зернохосовищах.



Рисунок 1.3 – Динаміка загального обсягу зернових, зернобобових культур і насіння соняшнику на підприємствах, що безпосередньо їх вирощують, і на підприємствах, що займаються їх зберіганням і переробкою

5. Спосіб транспортування

Переміщення зерна від сільськогосподарського підприємства до місця зберігання зазвичай здійснюється вантажним автотранспортом. За даними [6] дві третини виробленого в Україні зерна транспортується залізницею. За останні 18 років обсяги відвантаження зерна зросли в шість разів, попит і тарифи високі, але якість таких перевезень не змінилася. Застарілий рухомий склад, дефіцит і несвоєчасна подача вагонів, а також складний механізм розрахунку собівартості перевезень сприяють пошуку нових можливостей для перевезення зернових культур.

Водночас вартість перевезення автомобільним транспортом знизилася за останні десятиліття за рахунок збільшення місткості вантажівок, економічності двигунів вантажівок та покращення якості регіональних доріг.

Зважаючи на результати аналізу обсягів перевезень сільськогосподарської вантажів, а саме зернових культур, продукції видами транспорту необхідно виділити пріоритетні напрями ефективної організації перевезень.

Для оцінки ефективності організації транспортного процесу, як правило, застосовують такі показники як прибуток, рентабельність, продуктивність рухомого складу в тоннах і тонно-кілометрах, питома продуктивність рухомого складу, собівартість перевезень [7; 8]. Проте такий підхід є дещо узагальнений та не завжди дозволяє виявити вузькі місця у процесі транспортування, через складність знаходження форми взаємопов'язаного підсумовування кількісного та якісного функціонування окремих ланок і компонентів транспортного комплексу.

Для забезпечення підвищення ефективності транспортування сільськогосподарської продукції, насамперед, потрібно визначити існуючі проблеми організації перевезень. Так, у роботі [9] автори виокремлюють наступні проблеми транспортного процесу : нераціонально сформовані транспортно-технологічні схеми доставки, давно існуючі ланцюги постачання на підприємстві не враховують особливості організації взаємодії видів

транспорту, здійснення нераціонального вибору технологічних параметрів при організації, а також не взяття до уваги інтересів постачальника та замовника.

Шраменко Н.Ю. стверджує, що недостатні провізні можливості є однією із причин неефективної логістики, це зумовлено обмеженою кількістю спеціалізованих транспортних засобів (вагонів-зерновозів, автомобілів-зерновозів), а також їх нераціональним використанням [10].

Дослідники [11] вважають, що при виборі раціональної транспортно-технологічної схеми перевезення зернових культур, передусім, необхідно враховувати та прогнозувати обсяги виробництва сільськогосподарської продукції в регіоні. При цьому для ефективно організації транспортного процесу варто зважати на тарифну політику транспортних послуг, рівень конкурентоспроможності серед транспортних підприємств на ринку, розміри та інфраструктуру аграрних підприємств.

На сьогоднішній день транспортний процес доставки сільськогосподарської продукції варто розглядати з точки зору концепції «Сільське господарство 4.0», яка є найбільш ефективною та забезпечує високу конкурентну спроможність на ринку [12].

Базуючись на вищезгаданій концепції можна сформулювати наступні напрями підвищення ефективності транспортного процесу доставки сільськогосподарської продукції:

1. Підвищення продуктивності праці: передбачає прийняття рішень суб'єктами господарювання з раціональним підходом до формування транспортно-технологічних схем доставки сільськогосподарських вантажів [13], мінімізації логістичних витрат підприємства, залучення транспортних засобів та людських ресурсів у процесі транспортування вантажів.

2. Раціональний розподіл ресурсів забезпечується через моніторинг енергоефективності транспортного процесу, тривалості включення у процес людських ресурсів, понаднормових простоїв транспортних засобів,

врахування вимог замовника та одержувача [14] та оптимізацію запасів сільськогосподарської продукції [15].

3. Зниження негативного впливу на довкілля: передбачає формування транспортного процесу з метою мінімізації не тільки витрат на транспортування, а й викидів CO₂. Впровадження моделей, які забезпечують формування маршруту на основі типу доріг, транспортних засобів, та дозволяють отримати мінімальну кількість викидів CO₂ та мінімальні транспортні витрати [16].

4. Уникнення втрат сільськогосподарської продукції є можливим через раціональне використання збирально-транспортного комплексу, контроль за погодно-кліматичними умовами [17], вологості та дозрівання сільськогосподарської продукції, не врахування яких може спричинити значні втрати урожаю. Також аналіз якості продукції перед та після її транспортування дозволяє унеможливити додаткові витрати через повернення вантажу.

5. Впровадження сучасних логістичних систем [18] з використанням обчислювального інтелекту для оптимізації при плануванні процесу перевезень сільськогосподарських вантажів за наявних технологічних обмежень автотранспортного підприємства та доріг.

1.2 Аналіз застосування алгоритмічних моделей машинного навчання під час доставки вантажів

Машинне навчання розглядають як науку про комп'ютерні алгоритми, які вдосконалюються автоматично завдяки власному досвіду [19]. Перші дослідження щодо застосування машинного навчання для моделювання транспортних процесів та вирішення проблем транспортування простежуємо у працях закордонних науковців наприкінці ХХ ст. Уже на той момент дослідники [20] стверджували про необмежений потенціал штучного

інтелекту у транспортній інженерії. На думку авторів [21], алгоритми машинного навчання, як складова штучного інтелекту [22], дозволяють більш ефективніше вирішувати нелінійні проблеми, такі як: оптимізація маршрутизації або планування роботи вантажних транспортних засобів. Сьогодні методи машинного навчання широко застосовуються як інструменти для подальшого розуміння функціональності та розширення можливостей вантажних перевезень, ланцюгів постачання та логістичних систем, вони дозволяють краще прогнозувати еволюцію та майбутні стани цих систем та пропонують надійну підтримку для визначення, планування та прийняття рішень [23].

Доцільність використання алгоритмів машинного навчання як інструменту для моделювання логістичної та транспортної системи проаналізував О. Горяїнов [24]. Серед переваг застосування машинного навчання автор виокремив підвищення точності прогнозування, зменшення транспортних витрат, підвищення ефективності доставки вантажів, зниження ризиків, пошук ключових факторів ефективності тощо.

Використання алгоритмічних моделей машинного навчання з метою моделювання транспортних процесів під час доставки вантажів зустрічаємо у працях закордонних [20; 25-38; 40-44] та вітчизняних науковців [39]. Аналіз існуючих досліджень показує, що вчені зосереджують свою увагу на різних інструментах машинного навчання для досягнення поставленої мети. Також варто зауважити, що частота публікацій, в яких застосовуються алгоритмічні моделі машинного навчання під час доставки вантажів значно зросла за 2020-2022 роки, у порівнянні з попередніми роками.

Abdelwahab, W., Sayed, T. (1999) [20] запропонували використовувати модель штучних нейронних мереж для прогнозування вибору виду транспорту для доставки вантажу. На початку формування модель включала 27 змінних, що на думку авторів, мали вплив на вибір виду транспортування. Проте інструментарій машинного навчання дозволяє виокремити найбільш важливі предиктори для моделі, серед яких: обсяг вантажу, необхідність

заморожування вантажу (так/ні), рідкий стан вантажу (так/ні), необхідність міжрегіонального перевезення, вартість транспортування, відсоток втрат вантажу при певному виду транспортування та інші. Результати моделювання показали однакову або більш високу прогностичну точність вибору виду перевезення в порівнянні зі звичайними моделями.

Вибір виду транспортування вантажу за алгоритмами машинного навчання відображено у роботі дослідників [25]. Tortum A., Yaýla N., Gökdağ M. (2009) порівняли ефективність моделей множинної регресії, логістичної регресії, штучних нейронних мереж (ШНМ) та адаптивних нейро-нечітких систем (ANFIS) для прогнозування ймовірності вибору залізничного або автомобільного виду транспорту на основі відстані, вартості та тривалості доставки. На думку авторів, використання такого підходу є високоадаптивним та ефективним у дослідженні нелінійних зв'язків між різними змінними. Апробація моделей на основі даних про вантажопотоки у містах Туреччини, Німеччини, Франції та Австрії показала вищу точність моделей машинного навчання (ШНМ та ANFIS) у порівнянні з класичними моделями.

У роботі Vakhtyar S., Henesey L. (2014) [26] використали методи машинного навчання з метою визначення виду вантажу на основі інформації, наведеної у товарно-транспортних накладних підприємств, про відстань транспортування, вагу вантажу, тип транспортного засобу, що здійснює доставку. Науковцями у процесі моделювання було застосовано такі алгоритми машинного навчання: усереднені оцінювачі з однією залежністю AODE (Averaged one-dependence estimators), послідовна мінімальна оптимізація SMO (Sequential minimal optimization), алгоритм k- найближчих сусідів k-NN, алгоритм підвищення LogitBoost, алгоритм JRIP повторного поступового скорочення для зменшення помилок, логістичної моделі дерев LMT (Logistic Model Trees) та HyperPipes. Оцінка результатів моделювання показала найвищу ефективність для алгоритму k- найближчих сусідів у порівнянні з іншими алгоритмічними моделями машинного навчання. За спостереженнями авторів, прогнозування виду вантажу може бути

використане для формування системи прийняття рішень перевізниками щодо автоматизації процесу вибору транспортного засобу на етапі отримання замовлення від клієнта.

У дослідженні Liu C. та ін. [27] розробили та запропонували покращену модель сірих нейронних мереж для вирішення проблеми аномалій ринкового попиту, які виникають після збоїв у транспортних процесах. На думку дослідників, такий підхід передбачає, що сірі нейронні мережі можуть забезпечити кращі прогнози ринкового попиту порівняно із моделлю GM(1,1), а результати прогнозування можуть надати інформацію для прийняття рішень щодо управління виробництвом і запасами.

Для прогнозування часу прибуття транспортного засобу при виконанні доставки вантажів Van der Spoel S., Chintan A., Van Hillegersberg J. (2015) [28] радять застосовувати метод адаптивного підсилювання, який, як правило, застосовується як підсилювач у моделях DT дерева рішень [29]. У даній роботі проведено аналіз точності прогнозування декількох моделей машинного навчання, серед яких: модель випадкового лісу, метод опорних векторів SVM (Support Vector Machines), метод k-найближчих сусідів k-NN (k-Nearest Neighbours), метод рекурсивного розбиття RPart (Recursive Partitioning) та метод адаптивного підсилювання (Adaboost.M1). При цьому найвища продуктивність моделей досягається при поділу даних про погоду та дорожній рух на категорії.

Модель штучних нейронних мереж було використано Becker T., Illigen C., McKelvey B., Hülsmann M., Windt K. (2016) [30] з метою визначення її ефективності щодо вирішення задач маршрутизації у порівнянні з п'ятьма евристичними алгоритмами. Проведені авторами експериментальні дослідження з використанням реального сценарію моделювання логістичних процесів у автомобільному терміналі Гамбурга показали, що застосування моделі штучних нейронних мереж підвищує ефективність моделювання на 48% у порівнянні з існуючими евристичними алгоритмами маршрутизації.

У роботі Samimi A., Razi-Ardakani H., Nohekhan A. (2017) [31] використовують алгоритми машинного навчання для прогнозування вибору способу доставки вантажу між автомобільним та залізничним. Науковці порівнюють ефективність прогнозування таких методів машинного навчання, як SVM метод опорних векторів, ANN штучні нейронні мережі, DT C5.0 дерева рішень. У дослідженні проаналізовано вплив ваги, виду, властивостей та типу упакування вантажу, а також відстані перевезення на вибір способу транспортування. За результатами дослідження метод опорних векторів з урахуванням витрат є найкращим методом для прогнозування вибору способу доставки, дещо нижчу ефективність мають дерево рішень C5.0 та штучні нейронні мережі. Крім того, дослідники пропонують розглядати важливість змінних, що визначають спосіб транспортування, у такій послідовності: вага, відстань між пунктом відправлення та пунктом призначення, вид вантажу, коефіцієнт імпедансу залізничного та вантажного транспорту та необхідність контейнерного перевезення.

Для прогнозування витрат палива вантажними транспортними засобами дослідники Perrotta F., Parry T., Neves L. C. (2017) [32] застосували три типи моделей алгоритмічного машинного навчання: модель RF випадкового лісу, модель глибинного навчання (ANN штучні нейронні мережі) та модель SVM опорних векторів. Вчені використали дані HAPMS системи управління дорожнім покриттям Англії (Highways England Pavement Management System) та телематичні системи вантажних засобів для формування значень вхідних (середня швидкість, нахил дороги, повна маса, прискорення автомобіля тощо) та вихідного параметру моделей (витрата палива транспортним засобом). Результати дослідження показали, що всі три моделі дозволяють розробляти моделі з високою точністю, проте модель RF випадкового лісу дещо перевершує модель SVM опорних векторів і модель ANN штучних нейронних мереж, даючи більший R^2 та меншу похибку.

Використання моделі штучних нейронних мереж для оцінки експлуатаційної якості транспортних засобів, які використовуються для

вантажних перевезень, зустрічаємо у праці Świdorski A., Józwiak A., Jachimowski R. (2018) [33]. Для навчання моделі автори використовують параметризовані оцінки для вхідних змінних моделі: частота поломок, вік, кількість відпрацьованих годин, технічний стан транспортних засобів та середньозважену оцінку якості транспортного засобу, як вихідну змінну. На думку науковців, штучні нейронні мережі варто розглядати як корисний інструмент для системи підтримки прийняття рішень щодо використання транспортних засобів для доставки вантажів автотранспортними підприємствами, а також з метою прогнозування якості та ефективності транспортних операцій.

У роботі Schoen A., Byerly A., Hendrix B., Bagwe R. M., Santos E. C. d., Miled Z. B. (2019) [34] науковці використовують штучні нейронні мережі з метою підвищення точності прогнозування витрат палива як для автопарку, так і для окремого транспортного засобу. Для отримання прогнозованого значення використано сім параметрів, що характеризують поїздки: кількість зупинок, тривалість зупинки, середня швидкість руху, характерне прискорення, квадрат аеродинамічної швидкості, зміна кінетичної енергії та зміна потенціалу енергії за конкретно пройдену відстань. Ефективність моделі було оцінено величиною середньоквадратичної помилки прогнозування питомої витрати палива 0,015 л/100 км.

Дослідники Servos N, Liu X, Teucke M, Freitag M. (2020) [35] порівняли ефективність алгоритмів машинного навчання для прогнозування тривалості доставки вантажів. Вчені стверджують, що машинне навчання добре підходить для вирішення нелінійних та складних взаємозв'язків існуючих даних щодо перевезень. Для моделювання було використано три різних алгоритми: випадкового лісу, адаптивного підсилювання (AdaBoost) та підтримуючої векторної регресії SVR (Support Vector Regression), які можуть працювати з невеликими об'ємами даних за низької тривалості роботи. Основними параметрами моделей визначено дані трекінгової системи у вантажівках, серед яких: початок, завершення транспортування, обсяг

вантажу, геолокація в момент передачі інформації, температура та вологість навколишнього середовища. Дослідження показало найвищу точність передбачення за алгоритмом SVR при абсолютній середній помилці 17 год при транспортуванні тривалістю 30 днів.

Застосування алгоритмів машинного навчання для прогнозування витрат палива вантажними транспортними спостерігаємо у праці Bousonville T., Cheubou Kamga D., Krüger T., Dirichs M. (2020) [36]. Визначаючи основними предикторами моделей: модель транспортного засобу, середню швидкість, відхилення швидкості, тип дороги, загальну масу транспортного засобу, погодні умови за 10-хвилинні відрізки часу, автори порівнюють ефективність прогнозування на різних алгоритмах, серед яких: k-найближчих сусідів, штучні нейронні мережі, дерево рішень із підвищенням градієнта (Gradient boosting decision tree). Результати моделювання показали найменшу помилку прогнозу при використанні алгоритму дерева рішень, тоді штучних нейронних мережі та найвищу – при k-найближчих сусідів.

Модель штучних нейронних мереж була використана Rykała M., Rykała Ł. (2021) [37] для аналізу ефективності виконання транспортних завдань підприємства, що здійснює перевезення сипучих вантажів. Основою моделі слугують дані про виконання транспортних операцій відібраними спеціалізованими транспортними засобами. Результати дослідження, висвітлені у праці, показали, що найбільш важливими факторами, які впливають на дохід підприємства від конкретної поїздки, є витрати палива окремими автомобілями, стиль водіння автомобіля конкретним водієм та погодні умови.

Для вирішення проблеми прогнозування вартості замовлення доставки вантажу Singh A., Das A., Bera U. K., Lee G. M. (2021) [38] пропонують використовувати модель штучних нейронних мереж. У процесі дослідження науковці за допомогою методики нечіткої логіки визначають основні параметри моделі: обсяг замовлення для конкретного пункту доставки та відстань. При цьому автори зазначають, що погодні умови та звички водіння

конкретного водія мають дещо менший вплив на транспортування, тому не застосовують ці фактори у своїй моделі. Результати моделі показали високий показник кореляції отриманих та реальних даних 99,92%. Автори стверджують, що моделювання за допомогою штучних нейронних мереж дозволяє передбачати загальну вартість перевезення, яка залежить не лише від одиниці вартості транспортування. Крім того, такий підхід можна використовувати для вирішення більш складних проблем в управлінні ланцюгами постачань, серед яких багатoelementні проблеми з декількома джерелами, коли постачальник не може виконати всі вимоги кінцевих користувачів.

Якушенко О. С., Шевчук Д. О., Мединський Д. В. (2021) у своєму дослідженні [39] застосовують штучні нейронні мережі з метою прогнозування часу для виконання транспортної задачі. Автори використовують дані, що є у кожного транспортного підприємства, а саме: час виходу в рейс, тривалість рейсу, ідентифікатори водія та експедитора на рейсі та час проходження маршруту за сприятливих погодних умов. Запропонована модель дозволяє врахувати вплив сезонності (зокрема ожеледиці) та дня тижня, коли виконується транспортна робота. Також автори зазначають, що нейромережеві моделі досить широко використовуються для вирішення логістичних завдань.

У статті Named M. A., Khafagy M. H., Badry R. M. (2021) [40] покращують точність моделі прогнозування витрати палива вантажними транспортними засобами за допомогою алгоритму машинного навчання – моделі SVM опорних векторів. Оцінка витрати палива надається залежно від географічних координат, швидкості автомобіля, числа обертів двигуна за хвилину та значень датчика положення дросельної заслінки. Науковцями також здійснено відбір вхідних параметрів моделі, що дозволило досягнути вищої точності з значенням $R^2 = 0,97$, порівняно з іншими дослідженнями, де було використано регресійну алгоритмічну модель SVM опорних векторів.

Прогнозування витрат палива вантажними транспортними засобами з використанням алгоритмічних моделей машинного навчання представлено у роботі Gong J., Shang J., Li L., Zhang C., He J., Ma J. A. (2021) [41]. Для виконання прогнозу дослідники застосували три види регресійних моделей машинного навчання, а саме: модель штучних нейронних мереж зворотного поширення BP, модель DT дерева рішень та модель RF випадкового лісу. Моделювання витрат палива вантажними транспортними засобами здійснено з урахуванням технічного стану двигуна, характеристик дороги, погодних та температурних умов. Результати показали, що точність прогнозування DT дерева рішень, штучних нейронних мережі та RF випадкового лісу становить 81,38%, 83,98% та 86,58% відповідно.

Застосування алгоритмів машинного навчання для прогнозування витрат палива вантажними транспортними засобами спостерігаємо у дослідженні Budzyński A., Śladkowski A. (2021) [42]. Науковці порівняли ефективність різних регресійних моделей, серед яких: модель GLM узагальненої лінійної регресії, моделі класичної лінійної регресії, регресії з вибором змінних та Баєсові регресії. Моделювання проведено на основі даних GPS-трекерів транспортних засобів невеликої транспортної компанії. Дослідники встановили, що для конкретного набору даних найбільш ефективними моделями є LARS метод найменших кутів (Least-angle regression) та класична модель лінійної регресії.

Дослідники Usman A., Roorda M.J. (2022) [43] використали алгоритми машинного навчання для передбачення вибору типу транспортного засобу підприємством залежно від сфери діяльності та виду вантажу, що доставляється. У своїй праці вчені порівняли ефективність трьох моделей, серед яких: модель RF (Random Forest) випадкового лісу, MNL (Multinomial Logit Model) мультиномінальна логіт-модель та Mixed MNL (Mixed Logit Model) змішана логіт-модель. Прогнозування типу транспортного засобу відбувається на основі таких змінних: сфери функціонування, кількості працівників, виду вантажу, ваги, пункту відправлення та пункту призначення.

Порівняння результатів моделей для вибору типів транспортних засобів показало, що найбільш точно прогнозується тягач з причепом та пікап або фургон, тоді слідують вантажні автомобілі без причепа та легкові автомобілі. Найбільш продуктивною моделлю серед застосованих виявилась модель RF з точністю прогнозу 94,5%.

Моделювання витрат палива транспортними засобами зустрічаємо у роботі Торі'с J., Škugor B., Deur J. (2022) [44]. Для прогнозування автори використовують моделі глибинного навчання (штучні нейронні мережі з декількома прихованими шарами) та лінійної регресії. На основі вхідних даних: швидкості автомобіля, прискорення та нахилу дороги було проведено навчання моделі та перевірено точність прогнозів. Результати тестування продемонстрували, що запропонований підхід на основі нейронної мережі забезпечує високу точність передбачення та прийнятну швидкість виконання, що робить його придатним для різної оптимізації маршруту транспортного засобу, перевірки їздового циклу, планування роботи автопарку тощо.

Проведений аналіз дозволив визначити моделі машинного навчання, які найчастіше застосовуються під час доставки вантажів, виявити їхні переваги та недоліки, а також встановити спільні напрями використання у логістичних системах (рис. 1.4).

1. Моделі лінійної та логістичної регресії – найбільш відомі регресійні алгоритми, що належать до моделей навчання «з вчителем» та здатні забезпечити прогнозування вихідної змінної на основі вхідних змінних [45].

Перевагами моделей є їх простота в застосуванні, зрозумілість результатів та швидке навчання, а недоліком – не завжди висока точність прогнозування.

Модель лінійної регресії та її варіації активно застосовуються для прогнозування витрат палива транспортними засобами [42], в той час як моделі логістичної регресії через їх основне завдання (класифікацію) – для вибору типу транспортного засобу для доставки вантажу [43].

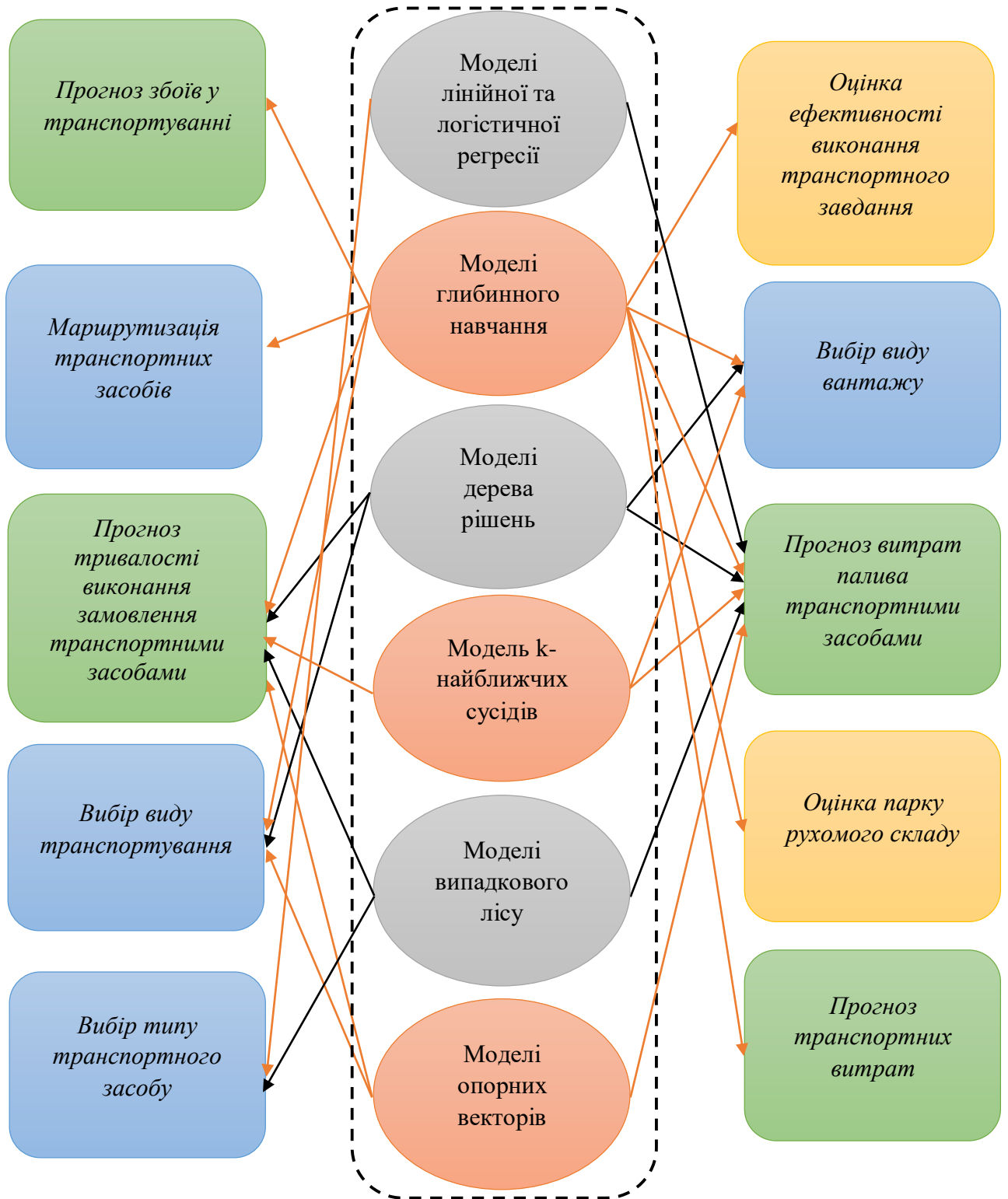


Рисунок 1.4 – Напрями застосування алгоритмічних моделей машинного навчання під час доставки вантажів

Сформовано автором на основі джерел [20; 25-44]

2. Штучні нейронні мережі та моделі глибинного навчання представляють групу обчислювальних та математичних моделей, які побудовані за принципом функціонування біологічної нервової системи [46]. Вагові коефіцієнти в нейронній мережі визначаються шляхом зменшення похибки між фактичним значенням та прогнозом [47]. Глибокі ШНМ називають моделями глибинного навчання через наявність кількох прихованих рівнів [48].

До переваг ШНМ та моделей глибинного навчання відносять:

- можливість обробки великої кількості даних, виявлення складних залежностей між вхідними та вихідними даними, а також здатність виконувати узагальнення [49];
- можливість застосування як у прогнозуванні, так і в класифікації;
- висока ефективність роботи з нелінійними зв'язками, прості правила навчання та сильна міцність, здатність пам'яті;
- здатність до самонавчання та до зворотного поширення помилок [48].

Недоліками моделювання процесу штучних нейронних мереж є необхідність великої кількості даних, статистичних спостережень. Саме тут виникає проблема збору, впорядкування та доступності таких даних для проведення моделювання. Крім того, застосування такого інструменту вимагає спеціалізованих знань від дослідника. Ще одним недоліком мереж є їхня недетермінованість, тобто навчена модель являє собою «чорний ящик», і виникає складність встановлення причинно-наслідкових зв'язків між складовими моделі [50].

Незважаючи на складність побудови ефективної ШНМ та відносно тривале навчання моделі, дана алгоритмічна модель є найбільш поширеною. Серед проаналізованих публікацій моделі ШНМ використовуються практично для усіх поставлених задач і при цьому показують високу ефективність прогнозування та класифікації [25; 27; 30; 33; 34; 37 – 39; 44].

3. Моделі дерев рішень класифікують дані на менші підмножини, де кожна підмножина містить (здебільшого) відповіді одного класу («так» або «ні») [51]. Для підвищення точності класифікації застосовують ансамблі дерев рішень із використанням техніки бустингу [52], який часто реалізують алгоритмами AdaBoost [28; 35] та Gradient boosting [36].

Перевагами даної алгоритмічної моделі є просте обчислення, обробка зразків із неповноцінними значеннями атрибутів, здатність оцінити предмет з різними ознаками, моделювання лінійних та нелінійних взаємозв'язків.

До недоліків моделей варто віднести: погане навчання на малих вибірках та високу ймовірність до перенавчання [45].

Моделі показують достатньо високі показники прогнозування часу доставки [28; 35], витрат палива як із застосуванням бустингу [36], так і без [41], та класифікації вантажу за видом транспортування [30].

4. Моделі випадкового лісу – ансамблеві алгоритми машинного навчання, які є одною з реалізацій техніки бегінга («Bagging»)[53].

До переваг даної моделі відносять високу точність, особливо при моделюванні нелінійних залежностей, а також нечутливість до відсутніх даних і викидів.

Недоліком є здатність до перенавчання та необхідність вручну підбирати кількість дерев [45].

Застосування моделі випадкового лісу для прогнозування витрат палива вантажними транспортними засобами показало найвищу точність прогнозу в порівнянні з іншими моделями машинного навчання [32; 41]. Також високі показники ефективності даний вид моделі демонструє при прогнозі вибору типу транспортного засобу для доставки вантажів [43]. У випадку прогнозування тривалості доставки вантажів дана модель не показала достатньо точних результатів [35].

5. Модель k-найближчих сусідів – це тип алгоритму навчання «з учителем», який використовується як для регресії, так і для класифікації [54].

k-NN намагається передбачити правильний клас для тестових даних, обчислюючи відстань між тестовими даними та всіма точками навчання [55].

Переваги моделі – простота у застосуванні для класифікації та регресії, особливо для нелінійної класифікації та відсутність реакції до викидів даних. Недоліки – необхідність попередньо встановити значення k, така модель не працює на великих незбалансованих наборах даних.

Алгоритмічна модель k-найближчих сусідів показує високу ефективність у завданнях вибору виду вантажу за класифікаційними ознаками [26], з дещо нижчою ефективністю може застосовуватись з метою передбачення часу доставки вантажу [28] та прогнозування витрат палива транспортними засобами [36].

6. Модель опорних векторів – це алгоритм, основне завдання якого полягає у виявленні багатовимірних меж, що розділяють точки даних, що належать до різних класів [56].

Перевагою моделей опорних векторів є можливість застосування для нелінійної класифікації та регресії, легко інтерпретувати [57].

Модель не підходить для великих наборів даних, гірше працює, коли набір даних містить більше шуму, тобто цільові класи збігаються [58].

Хоча основне завдання моделей полягає у класифікації об'єктів, як-от: вибір виду транспортування між автомобільним та залізничним [30], даний алгоритм показує досить хороші результати у регресійному аналізі, а саме прогнозуванні тривалості доставки вантажів [35] і прогнозуванні витрат палива транспортними засобами [40].

Алгоритмічні моделі машинного навчання набувають все більшого поширення у процесах моделювання вантажних перевезень. Проведений аналіз публікацій дозволив виявити переваги, недоліки та основні напрями застосування алгоритмічних моделей машинного навчання, серед яких: маршрутизація транспортних засобів, вибір виду вантажу, виду транспортування та типу транспортних засобів; прогнозування витрат палива транспортними засобами, збоїв у транспортуванні, транспортних витрат,

тривалості виконання замовлення; оцінка парку рухомого складу та ефективності виконання транспортного завдання.

Серед груп алгоритмічних моделей машинного навчання було виявлено, що моделі лінійної та логістичної регресії є достатньо простими, проте не завжди дають високі показники моделювання; моделі глибокого навчання досить широко застосовуються до всіх виявлених напрямів; моделі дерев рішень та випадкового лісу часто показують найвищі показники ефективності моделювання; моделі k-найближчих сусідів та опорних векторів доцільно застосовувати як у задачах класифікації, наприклад, вибору виду вантажу та виду транспортування, так і для прогнозування витрат палива та тривалості транспортного процесу.

1.3 Аналіз існуючих підходів щодо вибору раціональних транспортних засобів

На сьогодні, логістичні задачі автотранспортних підприємств, які стосуються вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки різних видів вантажів набули досить широкого використання [59-72]. Також учені достатньо уваги приділили питанням дослідження та вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки сільськогосподарських вантажів [65; 68]. Виконані дослідження стосуються як розроблення загальних концепцій [59-67], так і методів та моделей узгодження параметрів транспортних засобів [68; 69; 73], до яких належить сільськогосподарська сировина та готова продукція.

Так, Горяїнов О.М. [59] сформулював загальні принципи вибору раціональних транспортних засобів під час доставки вантажів автотранспортним підприємством. На думку автора, вибір найбільш раціональних типів вантажних транспортних засобів потрібно здійснювати за конкретних умов експлуатації підприємством, з врахуванням обмежень щодо дорожніх та кліматичних факторів з метою повного забезпечення і виконання

вимог клієнтів з мінімальними витратами на транспортний процес. Також науковець зазначає, що вибір раціонального транспортного засобу для конкретно підприємства обумовлюються різним набором факторів, які впливають на процес доставки вантажу.

Важливість вибору раціонального транспортного засобу для виконання замовлень з доставки вантажу розглянуто ученими [60]. Автори підкреслюють, що під час організації процесу доставки вантажів вибір рухомого складу для перевезення відіграє таку ж важливу роль, як і вибір маршруту руху для цих транспортних засобів. При цьому доставка вантажу від вантажовідправника до вантажоодержувача можлива за декількома варіантами, оцінка яких може відрізнитися за низкою критеріїв та визначати час доставки вантажів, її собівартість.

Вибір ефективного транспортного засобу, який найбільше відповідає конкретним умовам перевезень є важливим завданням організації транспортного процесу. Варто зауважити, що наявний багатомарочний парк транспортних засобів на підприємстві, з одного боку, підвищує ефективність процесу доставки, а з іншого, ускладнює та збільшує вартість утримання, технічного обслуговування та поточного ремонту транспортних засобів [60].

Необхідність вибору рухомого складу конкретної моделі серед множини альтернативних, насамперед, обумовлена різними техніко-експлуатаційними якостями автомобілів різних моделей, які можуть бути використані для перевезення того самого вантажу. Як правило, вибір найбільш ефективного транспортного засобу проводять порівнюючи результати експлуатаційних та економічних розрахунків. До порівняння вибирають тільки той рухомий склад, що за своїми технічними характеристиками та економічними показниками відповідає вимогам конкретного транспортного процесу [61].

При цьому дослідники [60] виокремлюють шість груп факторів, вплив яких необхідно враховувати при виборі оптимального транспортного засобу для організації процесу доставки конкретного виду вантажу:

1) транспортні: вид вантажу та його характеристика, партійність перевезень, обсяг та стабільність перевезень, відстань, способи навантаження-розвантаження та складська облаштуваність, режим роботи, вид маршрутів та організація перевезень;

2) дорожні: міцність дорожнього покриття (припустиме осьове навантаження), елементи профілю і плану доріг, інтенсивність руху, прохідність дороги;

3) природно-кліматичні: кліматичні зони, наявність високогірних районів;

4) конструкційні: кузов, використання маси;

5) експлуатаційні: адаптація кузова, вантажомісткість, зручність використання, прохідність;

6) економічні та натуральні: продуктивність [13], собівартість, приведені витрати, трудомісткість перевезень.

Автори [62] зазначають, що правильність вибору типу та моделі рухомо складу транспортним підприємством в конкретних умовах експлуатації можна визначити за критеріями найбільшої продуктивності транспортного засобу, найменшої собівартості перевезення та високої швидкості доставки вантажу.

Крім того при виборі марки та модифікації транспортних засобів варто враховувати характер та структуру перевезень, вид вантажу, тару та упаковку, відстань транспортування та дорожні умови.

Даними для вибору моделі транспортного засобу є: безпосередньо марка автомобіля, вид вантажу, вантажопідйомність, коефіцієнт використання вантажопідйомності, технічна швидкість, категорія доріг, способи навантаження, розвантаження, середня відстань перевезення.

Для вибору раціонального транспортного засобу безпосередньо для доставки сільськогосподарської продукції автори [63;64] радять застосувати показники продуктивності та собівартості.

Зростання продуктивності транспортних засобів вбачаємо у таких напрямках:

- оптимальному виборі типажу рухомого складу для виконання заданого обсягу транспортної роботи по перевезенню сільськогосподарської продукції залежно від характеру вантажу, раціональної організації транспортного процесу;

- максимальному зменшенні часу на вантажно-розвантажувальні роботи та транспортної інфраструктури агропромислових підприємств.

Зниження собівартості перевезень сільськогосподарської продукції, насамперед можливе через:

- економію палива на виконання транспортної роботи;
- зниження витрат на технічне обслуговування і ремонт рухомого складу за рахунок підвищення якості цих робіт;
- ефективний вибір транспортних засобів на основі раціональних експлуатаційних характеристик.

Варто зауважити, що використання спеціалізованого рухомого складу в транспортних технологіях для аграрного виробництва забезпечує поряд із збереженням вантажу найбільш повне використання вантажопідйомності. Досвід розвинених країн показує, що підвищити ефективність роботи автотранспортних засобів, неможливо без вдосконалення технології та організації процесів доставки вантажів, які включають в себе правильний вибір найбільш досконалих моделей і типів рухомого складу, та вантажно-розвантажувальних засобів, а також їх раціонального, узгодженого і економічно вигідного використання у виробничих процесах підприємств [63].

Дослідники [67] стверджують, що остаточний вибір транспортного засобу для перевезення зернових культур повинен бути заснований на економічному показнику. Автори пропонують застосовувати питому собівартість перевезення однієї тони вантажу, оскільки показник є базовим при формуванні тарифів на перевезення, а також має великий вплив на кінцеву вартість зерна.

Планування оперативної діяльності автотранспортного підприємства, яке здійснює доставку зернових культур, щодо вибору транспортного засобу для маршруту можливе за критерієм мінімальних витрат, пов'язаних з транспортним обслуговуванням клієнтів [68]. Шраменко Н.Ю запропонувала здійснювати вибір транспортного засобу серед альтернативних марок на основі раціональної вантажності такого автомобіля. Розроблена авторкою регресійна модель (1.1) на основі імітаційного експерименту дозволяє визначити оптимальний транспортний засіб на підставі середнього розміру партії вантажу та кількості вантажовласників, яким планується постачати вантаж за день.

$$B_3 = 0,632 \cdot N^2 - 13,759 \cdot q_n^2 + 5217,103 \cdot \bar{q}^2, \quad (1.1)$$

де B_3 – загальні добові витрати на доставку зернових вантажів, грн/добу;

N – кількість вантажовласників, од.;

q_n – номінальна вантажність автомобіля, що застосовується на розвізному маршруті, т;

\bar{q} – середній розмір партії вантажу, т;

Дана модель враховує особливості транспортно процесу під час доставки зернових культур, проте може бути застосована лише для вантажів вагою 0,254 – 0,754 т та транспортних засобів вантажністю 3-6 т.

Методику розподілу транспортних засобів за маршрутами у гірничо-добувній промисловості зустрічаємо у дослідженні [70]. Isnafitri M. F., Rosyidi S. N., Aisyati A. розробили оптимізаційну модель (1.2) для вирішення питання вибору раціонального вантажного транспорту, яка сформульована як задача змішаного цілочисельного лінійного програмування MILP (Mixed-Integer Linear Programming) [71] за критерієм мінімальних транспортних витрат.

$$TC = \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S \sum_{r=1}^R \sum_{j=1}^J X_{j,k,l}^t \cdot n_{k,l}^t (fc + (vc \cdot e_{k,l})) \quad \forall q, j, s, r, t, k, l, \quad (1.2)$$

$$TC \rightarrow \min, \quad (1.3)$$

де $X_{j,k,l}^t = \begin{cases} 1, & \text{якщо транспортний засіб вибрано для маршруту} \\ 0, & \text{інакше} \end{cases}$

$n_{k,l}^t$ – кількість вантажних транспортних засобів, обраних для перевезення між k і l за період часу t , од;

fc – постійні транспортні витрати, грош.од;

vc – змінні транспортні витрати, грош.од;

$e_{k,l}$ – відстань між k і l , км;

q – індекс типу продукту $\in Q$;

j – індекс марки вантажного транспортного засобу $\in J$;

s – індекс зони гірничого процесу $\in S$;

r – індекс вантажоодержувача $\in R$;

t – проіндексований період часу $\in T$;

k – індекс пункту відправлення;

l – індекс пункту доставки;

Алгоритм моделі передбачає обчислення необхідної кількості вантажних транспортних засобів на конкретному маршруті для досягнення узгодженої роботи з екскаватором. Після визначення кількості автомобілів обчислюється кількість поїздок, які повинні бути здійснені кожним типом вантажівок на кожному маршруті та розроховуються транспортні витрати для усіх альтернативних варіантів. Вибір вантажного транспортного засобу для конкретного маршруту проводиться за мінімальними транспортними витратами.

Схожий підхід до вибору раціонального транспортного засобу для конкретного маршруту зустрічаємо у праці Ваґану D.M., Хіа X., Zhang L. (2017) [72]. Дослідники здійснюють оперативний вибір транспортного засобу для конкретного маршруту з врахуванням прогнозованих значень витрат палива транспортним засобом та екскаватором. Оптимальний вибір проводять за функцією (1.4) як задачі змішаного цілочисельного лінійного програмування (MILP) :

$$\left(Ft + \sum_{j=1}^{N_j} I_j f_{j, idle} \right) \rightarrow \min, \quad (1.4)$$

де Ft – загальна витрата палива вантажівками за зміну, л;

I_j – час простою j –м екскаватором, год;

$f_{j, idle}$ – витрата палива j –м екскаватором за час простою, л/год.

Одним із підходів, запропонованим дослідниками [72], для вибору раціонального транспортного засобу під час транспортування сільськогосподарської продукції засобу є використання моделі штучних нейронних мереж. Сутність методу полягає в ідентифікації транспортного засобу за допомогою нейронної мережі у вигляді багатошарового персептрона (рис. 1.5), тобто визначення виду транспортного засобу, його вантажопідйомності, а також основних техніко-економічних показників, які обчислюють вартість виконання перевезення.

У результаті дії першого шару нейронів визначається множина транспортних засобів, які задовольняють вимогу щодо виду вантажу. До множини можуть потрапити транспортні засоби (ТЗ) як загального призначення, так і спеціальні ТЗ, які придатні до перевезення заданого виду вантажу.

На наступному кроці активізується другий шар нейронів, який здійснює перевірку транспортних засобів на можливість використання в дорожніх умовах маршруту перевезення через порівняння показника допустимого питомого навантаження шин на ґрунт.

На третьому кроці авторами враховується умова забезпечення ефективного використання вантажопідйомності ТЗ залежно від розміру партії перевезення. У результаті роботи нейронної мережі отримують множину транспортних засобів, які відповідають вимогам щодо розміру партії (ваги або об'єму) вантажу.

На наступному етапі проводиться аналіз за допомогою суматора, який формує вихідний нейрон з множиною техніко-економічних показників. Для кожного із транспортних засобів визначається собівартість перевезення на

основі отриманих техніко-економічних показників. Для виконання замовлення вибирають оптимальний транспортний засіб з мінімальною вартістю перевезення.

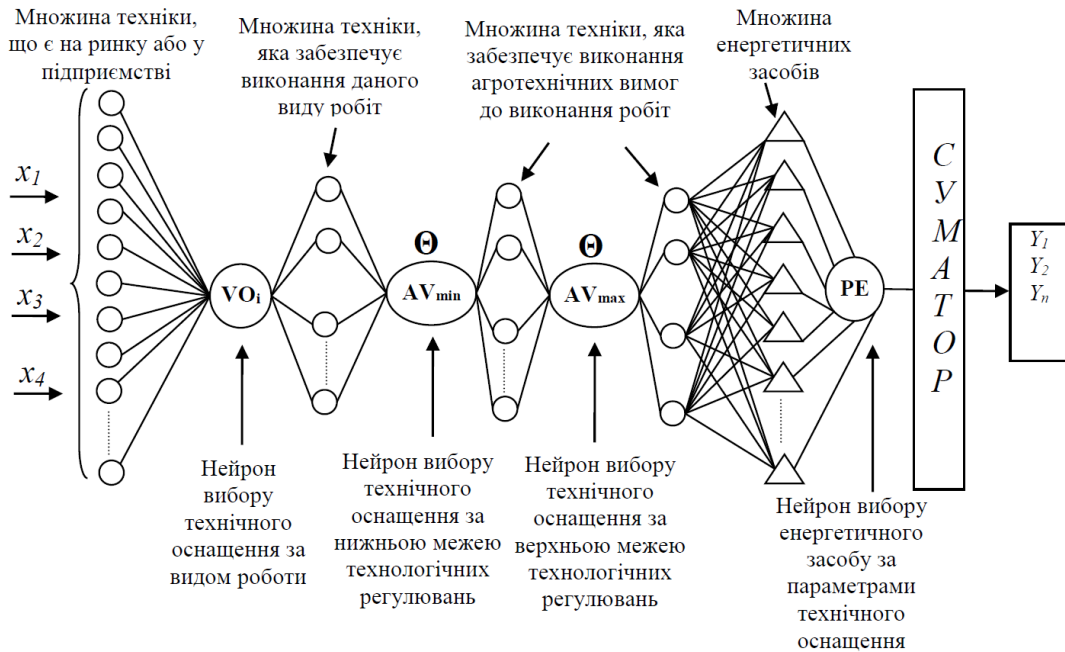


Рисунок 1.5 – Модель нейронної мережі вибору раціональних видів транспортних засобів під час доставки сільськогосподарських вантажів [73]

Серед інших моделей вибору транспортних засобів, варто звернути увагу на дослідження [74]. Автори моделі вирішують проблему підбору транспортних засобів шляхом застосування цілочисельного лінійного програмування ILP (Integer Linear Programming) [75] на маятникових маршрутах з великою відстанню. Умовою вибору оптимального транспортного засобу є максимальний прибуток підприємства з мінімально можливими викидами CO_2 транспортними засобами на конкретному маршруті. Розроблена модель вирішує прикладне завдання вибору транспортного засобу серед семи типів вантажних автомобілів з різною вантажопідйомністю та питомою витратою палива, а також надає інші рекомендації для автотранспортних підприємств: сценарії за якими буде максимальний прибуток, але зростає негативний вплив на екологію та сценарії із різними рівнями задоволення попиту на перевезення.

Таблиця 1.1 – Порівняння моделей вибору раціональних транспортних засобів

Назва моделі	Тип моделі	Критерій оптимальності	Переваги	Недоліки
1	2	3	4	5
Модель витрат для зернових вантажів [67]	Регресійна модель	Мінімум витрат	враховує особливості транспортування зернових культур	застосовується лише для вантажів вагою 0,254 – 0,754 т та транспортних засобів вантажністю 3-6 т
Оптимізаційна модель [69]	MILP	Мінімум транспортних витрат	враховує особливості транспортування в гірничо-добувній промисловості	- використовується за невеликої кількості типових маршрутів на підприємстві; - підходить для планування стратегічної діяльності автотранспортного підприємства
Оптимізаційна модель [72]	MILP	Мінімальні витрати палива	розроблена для організації оперативної роботи диспетчерської служби на підприємстві	застосовується для невеликої кількості типових маршрутів на кар'єрі
Модель ідентифікації ТЗ [73]	Машинне навчання ШНМ	Мінімальна собівартість	- розроблена для транспортування широкого діапазону сільськогосподарської продукції; - може застосовуватись як для внутрішньо господарських потреб	розрахунок собівартості замовлення здійснюється на основі середнього значення питомої витрати палива транспортним засобом без врахування впливу інших факторів

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5
Оптимізаційна модель [74]	ІЛР	Максимізація прибутку за умов мінімальних викидів CO ₂	-враховує екологічну складову транспортного процесу; -розглядає різні сценарії транспортування вантажів з поєднанням різних типів транспортних засобів	при поєднанні різних типів транспортних засобів для виконання замовлення питома витрата палива розраховується як середньозважене значення

Існуючі методи і моделі вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки різних видів вантажів автомобільним транспортом, не враховують мінливого характеру поведінки виробничих умов. Це характерно для виробничих умов доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора. На ефективність таких перевезень значною мірою має вплив вид завантаження (зернозбиральні комбайни, зернотоки, місця зберігання зернових тощо), стан дорожніх умов, марка та модель, а також стан транспортних засобів. Вони разом із кліматичними умовами та обсягами доставки зернових культур системно впливають як на витрати пального та тривалість виконання відповідних транспортних процесів, так і на собівартість виконаних перевезень.

Аналіз чинних методів та моделей для вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки вантажів свідчить про їх недосконалість. На жаль, вони не враховують багатьох явищ та чинників імовірнісної природи, які притаманні процесу доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора. Зокрема, не враховується те, що витрати пального, як основної складової собівартості процесу доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, значною мірою зумовлюються специфічними виробничими умовами.

1.4 Розроблення основних завдань дослідження

Із зростанням обсягу транспортування зернових культур у автотранспортних підприємствах виникає необхідність раціонального розподілу транспортних засобів. При цьому все більш актуальним стає застосування методів машинного навчання в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень для удосконалення транспортних процесів.

Оскільки методи машинного навчання забезпечують виявлення складних взаємозв'язків та мають високу точність прогнозування, то розробка методу вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора із застосуванням машинного навчання є актуальною задачею.

Мета дисертаційної роботи полягає в удосконаленні організації транспортного процесу доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора методами машинного навчання з урахуванням функціональних та вартісних показників виконання замовлень.

Для досягнення мети поставлені наступні *завдання*:

1. Проаналізувати теоретичні засади та практичні особливості організації транспортного процесу доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, а також провести дослідження застосування алгоритмічних моделей машинного навчання під час доставки вантажів та існуючих підходів щодо вибору раціональних транспортних засобів.

2. Провести обґрунтування даних для прогнозування витрат палива транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора.

3. Обґрунтувати раціональну модель прогнозування витрат пального транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора.

4. Удосконалити метод вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, що базується на обґрунтованій моделі прогнозування витрат палива транспортними засобами.

5. Розробити алгоритм та комп'ютерну програму, які базуються на розробленому методі та обґрунтованих моделях, а також із їх використанням виконати моделювання процесу доставки зернових культур транспортними засобами.

6. Визначити економічний ефект від застосування методу та комп'ютерної моделі вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора.

Об'єктом дослідження є транспортний процес доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Предметом є закономірності зміни параметрів транспортного процесу доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора залежно від особливостей його організації.

Виконання етапів дослідження дозволить підвищити ефективність транспортного процесу доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора та сприятиме його удосконаленню.

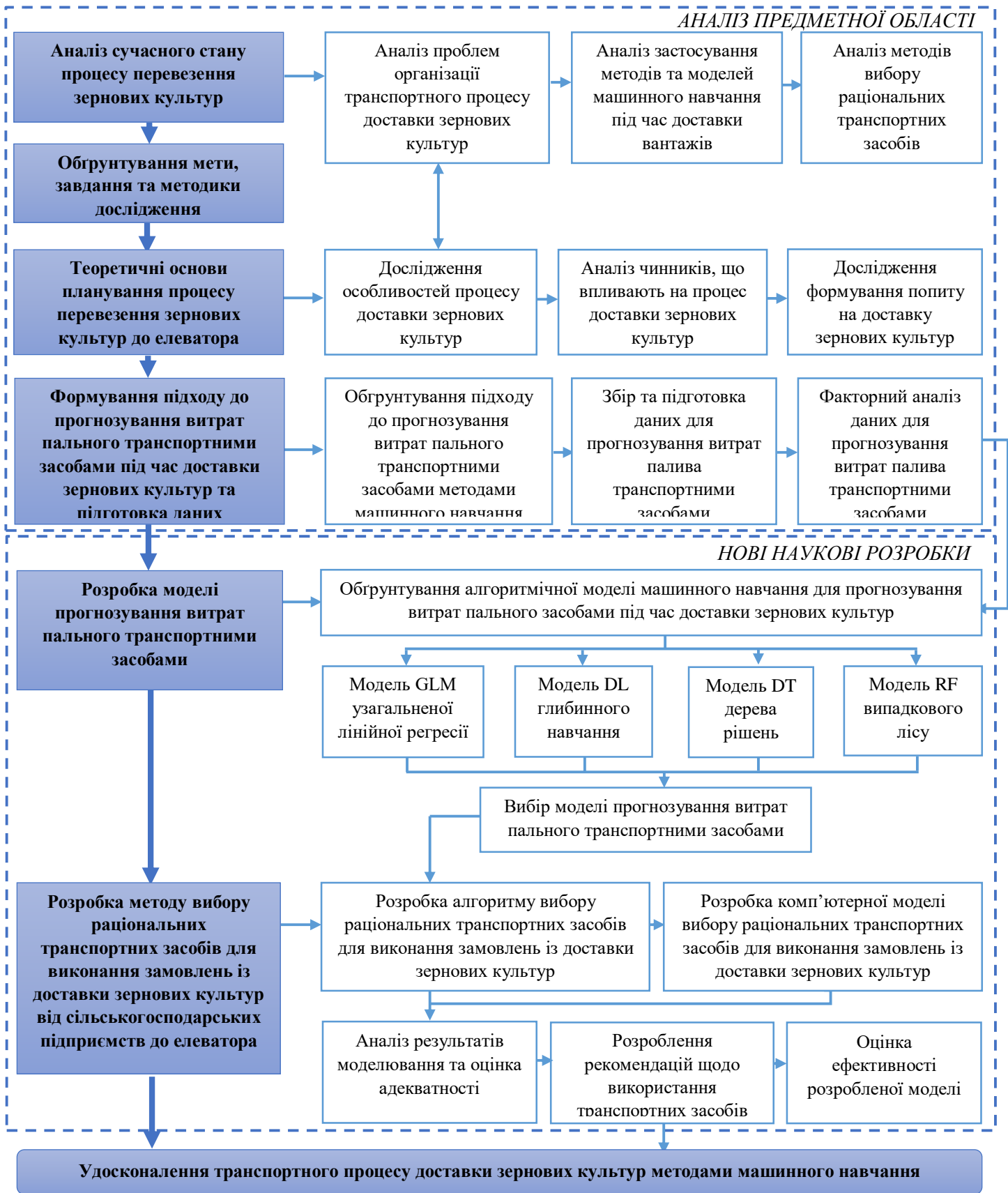


Рисунок 1.6 – Схема проведення дисертаційного дослідження

1.5 Висновки до першого розділу

1. Дослідження сучасного стану організації транспортного процесу доставки зернових культур дозволило виявити ряд тенденцій та проблем в аграрному секторі, а також сформуванати напрями підвищення ефективності процесу доставки зернових культур.

Специфікою зернової галузі України є: зростання врожайності зернових культур, використання більш ефективної збиральної техніки та будівництво нових елеваторів, що сприяє підвищенню частоти залучення автомобільного транспорту у процес доставки на етапі «сільськогосподарське підприємство – елеватор».

З метою забезпечення ефективності транспортного процесу доставки зернових культур потрібно розробляти рішення з погляду концепції «Сільське господарство 4.0», яка передбачає:

- раціональний підхід до формування транспортно-технологічних схем доставки зернових культур;
- моніторинг енергоефективності транспортного процесу, тривалості включення у процес людських ресурсів;
- зниження негативного впливу на довкілля через мінімізацію не тільки витрат на транспортування, а й викидів CO₂;
- зменшення втрат зернових культур через раціональне використання збирально-транспортного комплексу;
- впровадження обчислювального інтелекту у процес планування доставки зернових культур.

2. Проведений аналіз літературних джерел, у яких застосовано машинне навчання, дозволив визначити методи, які найчастіше використовуються у моделюванні процесів вантажних перевезень. Виявлено переваги та недоліки кожного із цих методів, а також встановлено спільні напрями використання у логістичних системах. На основі сформованих напрямів застосування алгоритмічних моделей машинного навчання можна

стверджувати, що вибір оптимальної моделі передбачає порівняльний аналіз результатів роботи декількох моделей.

3. У процесі дослідження встановлено, що найбільш поширеними та точними є методи машинного навчання, які реалізовано у відповідних моделях, а саме: моделі GLM узагальненої лінійної регресії, моделі DL глибинного навчання, моделі DT дерева рішень та моделі RF випадкового лісу.

4. Аналіз існуючих в практиці методів та моделей вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки вантажів дозволив встановити, що існуючі моделі не враховують багатьох явищ та чинників імовірнісної природи, які притаманні процесу доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора. Зокрема, не враховується те, що витрати пального, як основної складової собівартості процесу доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, значною мірою зумовлюються особливостями конкретних замовлень.

5. У результаті вивчення теоретичних основ підвищення ефективності транспортного процесу доставки зернових культур виявлено, що в наукових працях недостатньо приділено уваги питанню формування нових методів вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень.

6. Встановлено, що для удосконалення організації транспортного процесу доставки зернових культур необхідно розробити новий метод вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора. Даний метод включатиме модель машинного навчання для прогнозування витрат палива, щоб забезпечити найбільш ефективний підбір ТЗ за критерієм мінімальної собівартості для виконання наявних замовлень.

Наведені в даному розділі результати опубліковані у наукових виданнях [76; 77] та в тезах міжнародної [78;79] та регіональної конференцій [13].

РОЗДІЛ 2

ПЛАНУВАННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР НА ОСНОВІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ПІДХОДУ

2.1 Особливості процесу доставки зернових культур до елеватора

Процес доставки зернових культур, як і будь-якого іншого виду вантажу, являє собою комплекс послуг з переміщення вантажу від виробника до споживача та включає виконання послуг, що забезпечують відправлення, перевезення і отримання вантажу, зокрема можливе оформлення товаросупровідних, перевізних та інших документів. При цьому сам процес транспортування, до якого належать операції навантаження, безпосереднього переміщення та вивантаження вантажу [80], має ряд особливостей. Зокрема, замовлення із доставки зернових культур до елеватора виконуються лише за маятниковими маршрутами від одного сільськогосподарського підприємства незалежно від обсягу вантажу. Під час виконання транспортування даного вантажу неможливо обслуговувати декількох вантажовласників за одним маршрутом. Це зумовлено недопустимістю змішування зернових культур, які мають свою якість, рівень вологості та вид. При цьому маршрути обираються за мінімальною відстанню та є однаковими незалежно від виду та вантажності транспортних засобів. Транспортування зернових культур у сезон збору виконується лише за погожих проміжків часу з метою забезпечення необхідного рівня вологості.

Для автотранспортного підприємства, що здійснює доставку зернових культур типовий процес виконання замовлень має наступний вигляд (рис. 2.1).

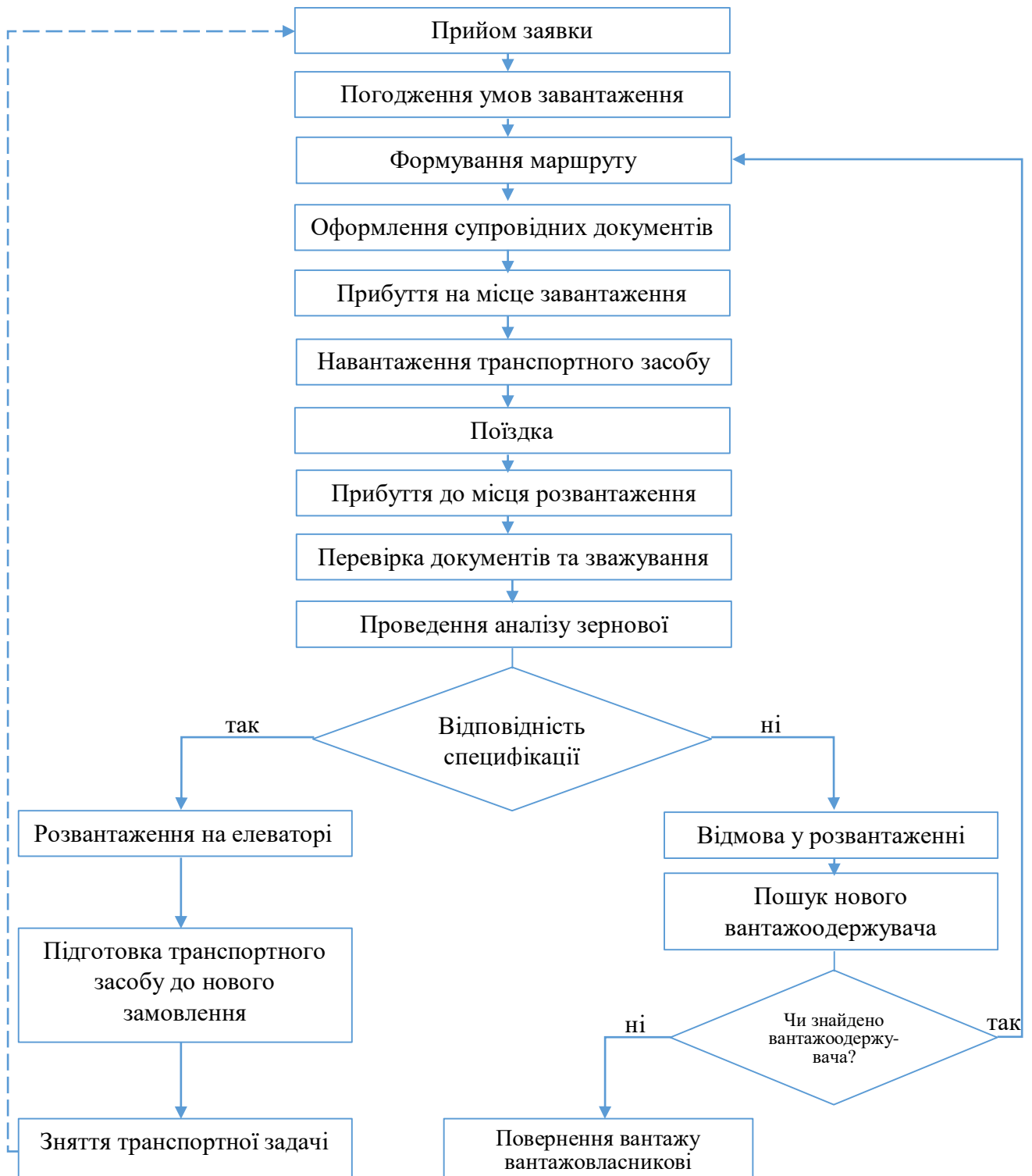


Рисунок 2.1 – Алгоритм реалізації процесу доставки зернових культур до елеватора

Основним видом транспорту у сільськогосподарському підприємстві є автомобільний, його частка становить до 80% обсягу перевезень усіх

сільськогосподарських вантажів [81]. Також при транспортуванні сільськогосподарської продукції існує перевага автомобільного транспорту в порівнянні із тракторним. Це зумовлено можливістю більш ефективного його використання в умовах великомасштабного сільськогосподарського виробництва. При порівнянні прямих експлуатаційних витрат на перевезення сільськогосподарських вантажів автомобільним та тракторним транспортом виявлено, що більш економічно вигідним є автомобільний транспорт. Це зумовлено як і нижчою вартістю автомобіля на одиницю вантажопідйомності у порівнянні з вартістю трактора із причіпом, так і більш високою заробітною платою водія автомобіля, ніж у тракториста. Проте витрати праці автомобільного та тракторного транспорту на польових дорогах у гарному стані є однаковими при відстані перевезення 2–3 км, а в період бездоріжжя – 8 км [83; 82].

У дослідженні [84] зазначено, що ефективне обслуговування сільськогосподарського виробництва автомобільним транспортом, досягається врахуванням специфіки перевезень у цій галузі.

Через специфіку вантажу досить поширеною проблемою автотранспортного підприємства, що здійснює транспортування зернових, є місце завантаження. Оскільки більшість навантажувальних робіт відбувається на сільськогосподарських підприємствах, то проблема полягає у відсутності технічної та інфраструктурної бази. У великих сільських господарствах є навантажувачі та силоси, з яких можна завантажувати зерно безпосередньо у кузов транспортного засобу, а в менших господарствах таких засобів немає. Результатом цієї проблеми є неможливість точно спланувати час руху автомобіля до місця призначення, що призводить до збільшення робочого часу.

Перевезення зернових також характеризується тим, що вантаж може змінювати свою вагу при транспортуванні. Так, явище зміни ваги вантажів, що перевозяться, можливе при довготривалому транспортуванні. Вантажі, такі як зерно, можуть втратити вагу в результаті атмосферних умов (наприклад,

високої температури або низької вологості). Результати досліджень [37] показують, що найбільший вплив на прибуток автотранспортної компанії, яка здійснює доставку зернових культур, мають транспортний засіб (витрата палива окремими транспортними засобами), водій (стиль водіння) та період (сезон — середня температура, погодні умови). З іншої боку, такі фактори, як робочий час, пройдена відстань або середня швидкість, також мають значний вплив та дозволяють раціонально планувати транспортний процес.

Наступною особливістю перевезень зернових культур також є те, що дороги до місць завантаження часто можуть бути без твердого покриття, проходити через населені пункти, де існують обмеження на максимальне осьове навантаження, габарити, тощо. У збирально-транспортних операціях ТЗ доводиться рухатись по полю транспортуючи сільськогосподарську продукцію від збиральної техніки до місць складування [85]. Робота рухомого складу при перевезення зернових культур від зернотоку до елеватора характеризується великими відстанями транспортування, яке може досягати 100-150 км, та відносно хорошими дорожніми умовами [84; 86].

Якість зернових культур дуже важлива в транспортному процесі. Незважаючи на те, що перевізник не несе відповідальності за якість зерна, він все одно обтяжений усіма пов'язаними з цим негативними наслідками. Процес контролінгу заснований на заборі зерна для лабораторного аналізу при прибутті завантаженого транспортного засобу на елеватор. У разі виявлення невідповідності якості товару в місці вивантаження першою ланкою перевіряється перевізник. Тоді ставиться під сумнів чистота вантажного простору, яку вантажовласник повинен перевірити перед завантаженням. У випадку перевірки чистоти поверхні завантаження під час завантаження вантажу транспортна компанія звільняється від відповідальності за якість товару. Неможливість вивантажити товар через неякісність у місці, зазначеному в замовленні, спричиняє низку негативних наслідків. Визначення нового місця продажу та нової ціни товару між клієнтом (елеватором) та власником товару (сільським господарством) часто займає декілька годин.

Нове місце розвантаження також може знаходитися на далекій відстані від початкового. Крім того при транспортуванні зернових культур не належної якості можливі випадки, коли вантаж повертається вантажовідправнику. Така операція призводить до негативних наслідків, а саме: неможливість прийняти наступне замовлення; робочий час та час водіння водія взагалі не використовується через простої, спричинені очікуванням подальших кроків; приховані витрати втрачених можливостей, які, незважаючи на компенсацію за простої та перенаправлення, все одно переважають дохід від усієї транспортної операції.

Діяльність з розвантаження, зокрема тривалість і час розвантаження, найважче визначити компаніям-виробникам (одержувачам вантажу), зокрема щодо зернових культур. Останнім часом все частіше виникає необхідність заздалегідь бронювати так зване часове вікно, що дозволяє в'їзд на територію елеватора та розвантаження. На практиці впровадження такого типу рішень потребує передусім зміни внутрішньої організації компаній. Він передбачає стандартизацію праці та обов'язків працівників. Однак при транспортуванні зернових культур важко вибрати систему, яка виключає або скорочує час простою розвантаження до мінімуму.

Недоліком використання так званих часових вікон є безпорадність експедитора в ситуаціях, які неможливо передбачити, таких як затори, аварії, несправності транспортних засобів і незаплановані зупинки під час завантаження. Проте у процесі планування та організації перевезень це дуже корисний інструмент для транспортних підприємств, який оптимізує процеси розвантаження, головним чином час, а також планування та виконання наступних замовлень [37].

Окрім того, перевезення сільськогосподарської продукції можна охарактеризувати сезонністю, нерівномірністю та обмеженістю в часі. Особливе зростання інтенсивності перевезень вантажу можна спостерігати при виконанні сівби та збору врожаю [87]. Як зазначають науковці [88], складова погодних умов має суттєвий вплив як на склад збирально-

транспортного комплексу, так і на його перебіг, тобто швидкість протікання процесів, змінність його складових, наприклад, чи достатньо буде транспортних засобів, якими володіє підприємство для виконання збирально-транспортних робіт, яку їх кількість необхідно буде залучити.

На процес доставки зернових культур також впливають основні нормоутворюючі фактори вантажоперевезень до яких належать: вид транспортного засобу та його вантажопідйомність; швидкість руху; відстань перевезень; спосіб, технологія й організація навантаження та розвантаження [89].

Витрати на транспортування та навантажувально-розвантажувальні роботи становлять близько 35-40 % загальних витратах у виробництві сільськогосподарської продукції. Підвищення ефективності цих робіт є одним з основних напрямів зниження собівартості сільськогосподарської продукції та зростання рентабельності підприємств агропромислового комплексу [17].

Більшість дослідників дійшли висновку [17; 41; 66; 82; 84;], що витрати палива транспортними засобами є основною складовою собівартості виконання перевезення, а їх частка у процесі транспортування сільськогосподарської продукції складає близько 40 % [84]. Дослідники також зазначають, що ефективність використання вантажного автомобільного транспорту у сільському господарстві найбільш суттєво залежить від вантажопідйомності автомобілів та їх витрат пального [66; 84].

Отже, доцільно вважати, що основним напрямом удосконалення транспортного процесу доставки зернових культур є зниження витрат пального транспортними засобами, що здійснюють перевезення.

Дослідження факторів [41], що безпосередньо впливають на основну складову витрат транспортного процесу — витрату палива дозволило виокремити чотири основні групи: фактори, пов'язані з автомобілем, фактори, пов'язані з навколишнім середовищем, фактори, пов'язані з водінням, та фактори, пов'язані з дорожніми умовами. Фактори, пов'язані з транспортним засобом, включають три види: технічний стан двигуна, технічний стан системи

приводу та технічний стан системи трансмісії. Фактори, пов'язані з навколишнім середовищем, можна розділити на чотири основні аспекти: середня температура, вологість, вітер та інші погодні умови. Відмінності в продуктивності водіїв щодо споживання палива відображаються як у довгостроковій, так і в короткостроковій перспективі. Довгострокова ефективність буде чітко розділена на довгострокові стилі водіння, довгострокові звички водіння та кваліфікацію водія. Навпаки, короткострокова продуктивність включає стиль водіння, на який впливають погода та період [41]. Фактори, пов'язані з дорожніми умовами, включають особливості стану поверхні проїзної частини та геометрію дороги, такі як кривизна та нахил дороги [90].



Рисунок 2.2 – Фактори, що впливають на процес доставки зернових культур до елеватора

Зважаючи на особливості доставки зернових культур та підходи до формування факторів впливу на транспортний процес було виокремлено та згруповано фактори, що впливають на ефективність процесу доставки зернових культур до елеватора (рис. 2.2). Розуміння особливостей та

важливості впливу конкретних факторів на транспортний процес доставки зернових культур, в свою чергу, дозволяє ефективніше здійснювати його моделювання.

2.2 Формування попиту та особливості моделювання процесу доставки зернових культур до елеватора

Попит на зерно та пов'язану з ним діяльність формує попит на його транспортування. Оцінити попит на перевезення сільськогосподарської продукції необхідно для аналізу транспортної політики та прийняття рішень щодо планування стратегічної діяльності перевізників. Загальне поняття попиту на перевезення вантажів відображає кількість потреб у перевезеннях та додаткових транспортних послугах відповідно до ціни та обсягу. Кількісна оцінка на будь-який вид транспортних послуг розраховується після визначення меж транспортного ринку, на якому здійснюється або планується транспортна діяльність [91].

Попит на транспортні послуги можна визначити за такими методами:

- прямий розрахунок – визначається для кожного виду послуг. Розраховується множенням фактичного обсягу виробництва транспортних послуг на коефіцієнт росту ринку і на коефіцієнт повторності перевезень періоду, що передує розрахунку. Коефіцієнт росту визначається за даними експертів або власними дослідженнями;
- експертний – розраховується як середня оцінка по групі експертів і представляється як імовірнісна характеристика;
- експериментальний – визначається вимірюванням фактичного обсягу попиту за допомогою опитувань різних груп і суб'єктів ринку (клієнтів, посередників);

- математичний – найбільш точний, трудомісткий та структуризуючий. Передбачає аналіз ряду статистичних даних, даних обліку державних довідників.

Особливостями попиту автотранспортної діяльності є:

- нерівномірність попиту у часі і просторі за рахунок сезонності перевезень, структури вантажопотоків, структури споживання, якості і рівня споживачів, рівня технологічного розвитку;

- вторинність виникнення транспортного попиту, що задовольняється за допомогою транспорту.

Серед вітчизняних науковців, які досліджували оцінку попиту на транспортування, варто виокремити В.С. Наумова [92], А.В. Іванченка [93], Я.В. Літвінову [94]. Результати їхніх досліджень визначили, що попит на транспортне обслуговування – це потреба клієнта в послугах, підкріплена купівельною спроможністю й представлена на ринку для її задоволення. Елементарною одиницею, що формує попит, є заявка. Заявка на обслуговування є підставою й причиною взаємодії між елементами логістичної системи доставки вантажів – експедитором, перевізником, вантажним терміналом і вантажовласником. Сукупність потенційних і реальних заявок на послуги підприємства утворюють попит на його послуги, відповідно, сукупність заявок на послуги всіх підприємств регіону являє собою попит на транспортні послуги в регіоні. Кожна заявка може бути кількісно оцінена набором показників, найбільш важливими з яких є обсяг партії вантажу, відстань доставки й інтервал надходження заявки. Оскільки сукупність послідовних заявок на послуги транспортних підприємств характеризує попит, то завдання оцінки попиту на транспортне обслуговування перетворюється в завдання визначення параметрів потоку [94].

Імітаційна модель транспортного процесу перевезення сільськогосподарських продуктів, розроблена Сидорчуком О. В., Боярчуком В. М., Кригульом Р. Є. [95], базується на дослідженні заявок. У моделі

транспортного процесу використані такі показники як: кількість заявок, що надходять з окремого населеного пункту; обсяги надходження вантажу в окремо взятій заявці; інтенсивність надходження заявок по днях впродовж сезону заготівлі. Моделювання здійснюється за такими етапами:

- 1) обґрунтування обсягу дії приймального пункту;
- 2) визначення показників ефективності функціонування системи для різних конфігурацій парку автомобілів;
- 3) на підставі мінімальних питомих зведених витрат функціонування— обґрунтовують оптимальний варіант.

Дослідження попиту на перевезення зернових культур на етапі «зерновий елеватор-морський термінал» представлене у працях вітчизняних науковців Шраменко Н.Ю., Музильова Д.О. та Карнауха М.В. [96]. Запропонована нечітка модель управління планування перевезень дозволяє на основі наближених розрахунків врахувати невизначеність вхідної (що надходить) інформації, представленої у вигляді нечітко визначених параметрів, обмежень і критеріїв, які виводяться з детального аналізу технології оперативного планування перевезеннями. Модель має два вхідних параметри:

- 1) очікувані темпи зміни попиту на перевезення сільськогосподарського вантажу в плановий період, $t (\Delta SD)$;
- 2) оптимальний рівень завантаження рухомого складу;

Вихідною змінною є дискретний показник рівні якого відповідають управлінським рішенням, спрямованим на формування раціональної структури парку автомобілів на оперативний період планування.

Для аналізу попиту застосовують показник швидкості зміни попиту, який визначається, як очікувані темпи зміни даного показника на перевезення зерна в інтервалі між прибуттям двох кораблів, тобто на період планування [67]:

$$\Delta SD = \frac{D_{after}^{sh2} - D_{before}^{sh1}}{I_{sh1}^{sh2}}, \quad (2.1)$$

де D_{before}^{sh1} – фактичне значення попиту вантажопідйомність автомобілів перед прибуттям першого судна в порт, тобто на початок планування, т;

D_{after}^{sh2} – прогнозне значення попиту на перевезення зерна перед прибуттям другого корабля в порт, яке визначається на підставі завантаженості терміналу зерном і тоннажності самого судна, т. Враховує тенденцію зміни попиту на перевезення;

I_{sh1}^{sh2} – інтервал між заходом в порт попередніх і наступних кораблів, днів.

Даний показник характеризує часовий горизонт планування перевізного процесу.

Від’ємне значення показника швидкості зміни попиту свідчить про зниження обсягів перевезень, що призведе до зменшення кількості автомобілів або ж вантажопідйомності, а можливо двох показників одночасно.

Позитивне значення швидкості зміни попиту свідчить про збільшення перевезення зерна, що говорить про необхідність збільшення провізних можливостей парку автомобілів.

З огляду наукових джерел, які стосуються дослідження попиту на перевезення, встановлено, що визначення попиту на транспортування зернових культур варто здійснювати на підставі даних із заявок, які надходять на транспортне підприємство. Також доцільно розраховувати показники функціонування парку транспортних засобів та встановлювати критерій ефективності, що дозволить приймати управлінські рішення.

На сьогодні, для забезпечення ефективної зернової логістики, на нашу думку, варто розглянути формування попиту на вантажні перевезення зернових, яке виникає від початку ланцюга постачання, а саме фермерського господарства (сільськогосподарського підприємства).

На Рисунку 2.3 представлена схема формування попиту на перевезення зернових культур від місця їх вирощування до елеватора, де відбувається подальша переробка та розповсюдження. Суцільними стрілками зображено рух зернового потоку, пунктирною стрілкою – попит на вантажні перевезення

зернових. Також на Рисунку 2.3 відображено основні функції кожного пункту у логістичному ланцюзі постачання зернових культур.



Рисунок 2.3 – Формування попиту на перевезення зернових культур

З точки зору сільськогосподарського підприємства попит на перевезення зернових культур у логістичному ланцюзі постачання зернових культур (рис. 2.3) виникає під впливом низки чинників, які виникають на кожному з його етапів доставки. Структурні зміни у зерновій галузі, такі як: зменшення кількості місць прийому урожаю, збільшення вантажопідйомності автомобілів, підвищення ефективності транспортно-збирального комплексу та нові форми зберігання зерна, впливають на вибір фермерським господарством сценарію логістичного ланцюга постачання, а, отже, на зернову логістику в цілому.

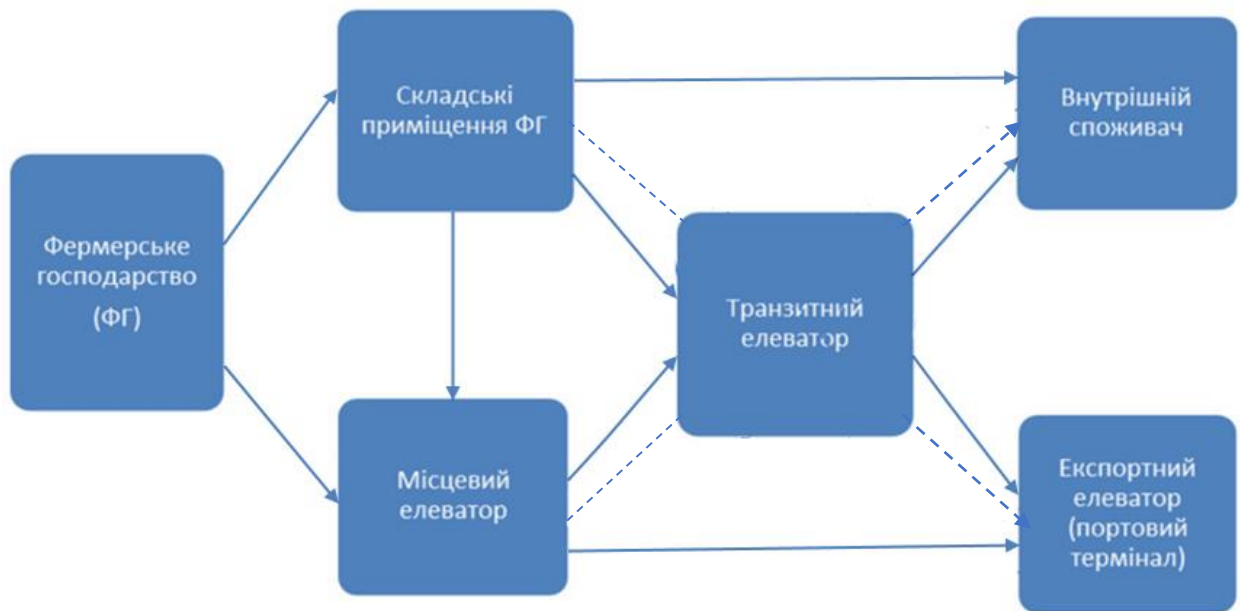


Рисунок 2.4 – Схема зернових потоків у логістичному ланцюзі постачання зернових культур [67;97]

На Рисунку 2.4 відображено можливі потоки зерна від сільськогосподарського підприємства, формуючи при цьому різні можливі сценарії логістичного ланцюга доставки зернових культур [97]. Найбільш поширеним сценарієм зернового потоку в Україні є експортування зернових культур : від сільськогосподарського підприємства (поля) до місця прийому в країні (елеватора), а потім – до портового елеватора. Для сільськогосподарського підприємства, яке продає зерно для домашнього споживача, зерно надходить із поля на внутрішнє зберігання, а згодом і до кінцевого споживача. Менш поширеним є напрямок, який передбачає переміщення врожаю безпосередньо з місця початкового зберігання (фермерського господарства) до зернового порту.

Якщо на території фермерського господарства доступне сховище, то зберігання зернової культури відбувається у власних приміщеннях. Коли це сховище заповнене, тоді решта зерна транспортується до сусіднього сховища в країні, на цьому етапі швидкість збору врожаю зазвичай сповільнюється

через обмеження на відкриття місця прийому, транспортування та зростання вологості зерна.

На тривалість збору врожаю впливають такі чинники як: площа врожаю, врожайність, швидкість збору врожаю, вантажність вантажівки, швидкість вантажівки, швидкість навантаження-розвантаження, відстань до приймального пункту і години його роботи [98].

Моделювання транспортних процесів у ланцюгах постачання зернових культур дозволяє не тільки побудувати модель для аналізу, оптимізації структури маршрутів і вибору вантажопідйомності транспорту, а також спрогнозувати обсяг перевезень з оцінкою їх впливу на основні показники ефективності, зниження витрат часу і ресурсів на виконання логістичних операцій.

На сьогодні не існує чітких рекомендацій, що могли б забезпечити ефективно моделювання процесу транспортування у ланцюгах поставок зернових культур в Україні. Досвід зарубіжних дослідників [99] показує, що моделювання процесу транспортування кукурудзи, сої та пшениці у ланцюгах поставок, варто проводити із врахуванням часу (кількість часу, який потрібен одиниці зерна для переміщення від виробничого вузла, тобто ферми, до експортного терміналу), витрат (призначена для обліку змінних витрат логістичного ланцюжка поставок на переміщення зерна між фермою та елеватором) та регламентів, що обмежують транспортні потоки.

Для моделювання транспортного процесу доставки зернових культур від сільськогосподарського підприємства до елеватора розглянемо процес доставки зерна як систему, що містить у собі множину допустимих альтернатив для прийняття раціонального рішення.

Система являє собою множину взаємозв'язаних елементів, відокремлену від середовища, що взаємодіє з ним, як єдине ціле [100]. Процес доставки зернових культур від сільського господарства до елеватора має усі притаманні системі ознаки, а саме:

- являє собою цілісний комплекс взаємозв'язаних елементів;

- утворює єдність із середовищем;
- є елементом «надсистеми»;
- елементи процесу можуть бути системами нижчого порядку [101].

Модель типу «чорний ящик» представляє концептуальну модель для моделювання процесів системи та відображає їх взаємодію із середовищем наступним чином:

1) вплив процесів системи на зовнішнє середовище через результати її функціонування, тобто вихід системи;

2) вплив зовнішнього середовища на систему через множину контрольованих і неконтрольованих факторів, які сприяють або перешкоджають нормальному функціонуванню системи (входи системи) [102].

Зважаючи на специфіку транспортного процесу доставки зернових культур та наявну інформацію у заявках, що отримує перевізник, вхідними змінними моделі можуть бути: обсяг вантажу, відстань доставки, вид зернової культури та її спосіб завантаження, а також вантажність доступних транспортних засобів.

Модель «чорного ящика» також повинна містити явний критерій ефективності, який дозволить визначити, наскільки рішення близько до цілі («виходи») [103]. У випадку моделювання транспортного процесу доставки зернових культур від сільського господарства до елеватора таким критерієм є мінімальні транспортні витрати.

Незважаючи на простоту концептуальної моделі «чорного ящика», вона дозволяє на початку процесу моделювання визначити, які змінні варто включити в модель, а які виключити, а також встановити основні фактори, що впливають на досліджувану результуючу змінну.

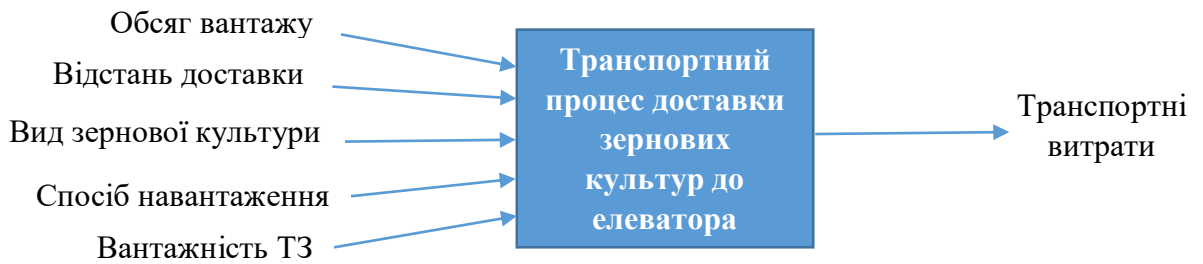


Рисунок 2.5 – Модель «чорний ящик» транспортного процесу доставки зернових культур до елеватора

На основі проведеного дослідження сформовано концептуальну модель транспортного процесу доставки зернових культур до елеватора (рис. 2.5) із вхідними та вихідними змінними, яка дозволяє врахувати особливості даного процесу для подальшого моделювання.

2.3 Інтелектуальний підхід до прогнозування витрат пального транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Перед дослідниками постійно існує проблема підвищення точності моделювання транспортних процесів з метою зменшення транспортних витрат, підвищення ефективності доставки вантажів, зниження ризиків, пошуку ключових факторів ефективності. Поряд з цим використання обчислювального інтелекту може стати дієвим інструментом для покращення ефективності таких моделей [86; 104].

Процес транспортування сільськогосподарських вантажів має свої особливості для автотранспортного підприємства, а саме застосування спеціалізованого транспорту (наприклад, зерновозів) та необхідність враховувати властивості вантажу такі як сипучість, вологість, дихання, самонагрівання (зерно, кукурудза, борошно та інші). Крім того перевізнику варто враховувати вплив на транспортний процес людського фактора та погодніх умов. Фермерські господарства для транспортування своєї продукції,

як правило, обирають перевізника орієнтуючись на вартість послуг. Саме тому перед підприємством постає завдання планування транспортного процесу з метою раціоналізації витрат та формування ринкової ціни на свої послуги.

Доцільність застосування моделей машинного навчання, як складової штучного інтелекту, для моделювання транспортних процесів доведено світовими та вітчизняними науковцями [33 – 38; 42 – 44; 105; 106]. При цьому моделювання за допомогою алгоритмічних моделей машинного навчання має як свої переваги, так і недоліки [49] та передбачає використання обчислювального інтелекту. В основному моделі машинного навчання вирішують завдання прогнозування, класифікації та кластеризації, що може застосовуватись для вантажних перевезень. Інтелектуальний підхід у алгоритмічних моделях машинного навчання має загальний патерн застосування, який реалізується у декілька етапів. На основі цих та інших досліджень спроектуємо власну алгоритмічну модель машинного навчання для прогнозування витрат пального транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора (рис. 2.6).

Етап 1. Передбачає формування набору факторів, що впливають на вихідний показник. Для транспортного процесу перевезення сільськогосподарських вантажів варто розглянути наступні: відстань доставки, вид вантажу, тривалість доставки, вантажність транспортного засобу, коефіцієнт змінності, коефіцієнт використання вантажності, коефіцієнт використання пробігу, середня швидкість, погодні умови, витрата палива, тощо.

Етап 2. Після виокремлення найбільш значущих факторів, наступним кроком є збір та впорядкування даних моделі машинного навчання. Тут варто враховувати особливості обліку автотранспортного підприємства, оскільки не кожне підприємство може надати великий масив даних стосовно виконаних транспортних послуг.

Етап 3. Із зібраної інформації за декілька періодів формується вибірка.

Видаляються нетипові екземпляри даних (поїздки) з вибірки, щоб зменшити зашумлення даних. Проводиться нормалізація даних для кількісних змінних та якісних змінних. Нормалізацію вибірок даних необхідно здійснювати, щоб усунути різницю цих змінних між собою за абсолютними величинами. Нормалізація даних приводить всі задіяні числові значення змінних до однакового діапазону їх зміни, завдяки цьому з'являється можливість використовувати змінні разом в одній моделі машинного навчання [105]. Здійснити розподіл вибірки на начальну та контрольну.

Етап 4. Вибір моделей машинного навчання та подальше їх застосування безпосередньо до відібраних даних поділяється на три етапи:

4.1. Проектування: на цьому етапі вибирається алгоритми навчання, та визначається структура моделі.

4.2. Навчання: етап передбачає встановлення моделлю взаємозв'язків у вхідних навчальних даних. Навчальна вибірка попередньо поділяється для два набори даних: безпосередньо для навчання (80%) та для перевірки якості навчання (20%). Досить поширеною проблемою моделей машинного навчання є їх схильність до перенавчання, тому на цьому етапі також доцільно застосовувати різні методики для його усунення. Під час перенавчання модель детально описує навчальний набір даних, проте не працює з даними, що не увійшли до цієї вибірки [39].

4.3 Узагальнення: після досягнення умови виходу з навчання, розпочинається процес перевірки якості навчання. Після тривалих експериментів, вибирається така структура за якої показник якості навчання є найвищим.

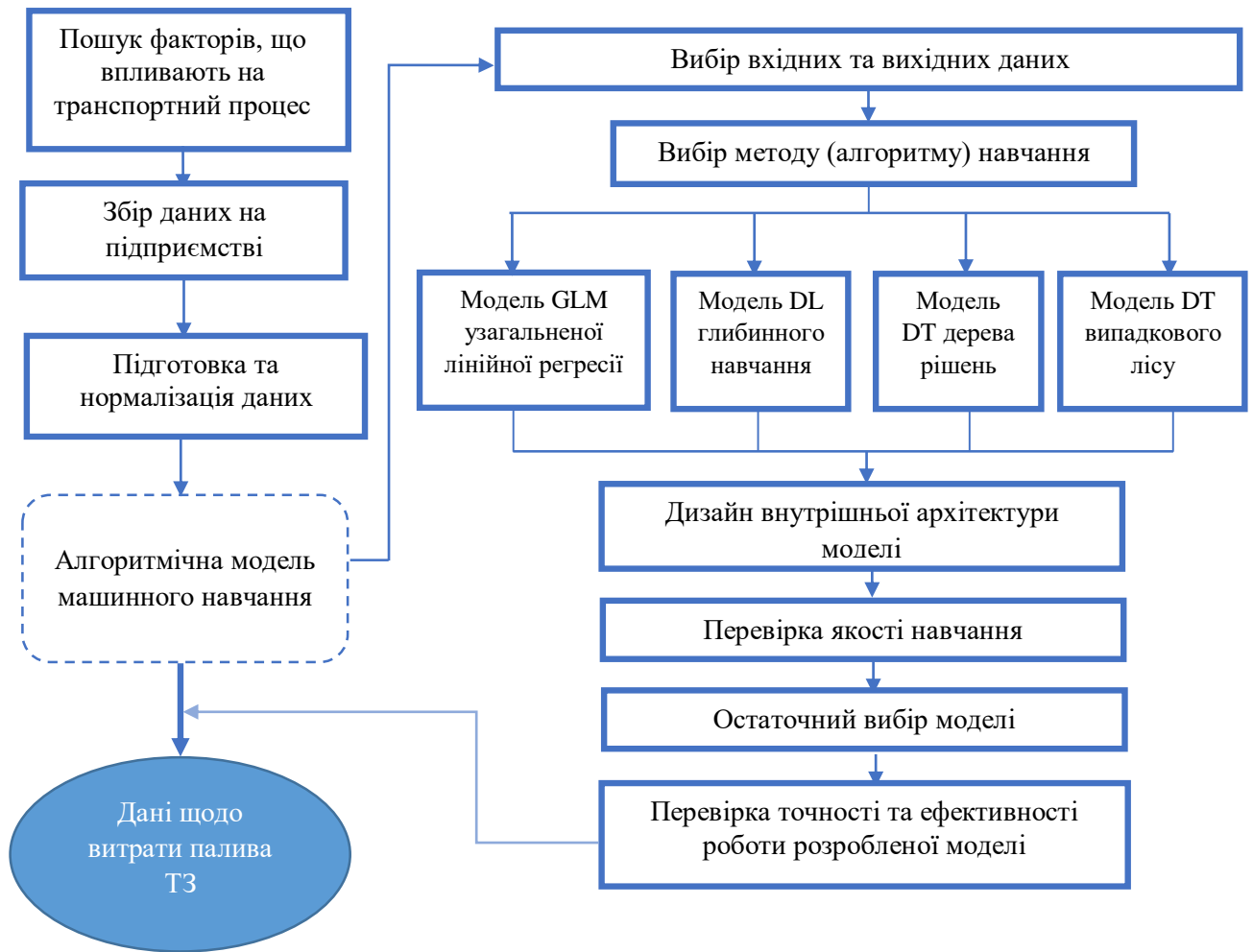


Рисунок 2.6 – Схема моделі машинного навчання для одержання даних щодо витрат пального транспортними засобами (ТЗ) під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Етап 5. Перевірка роботи алгоритмічної моделі машинного навчання на контрольних даних.

Етап 6. Проведення аналізу вихідного показника (витрат палива транспортним засобом) до вхідних даних, виявлення найбільш важливих факторів та прийняття рішень на основі отриманих результатів.

Отже, запропонована модель машинного навчання для оперативного планування транспортного процесу перевезення сільськогосподарських вантажів дозволить визначити найбільш важливі фактори впливу на витрату

палива транспортним засобом [49]. Розроблена модель потребує подальшої практичної реалізації та може бути використана як основа для формування системи прийняття рішень для оперативного планування діяльності транспортного підприємства.

2.4 Обґрунтування даних для прогнозування витрат палива транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Відомо, що для розв'язання багатьох задач у транспортній галузі розробляють та використовують інтелектуальні інформаційні системи та програмні комплекси [106 – 110]. При цьому інтелектуальні інформаційні системи у транспортних системах є одним із різновидів автоматизованих інформаційних систем підтримки прийняття рішень, які базуються на різного роду знаннях із галузі транспортних технологій. Зокрема, автотранспортні підприємства використовують інтелектуальні інформаційні системи підтримки прийняття рішень, які є їх користувачами, отримують фахові рекомендації щодо підтримки прийняття рішень під час вирішення задач у своїй діяльності.

У теперішній час автотранспортні підприємства надають свої послуги, враховуючи ринкові умови, які характеризуються дефіцитом пального та його високою вартістю на ринку. Витрати пального у наданні транспортних послуг під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора є основним ресурсом, який формує вартість надання зазначених транспортних послуг. Отже, на сьогодні досить актуальною є задача прогнозування витрат палива транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора. Її вирішення потребує використання сучасних підходів із врахуванням чинників та можливостей окремих автотранспортних підприємств.

Автотранспортні підприємства, які надають транспортні послуги із доставки вантажів, в тому числі і доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, мають власні бази даних стосовно їх діяльності за попередні роки [111]. Інтелектуальний аналіз цих даних є одним із основних джерел отримання інформації щодо особливостей надання транспортних послуг та умов використання транспортних засобів. З метою отримання такої інформації слід відшукати складні закономірності та виявити взаємозв'язки між окремими атрибутами даних.

Для інтелектуального аналізу даних стосовно використання транспортних засобів під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора та отримання із них інформації нами використано базу даних ТОВ «Волинь-Зерно-Продукт» (м. Луцьк, Волинська область) за 2019-2021 роки. Саме це підприємство має власний автопарк на надає послуги доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеваторів.

На підставі проведення розвідувального аналізу даних виконано детальний їх опис на підставі врахування атрибутів, які характеризують використання транспортних засобів під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора. Це дало можливість встановити, що для вирішення задачі прогнозування витрат пального (FFC_r) (Forecasting fuel consumption) r -ми транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, потрібно використовувати дані BD із атрибутами:

1) vehicle_brand – марка транспортного засобу (DAF 85.300, DAF 95.380, DAF CF85, DAF CF85.410, DAF CF85.430, DAF FT CF 85.410, DAF FT XF 105, DAF FT XF 105.410, DAF FT XF 105.460, DAF FT95.430, DAF XF 105.460, DAF XF95.480, Freightliner FLC-120, Mercedes-Benz Atego818, КАМАЗ 45143-012-15, МАЗ 543205-020);

- 2) `type_cargo` – вид вантажу (жито, зерно, зернопродукти, зерносуміш, кукурудза, овес, просо, пшениця, кукурудза, ріпак, ріпак/пшениця, соняшник, соя, соя в багах, ячмінь);
- 3) `total_distance` – загальна відстань доставки, км;
- 4) `actual_fuel_consumption` – фактичні витрати палива, літрів;
- 5) `specific_fuel_consumption` – питомі витрати палива, літрів/100км;
- 6) `freight_traffic` – вантажообіг, т.км;
- 7) `cargo_volume` – обсяг вантажу, тон.

Отримані дані стосовно використання транспортних засобів під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора збережено у таблицю, фрагмент якої подано у додатку А.

Для підготовки даних з метою виконання прогнозування витрат палива транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, а також їх відповідного представлення використовували інтерактивні електронні таблиці Mito [112]. Mito є однією із бібліотек мови програмування Python. Окрім того, для проведення досліджень використовували середовище Jupyter Notebook (рис. 2.7).

На підставі проведеного розвідувального аналізу даних встановлено, що деякі із них мають нечислові значення, аномальні та відсутні значення. Усі аномальні та відсутні значення даних у подальшому не враховували і їх було виключено із загальної вибірки.

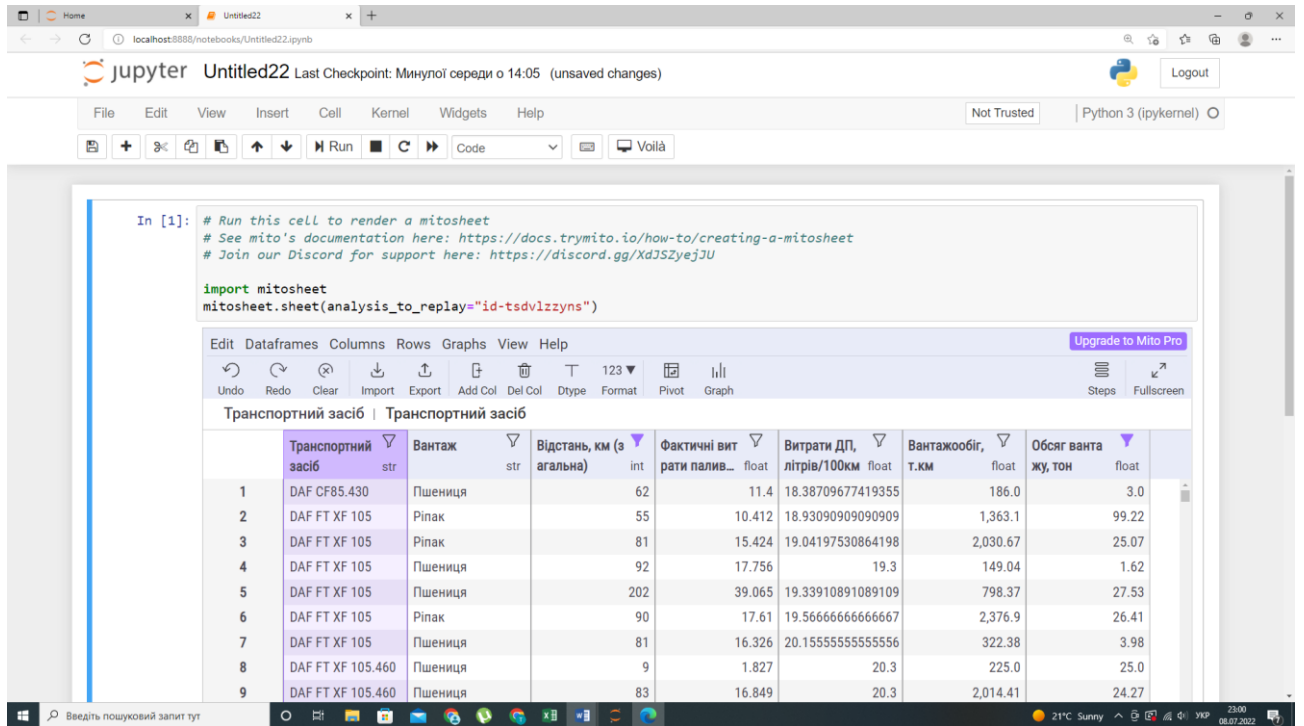


Рисунок 2.7 – Вікно із інтерактивною електронною таблицею Mito підготовки даних для виконання прогнозування витрат палива транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

На підставі характеристик даних для прогнозування витрат палива транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора варто зазначити, що використовується їх три типи – номінальні (марка транспортного засобу, вид вантажу), цілочисельні (загальна відстань доставки) та дійсні (фактичні витрати палива, питомі витрати палива, вантажообіг та обсяг вантажу) (табл. 2.1). Встановлено, що за марками та моделями транспортних засобів найбільше використовувалися під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора автомобілі DAF FT XF 105 – 6949 замовлень, що становить 49,1% впродовж досліджуваного періоду, а найменше використовувалися автомобілі Mercedes-Benz Atego818 – 5 замовлень.

Таблиця 2.1– Характеристики даних для прогнозування витрат палива транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Атрибути даних	Типи даних	Значення даних			
		міні-мальне	Макси-мальне	середнє	відхилення
vehicle_brand – марка транспортного засобу	Nominal	Mercedes-Benz Atego818 (5)	DAF FT XF 105 (6949)	–	див. табл. Б.1
type_cargo – вид вантажу	Nominal	Пшениця/ навантажувач (1)	Пшениця (7316)	–	див. табл. Б.2
total_distance – загальна відстань доставки, км	Integer	1	1125	100,44	124,42
actual_fuel_consumption – фактичні витрати палива, літрів	Real	0,293	473,2	45,74	52,41
specific_fuel_consumption – питомі витрати палива, літрів/100км	Real	16,864	99,96	48,11	8,65
freight_traffic – вантажообіг, т.км	Real	1,0	28777,5	2485,32	3090,85
cargo_volume – обсяг вантажу, тон.	Real	0,75	1667,9	45,8	75,02

Характеристики виконаних замовлень окремими транспортними засобами під час доставки зернових культур подано у табл. Б.1 (див. додаток Б). Окремі замовлення із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора стосовно виду вантажу також характеризувались значною різницею. Зокрема, кількість замовлень на транспортування окремих зернових культур знаходиться в межах 1...7316 замовлень, найбільша кількість припадає на транспортування пшениці – 7316 од, а найменша пшениця із навантажувача – 1 замовлень. Стосовно фактичної витрати палива під час виконання транспортних послуг, то вона коливається у межах 0,293...473,2 літрів із середнім значенням 45,74. Водночас, питомі витрати палива під час виконання окремих транспортних послуг коливаються у межах 16,86...99,96 літрів/100км із середнім значенням 48,11. Вантажообіг під час виконання окремих транспортних послуг із доставки зернових культур коливаються у межах 1,0...28777,5 т.км із середнім значенням 2485,32 т.км, обсяг транспортованого вантажу відповідно коливаються у межах 0,75...1667,9 тон із середнім значенням 45,8 тон.

Маючи сформовану базу даних із 14140 екземлярів, які характеризують виконання окремих замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, було виконано факторний аналіз та встановлено тенденції зміни. Зокрема, побудовано гістограму кількості замовлень (рис. 2.8) із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора за видами вантажу (рис. 2.9). Встановлено, що більша частина усіх замовлень припадає на транспортування пшениці – 7316 замовлень (51,74%). Окрім того, ріпак транспортувався у 4213 замовленнях, що становить 29,79% від загальної їх кількості.

Усі інші види вантажів, які характеризують вибірку із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, становили менше 5%.

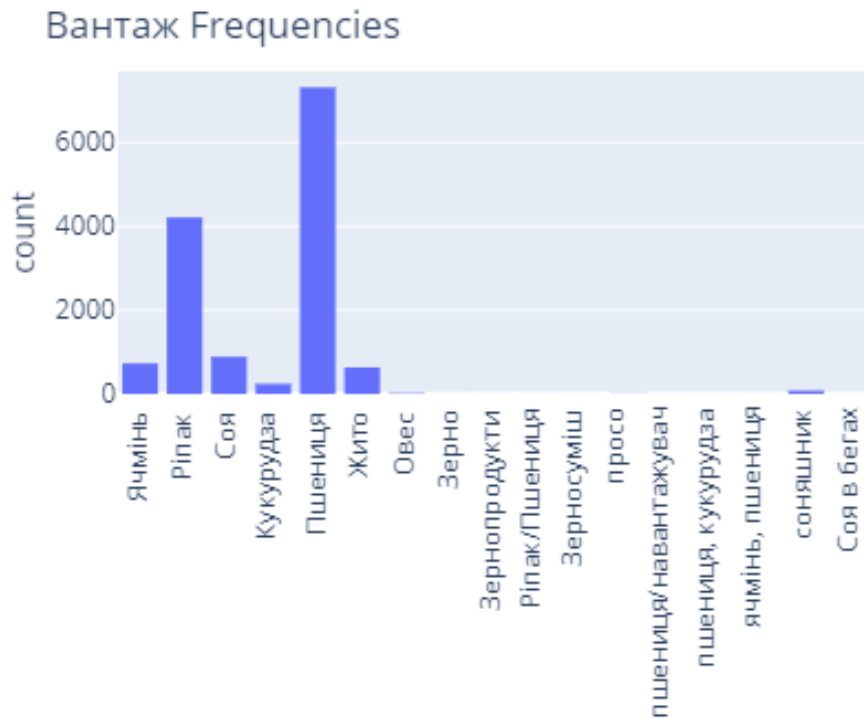


Рисунок 2.8 – Гістограма кількості замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора за видами вантажу

Вантаж

Unique Values Ascending Value

Search

<input checked="" type="checkbox"/> Жито	631 (4.46%)
<input checked="" type="checkbox"/> Зерно	3 (0.02%)
<input checked="" type="checkbox"/> Зернопродукти	2 (0.01%)
<input checked="" type="checkbox"/> Зерноsumіш	1 (0.01%)
<input checked="" type="checkbox"/> Кукурудза	240 (1.70%)
<input checked="" type="checkbox"/> Овес	26 (0.18%)
<input checked="" type="checkbox"/> Пшениця	7316 (51.74%)
<input checked="" type="checkbox"/> Ріпак	4213 (29.79%)
<input checked="" type="checkbox"/> Ріпак/Пшениця	2 (0.01%)
<input checked="" type="checkbox"/> Соя	885 (6.26%)
<input checked="" type="checkbox"/> Соя в бегях	1 (0.01%)
<input checked="" type="checkbox"/> Ячмінь	729 (5.16%)
<input checked="" type="checkbox"/> просо	11 (0.08%)
<input checked="" type="checkbox"/> пшениця, кукурудза	1 (0.01%)

Filter/Sort **Values** Summary Stats

(14140 rows, 7 cols)

Рисунок 2.9 – Характеристика замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора за видами вантажу

На підставі аналізу отриманих даних нами було побудовано гістограму питомих витрат палива транспортними засобами на виконання окремих замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора (рис. 2.10).

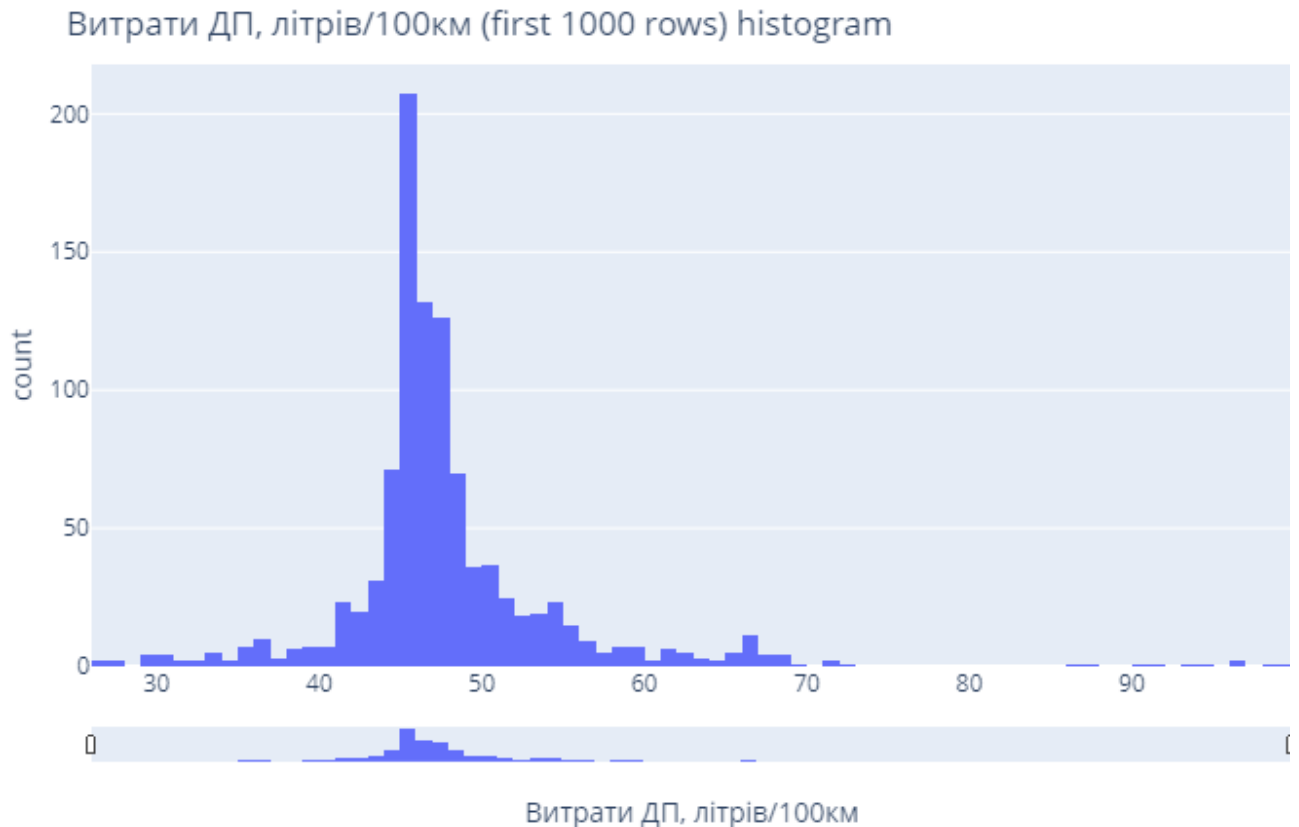


Рисунок 2.10 – Гістограма питомих витрат палива транспортними засобами на виконання окремих замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

На підставі отриманої гістограми можна сказати, що питомі витрати палива транспортними засобами на виконання окремих замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора змінюються у досить широкому діапазоні – від 16,9 літрів / 100 км до 99,7 літрів / 100 км. Хоча відповідно до технічних характеристик використовуваних транспортних засобів цей діапазон має становити – від 18,2 літрів / 100 км до 29,7 літрів / 100 км.

У переважній більшості під час виконання окремих замовлень із доставки зернових культур зазначений показник є значно вищим. Нами виконано порівняння показників нормованих та фактичних питомих витрат палива транспортними засобами під час виконання окремих замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Порівняльні показники нормованих та фактичних питомих витрат палива транспортними засобами під час виконання окремих замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

№ п/п	Марка та модель транспортного засобу (двигун)	Значення питомих витрат палива, літрів / 100 км		
		Нормовані	Фактичні	
			мінімальні	максимальні
1	2	3	4	5
1	DAF 85.300 (WS295M)	21,8	29,5	96,2
2	DAF 95.380 (279 kW)	21,4	27,8	89,8
3	DAF CF85 (316 kW)	20,0	27,1	93,75
4	DAF CF85.410 (301 KW)	21,0	27,4	71,7
5	DAF CF85.430 (316 kW)	20,0	18,4	73,14
6	DAF FT CF 85.410 (301 KW)	21,0	21,97	98,8
7	DAF FT XF 105 (340 kW)	22,4	16,8	97,7

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5
8	DAF FT XF 105.410 FTXF (300 kW)	22,3	45,5	60,8
9	DAF FT XF 105.460 (340 kW, 12 АКПП)	20,6	20,3	98,2
10	DAF FT95.430 (W5315M)	24,7	34,97	82,4
11	DAF XF 105.460 FTXF (340 kW)	22,4	30,2	88,5
12	DAF XF95.480 (355 kW)	22,9	32,4	99,7
13	Freightliner FLC-120 (Detroit Diesel S60, 351 kW)	29,7	35,1	69,3
14	Mercedes-Benz Atego818 (175 kW)	18,2	17,1	23,3
15	КАМАЗ 45143-012-15 (КАМАЗ 740.31 240, 176 kW)	26,0	27,8	98,6
16	МАЗ 543205-020 (ЯМЗ-6581.10)	24,4	23,7	67,8
Діапазон зміни		18,2...29,7	16,8...45,5	23,3...99,7
Перевищує нормовані значення, разів		–	0,75...2,04	1,28...4,76

Отримані показники, що наведені у табл. 2.2 свідчать про те, що мінімальні фактичні питомі витрати палива транспортними засобами знаходяться у межах 16,8...45,5 літрів / 100 км, а максимальні питомі витрати палива транспортними засобами під час виконання окремих замовлень із

доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора знаходяться у межах 23,3...99,7 літрів / 100 км. Переважно мінімальні фактичні питомі витрати палива транспортними засобами є більшими за нормовані, а максимальні перевищують їх у 1,28...4,76 разів. Хоча є окремі замовлення, у яких фактичні мінімальні питомі витрати палива транспортними засобами (DAF FT XF 105, Mercedes-Benz Atego818, DAF FT XF 105.460) є меншими за нормовані.

Проведення додаткового аналізу даних, що описують замовлення із максимальною питомою витратою палива транспортними засобами, виявило, що основними причинами зростання питомої витрати пального у декілька разів є тривала робота транспортного засобу під час його навантаження за прямого комбайнування із поля та мінімальна відстань виконання замовлень (до 17 км).

Стосовно питомих витрат палива окремими марками та моделями транспортних засобів під час виконання окремих замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, то вони також є мінливими (рис. 2.11).

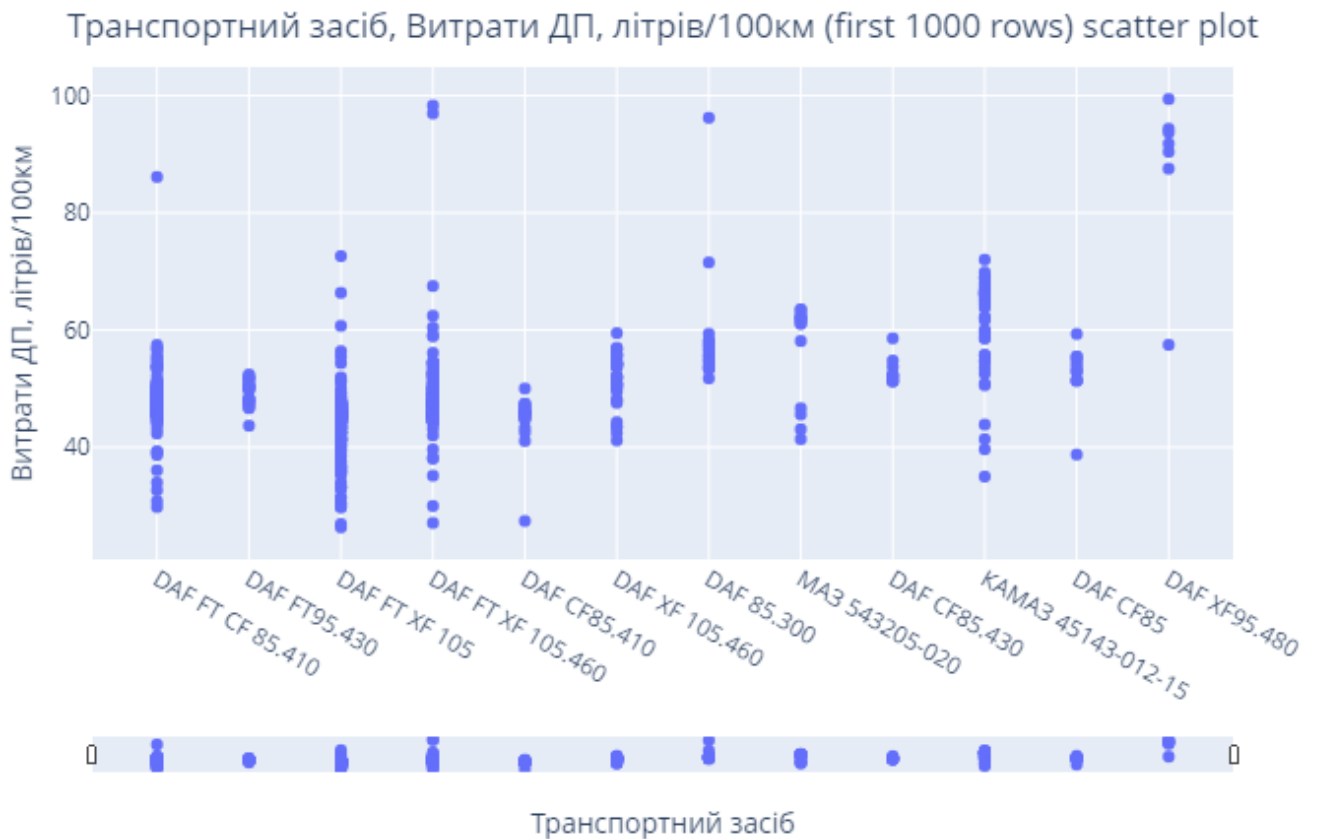


Рисунок 2.11 – Діапазон зміни питомих витрат палива окремими марками та моделями транспортних засобів на виконання окремих замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Встановлено, що спостерігається мінливий діапазон зміни питомих витрат палива за залучення до транспортних процесів різних марок та моделей транспортних засобів під час виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора. Зокрема, найменший діапазон зміни питомих витрат палива спостерігається за доставки зернових культур автомобілями Mercedes-Benz Atego818 і становить 6,2 літрів / 100 км або 36,25%. Водночас, за доставки зернових культур автомобілями DAF FT XF 105 спостерігається найбільший діапазон зміни питомих витрат палива і становить 80,9 літрів / 100 км або 481,5%.

Нами проаналізовано тенденції зміни питомих витрат палива транспортними засобами під час доставки від сільськогосподарських підприємств до елеватора різних зернових культур (рис. 2.12).

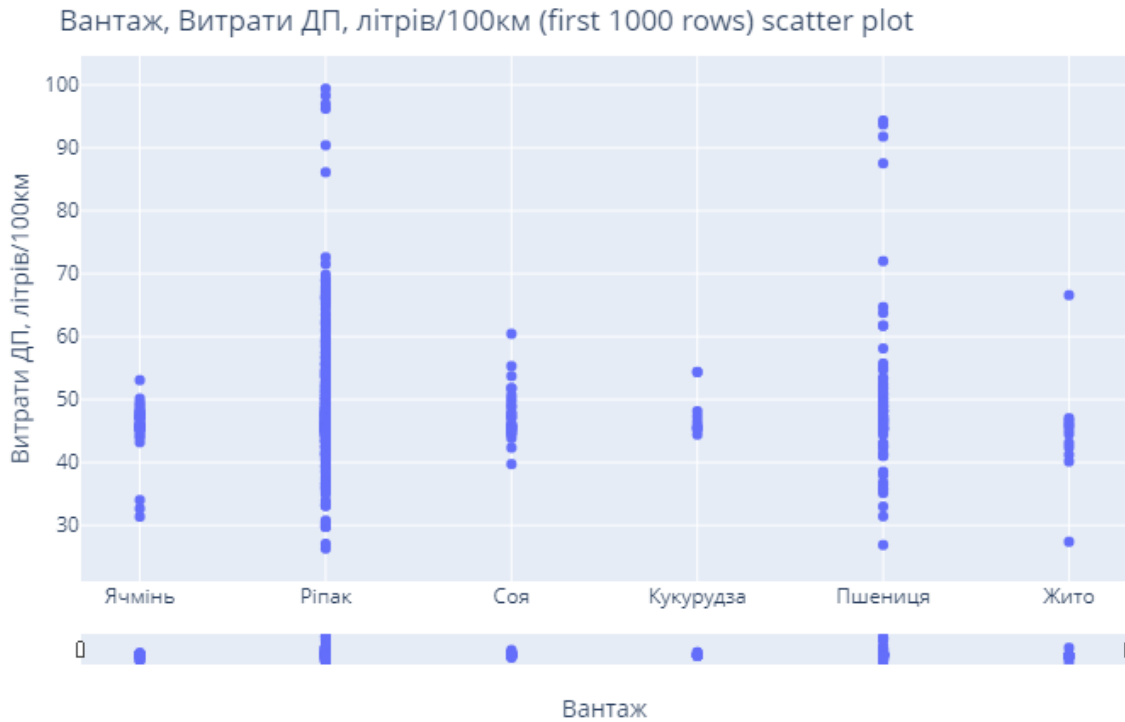


Рисунок 2.12 – Діапазон зміни питомих витрат палива транспортними засобами під час доставки від сільськогосподарських підприємств до елеватора різних зернових культур

Встановлено, що найменший діапазон зміни питомих витрат палива спостерігається за доставки кукурудзи, а найбільший – за доставки ріпаку та пшениці. Це в основному пов'язано із технологіями збирання зазначених зернових культур. Зокрема, за доставки зазначених зернових культур із зернотоків сільськогосподарських підприємств до елеватора спостерігається найменша питома витрата палива. Водночас, коли транспортні засоби доставляють зернові культури за прямого комбайнування із полів, ці витрати значно зростають. Це пов'язано із виконанням неодноразових завантажень транспортних засобів у різних частинах полів та руху транспортних засобів на понижених передачах. У окремих випадках транспортні засоби до повного завантаження проводять цілі робочі зміни на полях із періодичними переїздами, що значною зумовлює зростання витрати палива. Водночас, значний вплив на витрати палива має стан доріг, які у польових умовах є у незадовільному стані.

Нами проаналізовано тенденції зміни питомих витрат палива транспортними засобами за різної загальної відстані доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора (рис. 2.13).

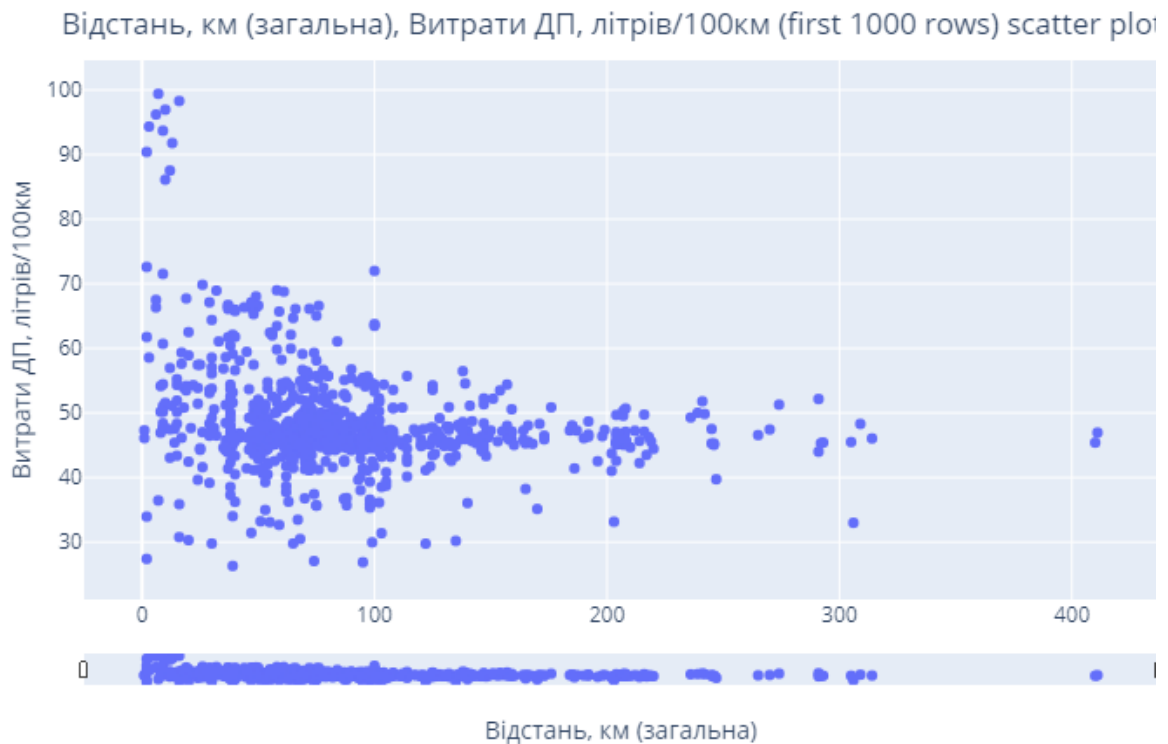


Рисунок 2.13 – Тенденції зміни питомих витрат палива транспортними засобами за різної загальної відстані доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Встановлено, що найбільші питомі витрати палива транспортними засобами припадають на замовлення, які мають невеликі відстані доставки різних зернових культур від полів сільськогосподарських підприємств до елеватора. У основному усі транспортні замовлення виконуються до 100 км загальної відстані. За зростання відстані транспортування зернових культур зменшується діапазон зміни питомих витрат палива транспортними засобами. Так, за загальної відстані 150 км і більше, діапазон зміни питомих витрат палива транспортними засобами залишається незмінним, що свідчить про відсутність впливу відстані на витрату палива.

Аналогічні тенденції спостерігаються стосовно зміни питомих витрат палива транспортними засобами за різного вантажообігу під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора (рис. 2.14).

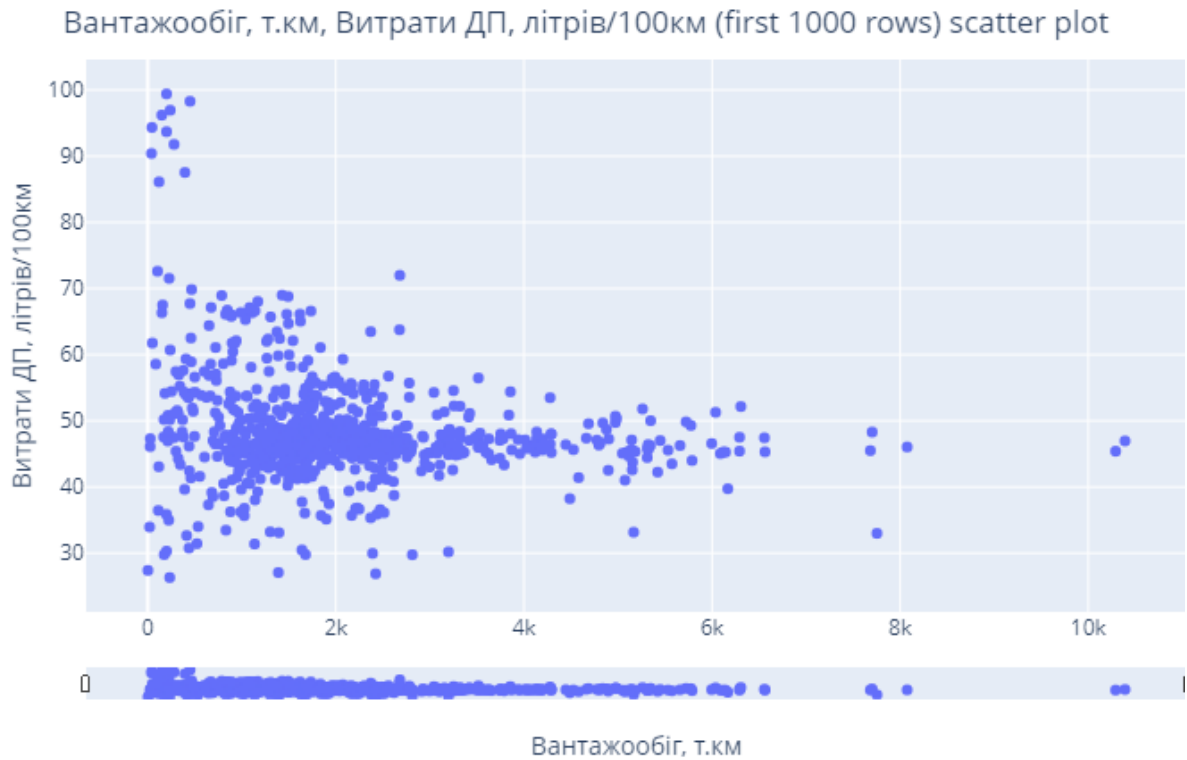


Рисунок 2.14 – Тенденції зміни питомих витрат палива транспортними засобами за різного вантажообігу під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Нами проаналізовано тенденції зміни питомих витрат палива транспортними засобами за різного обсягу вантажу у окремих замовленнях доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора (рис. 2.15).

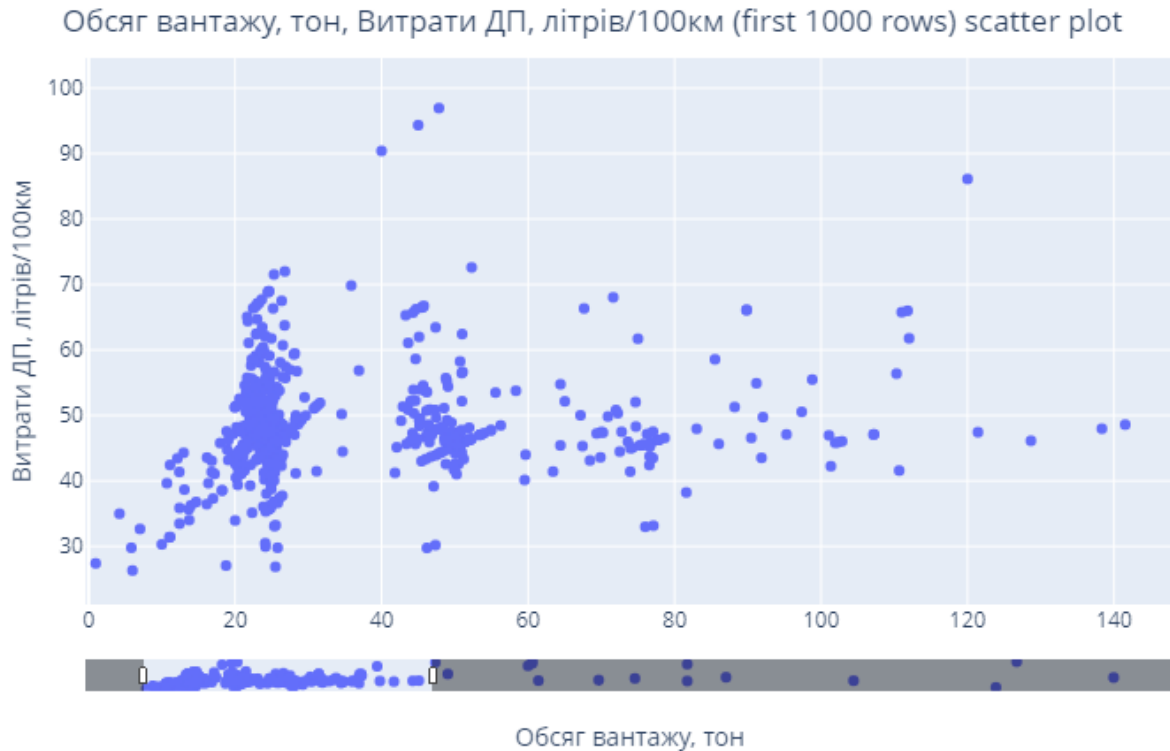


Рисунок 2.15 – Тенденції зміни питомих витрат палива транспортними засобами за різного обсягу вантажу у окремих замовленнях доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Встановлено, що питомі витрати палива транспортними засобами можна розділити на три кластери, які зумовлено обсягами доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора. Перший кластер знаходиться за обсягу вантажу до 30 т і він характеризується тим, що потребує однієї поїздки, так як обсяг вантажу не перевищує вантажності транспортних засобів, а також він має діапазон зміни питомих витрат палива транспортними засобами у межах 20...70 літрів / 100 км. Другий та третій кластер характеризуються тим, що обсяг вантажу перевищує вантажність транспортних засобів. При цьому на другий кластер припадає на обсяг вантажу від 30 до 60 т він має найбільший діапазон зміни питомих витрат палива транспортними засобами у межах 30...99 літрів / 100 км. На третій кластер припадає на обсяг вантажу понад 60 т він має найменший діапазон зміни питомих витрат палива транспортними засобами у межах 40...70 літрів / 100 км.

Інші результати дослідження тенденцій зміни показників використання транспортних засобів під час виконання окремих замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора подано у додатку В.

Усе вище зазначене свідчить про те, питомі витрати палива під час виконання транспортних процесів доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора зумовлюються множиною специфічних чинників. Врахувати їх повною мірою із використанням аналітичних моделей неможливо, так як питомі витрати палива мають стохастичну природу та залежність від множини мінливих виробничих умов виконання транспортного процесу. Окрім того, кожне із замовлень на доставку зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора має свою специфіку.

Розв'язання науково-прикладної задачі прогнозування питомих витрат палива транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора можливе на підставі створення узагальненої моделі із врахуванням виявлених чинників. Такі моделі належать до параметричних моделей та алгоритмічних моделей машинного навчання. На підставі параметричних моделей, аналогічно як із використанням моделей лінійної регресії, є можливість виконувати аналіз впливу чинників на цільову змінну – питомі витрати палива транспортними засобами. Однак такі моделі не забезпечують врахування складної взаємодії між чинниками впливу на питомі витрати палива транспортними засобами. Водночас, алгоритмічні моделі машинного навчання забезпечують виявлення складних взаємозв'язків між підготовленими даними та дозволяють виконати прогнозування цільових змінних (питомих витрат палива транспортними засобами за різного обсягу вантажу у окремих замовленнях доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора) на підставі виконання тренування моделей на даних, які характеризують транспортні процеси за попередні періоди.

2.5 Висновки до другого розділу

1. При дослідженні особливостей процесу доставки зернових культур до елеватора було встановлено, що на транспортний процес впливає множина факторів, серед яких: техніко-експлуатаційні, дорожні та погодні умови, а також водій, задіяний у даному процесі. Виявлено, що основним напрямом удосконалення транспортного процесу доставки зернових культур є зниження витрат пального транспортними засобами.

2. З метою отримання основних показників процесу вантажних перевезень, а також їх прогнозування та подальшого покращення досліджено формування попиту та особливості моделювання процесу доставки зернових культур до елеватора. Також проаналізовано сценарії доставки зернових культур та відповідні їм логістичні ланцюги доставки зернових культур до елеватора. Розроблено модель типу «чорний ящик» процесу доставки зернових культур до елеватора, яка дозволяє розглянути процес доставки зерна як систему та врахувати особливості даного процесу.

3. На основі теоретичних досліджень щодо застосування методів машинного навчання спроектовано власний підхід до прогнозування витрат пального транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора. Даний підхід включає 6 етапів та передбачає обґрунтування чотирьох алгоритмічних моделей машинного навчання для прогнозування витрат пального транспортними засобами, з-поміж яких буде обрано найточнішу.

4. Для аналізу даних стосовно використання транспортних засобів під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора та отримання додаткової інформації нами використано базу даних щодо виконання замовлень ТОВ «Волинь-Зерно-Продукт» за 2019-2021 роки. На основі 14140 екземлярів даних виконаних замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора виконано

факторний аналіз та встановлено тенденції зміни показників, що характеризують ці замовлення.

Проведено аналіз кількості замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора за видами вантажу. Проаналізовано тенденції зміни питомих витрат палива транспортними засобами: на виконання окремих замовлень, за виконання окремими марками та моделями транспортних засобів, за різної загальної відстані доставки, за різного вантажообігу та різного обсягу вантажу у окремих замовленнях під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора.

5. Виявлено, що питомі витрати палива під час виконання транспортних процесів доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора зумовлюються множиною специфічних чинників. Врахувати їх повною мірою, використовуючи аналітичні моделі, неможливо, так як питомі витрати палива мають стохастичну природу та залежність від множини мінливих виробничих умов виконання транспортного процесу.

Текст другого розділу дисертації складено з використанням авторських наукових публікацій [113; 114] та тез конференцій [115 – 120].

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ВИТРАТ ПАЛЬНОГО ТРАНСПОРТНИМИ ЗАСОБАМИ ПІД ЧАС ДОСТАВКИ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ВІД СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВ ДО ЕЛЕВАТОРА

3.1 Обґрунтування алгоритмічних моделей машинного навчання для прогнозування витрат пального транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Отримати точні прогнози витрат пального транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора можливо на підставі алгоритмічних моделей машинного навчання. Однак вони потребують наявності великих вибірок даних, які описуються стаціонарними розподілами, за попередні періоди. Під час використання алгоритмічних моделей машинного навчання мають справу із окремою інформацією про стани об'єкта дослідження, яку генерують алгоритмами машинного навчання на підставі тренувальних вибірок даних про об'єкт дослідження (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Характеристика даних для прогнозування витрат пального транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

	Unnamed: 0	Відстань, км (загальна)	Фактичні витрати палива, літрів	Витрати ДП, літрів/100км	Вантажообіг, т.км	Обсяг вантажу, тон
count	14142.000000	14140.000000	14140.000000	14140.000000	14140.000000	14140.000000
mean	7070.500000	100.441443	45.744879	48.113574	2485.322476	45.806377
std	4082.588088	124.242033	52.413783	8.605360	3090.855755	75.020569
min	0.000000	1.000000	0.293000	16.863793	1.000000	0.750000
25%	3535.250000	39.000000	19.203500	44.759967	977.265000	24.710000
50%	7070.500000	68.000000	32.128000	46.713318	1677.905000	25.800000
75%	10605.750000	104.000000	48.359250	50.484336	2582.730000	49.020000
max	14141.000000	1125.000000	473.202000	99.966667	28777.500000	1667.900000

На підставі інформації (табл. 3.1) про стани об'єкта дослідження у подальшому обґрунтовують алгоритмічні моделі. Зміни станів досліджуваного об'єкта використовуються для виконання прогнозування цільової змінної (витрат пального транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора).

Під час проведення алгоритмічного моделювання доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора використовують дані про виконання транспортних процесів за попередні періоди, які описують відповідні процеси. Стосовно алгоритмічного моделювання доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств сьогодні публікації відсутні, хоча у інших прикладних галузях вони широко використовуються і забезпечують отримання точних результатів прогнозів щодо досліджуваних об'єктів [121 – 126]. Отже, досить актуальною на даний час для автотранспортних підприємств, які займаються доставкою зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, є науково-прикладна задача обґрунтування та оптимізації алгоритмічної моделі машинного навчання для прогнозування витрат пального транспортними засобами.

Нами проведено аналіз стану використання алгоритмічного моделювання у різних прикладних галузях [123 – 126]. Встановлено, що задача прогнозування витрат пального транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора належить до задач множинної регресії. При цьому найбільш розповсюдженими і досить точними алгоритмічними моделями регресії є:

- 1) модель GLM (Generalized Linear Model) узагальненої лінійної регресії;
- 2) модель DL (Deep Learning) глибинного навчання;
- 3) модель DT (Decision Tree) дерева рішень;
- 4) модель RF (Random Forest) випадкового лісу.

Для кожної із представлених моделей машинного навчання оцінюють ефективність прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) (Specific Fuel Consumption) транспортними засобами r -ї марки під час обслуговування i -го замовлення за такими критеріями:

- абсолютна помилка MAE ;
- середньоквадратична помилка $RMSE$;
- загальний час навчання $Total Time$;
- відносний час навчання $Training Time$.

Оптимальною вважається така модель прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами r -ї марки під час обслуговування i -го замовлення яка забезпечує мінімізацію означених критеріїв:

$$E_M(SFC_{ri}) = f(MAE, RMSE, Total Time, Training Time) \rightarrow min. \quad (3.1)$$

На підставі вибраної моделі машинного навчання для прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами r -ї марки під час обслуговування i -го замовлення використовують існуючі засоби покращення якості прогнозу. Це виконується на підставі додавання адаптивних підсилень, збільшення глибини проведення досліджень окремих видів дерев рішень, а також пропонуванням різних правил для виконання прогнозування тощо.

3.1.1 Модель GLM узагальненої лінійної регресії

Алгоритм моделі GLM узагальненої лінійної регресії дозволяє підібрати регресійні моделі, які досить точно описують окремі чинники витрат пального транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, що описуються одним із розподілів, які належать до експоненціального сімейства [127]. До експоненціального сімейства розподілів належать нормальні, біноміальні,

пуассонівські, геометричні, від'ємні біноміальні, експоненційні, гамма- та обернені нормальні розподіли.

Прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) (Specific Fuel Consumption) транспортними засобами r -ї марки під час обслуговування i -го замовлення із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора виконується із врахуванням множини чинників $\{\xi_{ri}\}$. При цьому, зазначена множина чинників $\{\xi_{ri}\}$ розглядається як звичайна множинна регресія. Відхилення шуканої змінної (питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами r -ї марки під час обслуговування i -го замовлення) від її середнього значення (SFC_{ri}^{ave}) за зміни k -х незалежних чинників питомих витрат пального знаходиться у межах $\xi_{r1}, \dots, \xi_{rk}$. При цьому середнє значення (SFC_{ri}^{ave}) питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами r -ї марки під час обслуговування i -го замовлення становить:

$$E\langle SFC_r^{ave} | \tau, \xi \rangle = \xi_r \tau, \quad (3.2)$$

де $\xi_r = (\xi_{r1}, \dots, \xi_{rn})$ – вектор-рядок, що відображає незалежний чинник питомих витрат пального транспортними засобами r -ї марки під час обслуговування i -го замовлення, $\tau_r = (\tau_1, \dots, \tau_n)$ – вектор-стовпчик, який відображає коефіцієнти регресії; SFC_r^{ave} – середнє значення питомих витрат пального транспортними засобами r -ї марки, яке вважають незалежним від чинників питомих витрат пального транспортними засобами.

Прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами r -ї марки під час обслуговування сільськогосподарських підприємств із використанням класичної лінійної регресії передбачає знаходження відхилення від середніх значень (SFC_{ri}^{ave}) питомих витрат

пального транспортними засобами, які є однаковими для i -х замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора:

$$\text{var}\langle SFC_{ri}^{ave} | V, \xi \rangle = \sigma^2, \quad (3.3)$$

де V – вектор невідомих чинників питомих витрат пального транспортними засобами r -ї марки під час обслуговування.

Вектор невідомих (V) чинників питомих витрат пального транспортними засобами r -ї марки під час обслуговування становить:

$$V = (\xi_1, \dots, \xi_n, \sigma^2), \quad (3.4)$$

Водночас використання моделі GLM узагальненої лінійної регресії передбачає виконання припущення, що можливі похибки які визначаються:

$$\eta_r = SFC_{ri}^{ave} - \langle SFC_{ri}^{ave} | \tau, \xi \rangle. \quad (3.5)$$

При цьому можливі похибки η_r вважаються незалежними та розподіленими за нормальними законами розподілів із середнім значенням $\langle SFC_{ri}^{ave} \rangle$ питомих витрат пального транспортними засобами та дисперсією σ^2 .

Враховуючи це, модель GLM узагальненої лінійної регресії прогнозування питомих витрат пального транспортними засобами має вигляд:

$$SFC_{ri}/\tau, \sigma^2, \xi \sim N_r(\xi\tau, \sigma^2 I), \quad (3.6)$$

де $N_r(\xi\tau, \sigma^2 I)$ – нормальний багатовимірний розподіл питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами r -ї марки під час обслуговування i -го замовлення.

Таблиця 3.2 – Модель GLM узагальненої лінійної регресії прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами r -ї марки під час обслуговування i -го замовлення

Атрибут	Coefficient	Std. Coefficient
Транспортний засіб DAF 85.300	0.686	0.686
Транспортний засіб DAF CF85	3.319	3.319
Транспортний засіб DAF CF85.430	-0.159	-0.159
Транспортний засіб DAF FT CF 85.410	-4.144	-4.144
Транспортний засіб DAF FT XF 105	-7.203	-7.203
Транспортний засіб DAF FT XF 105.460	-4.807	-4.807
Транспортний засіб DAF XF 105.460	0.207	0.207
Транспортний засіб DAF XF95.480	12.543	12.543
Транспортний засіб КАМАЗ 45143-012-15	5.593	5.593
Відстань, км (загальна)	-0.010	-1.287
Обсяг вантажу, тон	0.014	1.109
Intercept	53.104	52.738

Основною перевагою моделі GLM узагальненої лінійної регресії є те, що регресія не обмежується наборами вхідних даних, що описуються розподілами експоненціального сімейства. Це дає можливість виконати представлення як частотних так і бінарних показників під час дослідження складових транспортних процесів [128]. Також є змога використати як корельовані так і некорельовані вибірки незалежних чинників, що характерно для прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами r -ї марки під час обслуговування i -го замовлення.

3.1.2 Модель DL глибинного навчання

Моделі DL (Deep Learning) глибинного навчання належать до підмножини штучних нейронних мереж машинного навчання, їх алгоритми створюються та функціонують аналогічно, однак вони мають багато рівнів. Кожен із цих рівнів забезпечує різну інтерпретацію поданих на опрацювання даних, які обробляються нелінійно у різних шарах створеної нейронної мережі (рис. 3.1).

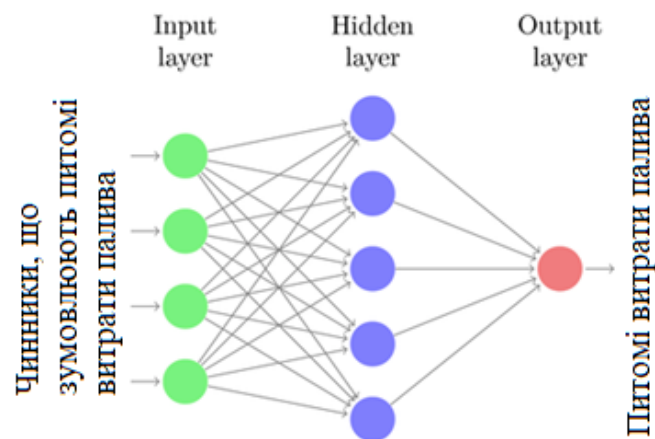


Рисунок 3.1 – Структурна модель DL глибинного навчання для прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами

Процес розробки моделі DL глибинного навчання для прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами розділяється на два етапи:

- 1) визначення форм функціональних зв'язків між прогнозованим значенням SFC_{ri} та множиною чинників $\{\xi_{ri}\}$, які впливають на отримане значення:

$$SFC_{ri} = f(\{\xi_{ri}\}), \quad (3.7)$$

2) оцінка параметрів Θ моделі прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами:

$$SFC_{ri} = f(\{\xi_{ri}\}, \Theta). \quad (3.8)$$

Автори наукової роботи [129] довели, що ефективність моделей DL глибинного навчання зумовлюється їх можливістю відображати множину композиційних залежностей, які інтерпретують як окремі виходи прихованих шарів нейронів:

$$f(\xi_{r1}, \dots, \xi_m) = h_1(h_2(h_3(\dots h_j(\xi_{m-k}, \dots, \xi_m))))), \quad (3.9)$$

де h_j – інтерпретація окремих виходів прихованих шарів нейронів.

Нейронна мережа із великою кількістю прихованих шарів забезпечує набагато точнішу апроксимацію складних функціональних залежностей, що забезпечує точне прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами. Зростання кількості шарів у нейронній мережі досягається обхідними з'єднаннями [130] між окремими шарами прихованих нейронів. При цьому вихід окремого блока із обхідним зв'язком записується виразом:

$$y = W_2 \circ S(W_1 \circ \xi_r) + \xi_r, \quad (3.10)$$

де y – вихід окремого блока із обхідним зв'язком; W_1, W_2 – матриці вагових коефіцієнтів окремих прихованих шарів у нейронній мережі; S – функція логістичної сигмоїди; ξ_r – вхідні вектори першого прихованого шару нейронної мережі; \circ – операція виконання згортки.

Глибинне навчання нейронної мережі для прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами виконано у такій послідовності:

1. Набір вхідних даних (BD) розподілили на навчальні та тренувальні вибірки. Фрагмент вхідного набору даних (BD) для виконання прогнозування SFC_{ri} подано у таблиці А.1 (додаток А).

2. Визначили функцію втрат та створили набори даних для виконання перевірки моделі моделі DL глибокого навчання для прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами.

3. Архітектуру глибокої нейронної мережі перевіряли на підставі алгоритмічного моделювання та вибирали з-поміж них найкращу за критеріями середньоквадратичної помилки (MSE) та середньої абсолютної помилки (MAE).

У результаті проведених досліджень було створено модель DL глибокого навчання (рис. 3.2), для прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами.

```

Model Metrics Type: Regression
Description: Metrics reported on temporary training frame with 10035 samples
model id: rm-h2o-model-production_model-24
frame id: rm-h2o-frame-production_model-24.temporary.sample.70.72%
MSE: 43.319653
RMSE: 6.5817666
R^2: 0.42012075
mean residual deviance: 43.319653
mean absolute error: 4.3191743
root mean squared log error: 0.12953234
Status of Neuron Layers (predicting Витрати ДП, літрів/100км, regression, gaussian distribution, Quadratic loss, 3,651 weights/biases,
47.7 KB, 141,400 training samples, mini-batch size 1):
Layer Units Type Dropout L1 L2 Mean Rate Rate RMS Momentum Mean Weight Weight RMS Mean Bias Bias RMS
1 20 Input 0.00 %
2 50 Rectifier 0 0.000010 0.000000 0.103248 0.298170 0.000000 -0.017766 0.190489 0.186016 0.198648
3 50 Rectifier 0 0.000010 0.000000 0.068273 0.124524 0.000000 -0.045377 0.184420 0.825447 0.121068
4 1 Linear 0.000010 0.000000 0.001136 0.001404 0.000000 0.021034 0.164352 0.010833 0.000000
Scoring History:
Timestamp Duration Training Speed Epochs Iterations Samples Training RMSE Training Deviance Training MAE Training r2
2022-07-07 16:25:06 0.000 sec 13876 obs/sec 1.00000 0 0.000000 NaN NaN NaN NaN
2022-07-07 16:25:07 1.117 sec 14690 obs/sec 2.00000 1 14140.000000 6.92515 47.95764 4.64397 0.35804
2022-07-07 16:25:08 2.104 sec 15369 obs/sec 3.00000 2 28280.000000 6.90930 47.73836 4.58423 0.36097
2022-07-07 16:25:09 3.029 sec 16018 obs/sec 4.00000 3 42420.000000 6.92328 47.93187 4.67296 0.35838
2022-07-07 16:25:10 3.897 sec 16777 obs/sec 5.00000 4 56560.000000 6.72559 45.23350 4.36318 0.39450
2022-07-07 16:25:10 4.660 sec 17442 obs/sec 6.00000 5 70700.000000 6.66921 44.47841 4.33792 0.40461
2022-07-07 16:25:11 5.397 sec 18048 obs/sec 7.00000 6 84840.000000 6.71165 45.04623 4.58822 0.39701
2022-07-07 16:25:12 6.097 sec 18510 obs/sec 8.00000 7 98980.000000 6.70230 44.92077 4.61648 0.39869
2022-07-07 16:25:13 6.804 sec 19005 obs/sec 9.00000 8 113120.000000 6.62960 43.95159 4.34087 0.41166
2022-07-07 16:25:13 7.470 sec 19417 obs/sec 10.00000 9 127260.000000 6.70052 44.89695 4.39812 0.39901
2022-07-07 16:25:14 8.139 sec 19417 obs/sec 10.00000 10 141400.000000 6.58177 43.31965 4.31917 0.42012
H2O version: 3.30.0.1-rm9.8.1

```

Рисунок 3.2 – Модель DL глибокого навчання для прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами

Перевагою отриманої моделі DL глибинного навчання для прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами є забезпечення високої точності за достатньої та повної вибірки початкових даних щодо множини чинників $\{\xi_{ri}\}$, які впливають на отримане значення SFC_{ri} .

3.1.3 Модель DT дерева рішень

Модель DT передбачає побудову дерева рішень для прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами. Структура цього дерева організована так, що дерево має корінь, гілки що являють собою внутрішні вузли та листя, які у подальшому не класифікуються. Внутрішні вузли дерева рішень є атрибутами, а водночас гілки, які з'єднують окремі вузли, забезпечують визначення значень цих атрибутів. Окрім того, листки представляють собою мітки класів, що використовують для прийняття рішень під час прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами.

Залежною змінною у нашій задачі є питоми витрати пального (SFC_{ri}) транспортними засобами, які мають кількісне значення. Відповідно до цього слід побудувати дерево регресії щодо вирішення зазначеної задачі. Існує множина алгоритмів дерев рішень (ID3, C4.5, C5.0, CART, SPRINT), які мають свої переваги та недоліки [131]. Кожен із них передбачає використання спеціальних функцій, які виконують розподіл наборів даних за означеними атрибутами. Серед них заслуговує на увагу алгоритм «CART», який ще називають дерево класифікації або регресії [132]. Цей алгоритм належить до алгоритмів машинного навчання із учителем. Оцінювальна функція алгоритму CART забезпечує зменшення невизначеності у окремих вузлах побудованого дерева. Модель DT дерева рішень для прогнозування питомих витрат палива

(SFC_{ri}) транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора формалізується із використанням індексу *Gini*. За умови, що набір даних (data set) (DS) для прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами містить дані m -х класів, індекс *Gini* можна визначити за виразом [133]:

$$Gini(DS) = 1 - \sum_{b=1}^m P_b^2, \quad (3.11)$$

де P_b – відносна частота) b -го класу у заданому наборі із даними (DS).

Якщо заданий набір із даними (DS) розбивають на дві окремі вибірки DS_1 і DS_2 із множиною спостережень відповідно n_1 та n_2 , то якість цієї розбивки можна визначити за показником:

$$Gini_{split}(DS) = \frac{n_1}{n_2} Gini(DS_1) + \frac{n_2}{n_1} Gini(DS_2), \quad (3.12)$$

Найкращим розбиванням заданого набору із даними DS вважають таке, яке дає можливість виконати мінімізацію індексу $Gini_{split}(DS)$. За умови, що відома кількість замовлень (n) на доставку зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, яка відповідає батьківському вузлу, кількість їх у лівих (l) та правих (r) дочірніх вузлах та кількість екземплярів b -го класу класу лівого (l_b) та правого (r_b) дочірніх вузлів, відповідають якості розбивка і оцінюються за формулою:

$$Gini_{split} = \frac{l}{n} \left(1 - \sum_{b=1}^m \left(\frac{l_b}{l} \right)^2 \right) + \frac{r}{n} \left(1 - \sum_{b=1}^m \left(\frac{r_b}{r} \right)^2 \right) \rightarrow \min, \quad (3.13)$$

У результаті проведених досліджень було створено модель DT дерева рішень для прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами, подано на рис. 3.3.



Рисунок 3.3 – Фрагмент моделі DT дерева рішень для прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами

Запропонована модель DT дерева рішень для прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами дає можливість рекурсивно розбити множину заданого набору із даними DS на підмножини із використанням критерію мінімальної середньо квадратичної помилки (MSE) [132].

3.1.4 Модель RF випадкового лісу

Модель RF випадкового лісу прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами належить до машинного навчання із учителем та передбачає виконання побудови ансамблів регресійних дерев. Кожне окреме із цих дерев рішень характеризується високою дисперсією σ_i . Однак, за їх системного паралельного об'єднання, результуюче значення дисперсії σ_{Σ} є низькою. Це пов'язано із тим, що окремі дерева рішень ідеально навчені на заданих зразках даних, а отриманий результат є не від

одного окремого дерева рішень, а від множини сформованих дерев рішень (рис. 3.4).

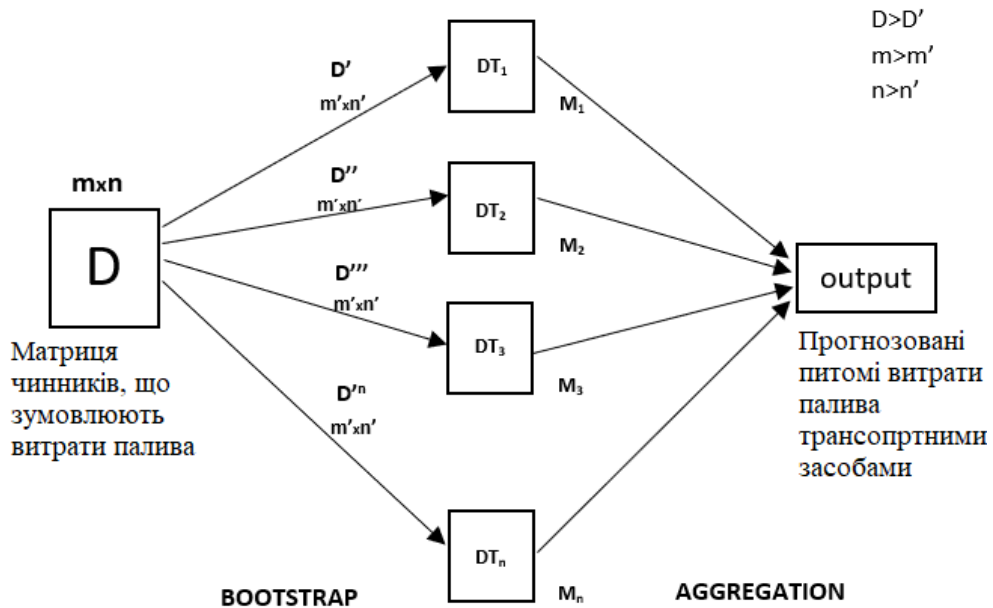


Рисунок 3.4 – Структурна модель RF випадкового лісу для прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами

Під час отримання прогнозованого значення кінцевий результат залежить від класифікатора із більшістю голосів окремих дерев. У нашому випадку результат прогнозування отримують як середнє значення усіх результатів прогнозу питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами, отриманих від окремих дерев рішень. Зазначену складову називають агрегацією.

Модель RF випадкового лісу являє собою ансамбль дерев рішень, які здатні розв'язувати задачу регресії для прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами із використанням техніки, що називається «Bootstrap» та «Aggregation», які у літературі широко відомі як «Bagging» [53; 134].

Модель RF випадкового лісу передбачає побудову декількох дерев рішень для прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами, які є базовими моделями навчання.

Перш ніж формалізувати модель RF випадкового лісу для прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами, дамо деякі визначення. У наших дослідженнях робимо припущення, що нам надано навчальну вибірку:

$$D_n = \left\{ (X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1j}, SFC_{r1}), \dots, (X_{n1}, X_{n2}, \dots, X_{nj}, SFC_{rn}) \right\}. \quad (3.14)$$

Окрім того, $[0,1]^d \times \mathbb{R}$ -оцінка випадкові змінні ($d \geq 2$) з тим же розподілом, що і незалежна базова пара $(X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1j}, SFC_{ri})$, яка задовольняє умову:

$$E(SFC_{ri})^2 < \infty. \quad (3.15)$$

Простір $[0,1]^d$ забезпечено стандартною евклідовою метрикою. Для фіксованого $(X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1j}, SFC_{ri}) \in [0,1]^d$ слід оцінити функцію регресії із використанням D_n :

$$r(x) = E[SFC_{ri} / X = (X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1j})]. \quad (3.16)$$

При цьому, оцінка функції регресії r_n є узгодженою, якщо:

$$E[r_n(X) - r(X)]^2 \rightarrow 0 \text{ при } n \rightarrow \infty. \quad (3.17)$$

Формально, модель RF випадкового лісу є предиктором, що складається з колекції рандомізованих базових регресійних дерев:

$$\left\{ r_n(X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1j}, SFC_{ri}, D_n), m \geq 1 \right\}, \quad (3.18)$$

де $SFC_{r_1}, SFC_{r_2}, \dots, SFC_{r_m}$ – прогнозовані випадкові значення питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами.

Усі отримані випадкові дерева об'єднуються, щоб сформувати агреговану оцінку регресії:

$$\bar{r}_n(X, D_n) = E(SFC_{ri}) [r_n(X, SFC_{ri}, D_n)]. \quad (3.19)$$

На підставі проведених досліджень отримали модель RF випадкового лісу для прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами із використанням техніки, фрагмент якої подано на рис. 3.14.

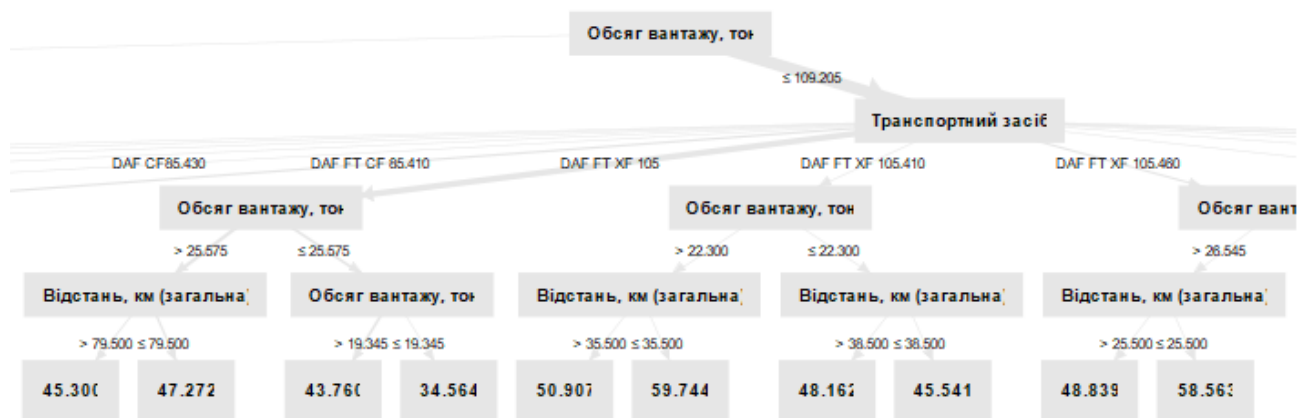


Рисунок 3.5 – Фрагмент моделі RF випадкового лісу для прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами

Отримані кількісні значення прогнозу питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами із використанням моделі RF випадкового лісу являють середні прогнозні значення, що були отримані кожним із 5 дерев рішень ансамблю. Одержаний прогноз питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами із використанням моделі RF випадкового лісу на відміну від значень окремих дерев, має меншу здатність до перенавчання

моделі та більшу гнучкість до межі прийнятих рішень щодо витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами.

3.2 Обґрунтування раціональної моделі прогнозування витрат пального транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Обґрунтування раціональної моделі прогнозування витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора виконували на підставі зібраних у ТОВ «Волинь-Зерно-Продукт» (м. Луцьк, Волинська область) за 2019-2021 роки та попередньо підготовлених даних (див. п. 2.4). Для цього було створено програмний код (див. дод. Г) на мові Python 3.9 [135] із використанням бібліотеки Scikit-Learn [136] алгоритмічних моделей регресії, які описані вище (див. п. 3.1) (модель GLM (Generalized Linear Model) узагальненої лінійної регресії; модель DL (Deep Learning) глибинного навчання; модель DT (Decision Tree) дерева рішень; модель RF (Random Forest) випадкового лісу).

Оцінювання зазначених моделей прогнозування витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора виконували за окремими критеріями (абсолютна помилка; стандартне відхилення; загальний час навчання; відносний час навчання). Отримані результати виконаних досліджень щодо оцінювання моделей прогнозування витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами подано у табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати оцінювання моделей прогнозування витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Модель	Питомі витрати палива ТЗ, літрів /100км		Тривалість машинного навчання моделі, мс		
	Абсолютна помилка	Стандартне відхилення	Загальний час	Час тренувань	Час підрахунку (1000 рядків)
GLM (Generalized Linear Model) узагальненої лінійної регресії	4,542	0,068	1870	6,223	1,238
DL (Deep Learning) глибинного навчання	4,418	0,044	22399	577,086	10,962
модель DT (Decision Tree) дерева рішень	3,402	0,073	1895	1,556	1,945
модель RF (Random Forest) випадкового лісу	2,246	0,041	4798	2,687	7,072

На підставі отриманих даних (табл. 3.3) щодо оцінювання моделей прогнозування витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора встановлено, що за абсолютною помилкою найкращі показники отримано із використанням моделі RF (Random Forest) випадкового лісу. Саме зазначена модель дає можливість забезпечити абсолютну помилку 2,246 із стандартними відхиленнями $\pm 0,041$.

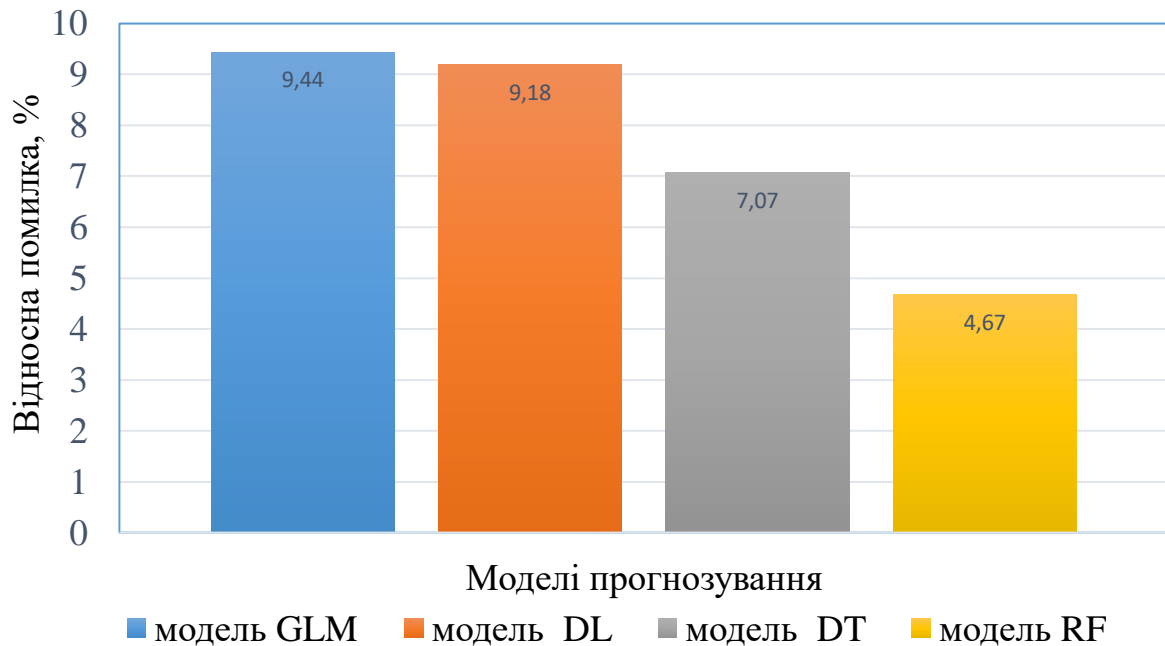


Рисунок 3.6 – Результати оцінювання відносної помилки моделей прогнозування витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Із даних на Рисунку 3.6 видно, що найкращий прогноз витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, виконує модель RF (Random Forest) випадкового лісу, яка забезпечує відносну помилку отриманих результатів 4,6% із стандартним відхилення $\pm 0,1$ та загальним часом машинного навчання 4,8с.

3.3 Висновки до третього розділу

1. Обґрунтовано доцільність прогнозування витрат пального транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора методами машинного навчання. Для прогнозування обрано найбільш точні регресійні моделі

машинного навчання, а саме: модель GLM (Generalized Linear Model) узагальненої лінійної регресії, модель DL (Deep Learning) глибинного навчання, модель DT (Decision Tree) дерева рішень, модель RF (Random Forest) випадкового лісу.

2. Для кожної із моделей здійснено структурні налаштування та проведено оцінку прогнозування витрат пального транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора за критеріями: абсолютної помилки, стандартного відхилення, загального та відносного часу навчання.

3. Для реалізації моделі GLM узагальненої лінійної регресії розраховано коефіцієнти до регресійних рівнянь, що дають змогу визначити питомі витрати палива конкретних марок та моделей транспортних засобів. Коефіцієнти подані для двох варіантів рівнянь регресії із стандартизацією змінних та без. Абсолютна помилка моделі становить 4,54 л/100км із стандартними відхиленнями $\pm 0,068$, відносна помилка – 9,44% та загальний час машинного навчання – 1,87с.

4. Модель DL глибинного навчання, яку застосовано для прогнозування питомих витрат пального транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, являє собою тришарову глибинну нейронну мережу із 20 нейронами на вхідному шарі, 50 – на другому та третьому шарі, а також одним нейроном на вихідному шарі. Оцінка ефективності прогнозування показала абсолютну помилку на рівні 4,418 л/100 км моделі із стандартними відхиленнями 0,044, відносну помилку – 9,18% та найбільш тривалий час машинного навчання – 22,4 с.

5. У моделі DT дерева рішень застосовано алгоритм «CART», який формує дерево регресії для прогнозування витрат пального. Оцінка результатів моделі показала відносно низькі помилки прогнозу (абсолютна помилка моделі становить 3,40 л/100км із стандартними відхиленнями $\pm 0,073$, відносна помилка – 7,07%) та достатньо швидкий показник навчання – 1,9 с.

6. Найбільш точні результати прогнозування витрат пального транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора одержано під час використання моделі RF випадкового лісу. Прогнозовані значення витрат палива за даною моделлю отримано агрегацією ансамблю з 5 дерев рішень. Абсолютна помилка моделі становить 2,25 л/100км із стандартними відхиленнями $\pm 0,041$, відносна помилка – 4,6% та загальний час машинного навчання – 4,8с.

Наведені в даному розділі результати опубліковані у науковому виданні [137].

РОЗДІЛ 4

МЕТОД, КОМП'ЮТЕРНА МОДЕЛЬ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ЗАМОВЛЕНЬ ІЗ ДОСТАВКИ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ВІД СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВ ДО ЕЛЕВАТОРА

4.1 Метод вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Під час організації транспортних процесів із доставки окремих видів вантажів до споживачів автомобільним транспортом важливе значення має вибір доступних транспортних засобів [138]. При цьому доставка вантажів від їх відправників до отримувачів можлива за декількома сценаріями залучення транспортних засобів, кількість яких залежить як від кількості та доступних марок рухомого складу, так і від характеристик замовлень на вантажні перевезення. Кожен із цих сценаріїв можна оцінити за низкою критеріїв, які забезпечують оцінювання транспортних процесів із врахуванням їх специфіки [139]. До таких критеріїв вибору раціонального сценарію доставки окремих видів вантажів до споживачів належать тривалість доставки вантажів, витрати ресурсів, собівартість доставки тощо.

Однією із специфічних задач, яку вирішують автотранспортні підприємств, що займаються доставкою зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, є вибір раціональних транспортних засобів для виконання існуючих замовлень. Вирішення цієї задачі має свої особливості, порівняно із задачами, що стосуються доставки інших видів вантажів. Виконання замовлень із доставки зернових культур до елеватора має свої особливості (див. п. 2.1). Зокрема, транспортування здійснюється за маятниковими маршрутами з мінімально пройденим шляхом

та у погожі проміжки часу. Водночас, одним із основних критеріїв, який зумовлює собівартість надання транспортних послуг із доставки зернових культур до елеватора, є витрати ресурсів. При цьому визначальними є r -й марковий склад транспортних засобів та витрати палива (SFC_{ri}). Саме вони є визначальними, так як зумовлюють якісні та кількісні показники відповідних транспортних процесів. Окрім того, це пов'язано із тим, що задоволення користувачів транспортними послугами, значною мірою залежить як від тарифу на доставку, так і від якості та своєчасності доставки тощо. При цьому зазначені показники також залежать від якісного вибору доступних транспортних засобів та їх узгодження із замовленнями. Отже, враховуючи вище сказане пропонується метод вибору раціональних транспортних засобів з-поміж доступних для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, який враховує особливості зазначених транспортних процесів.

Вибір доступних r -х транспортних засобів (Ca_r^i) для виконання i -х замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора залежить від множини чинників V_j . При цьому вибір r -го транспортного засобу (Ca_r^i) для виконання i -х замовлень здійснюється на підставі врахування функціональних ($\{\Psi_\phi^i\}$) та вартісних ($\{\Psi_\epsilon^i\}$) показників доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора:

$$\langle Ca_r^i | V_j \rangle \Leftrightarrow (\{\Psi_\phi^i\}, \{\Psi_\epsilon^i\}). \quad (4.1)$$

де V_j – вектор чинників, що зумовлюють ефективність використання r -х транспортних засобів (Ca_r^i) для виконання i -х замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора;

$\{\Psi_{\phi}^i\}$, $\{\Psi_{\epsilon}^i\}$ – відповідно множина функціональних та вартісних показників виконання i -х замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора.

Запропонований метод вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора передбачає виконання 3 етапів (рис. 4.1).

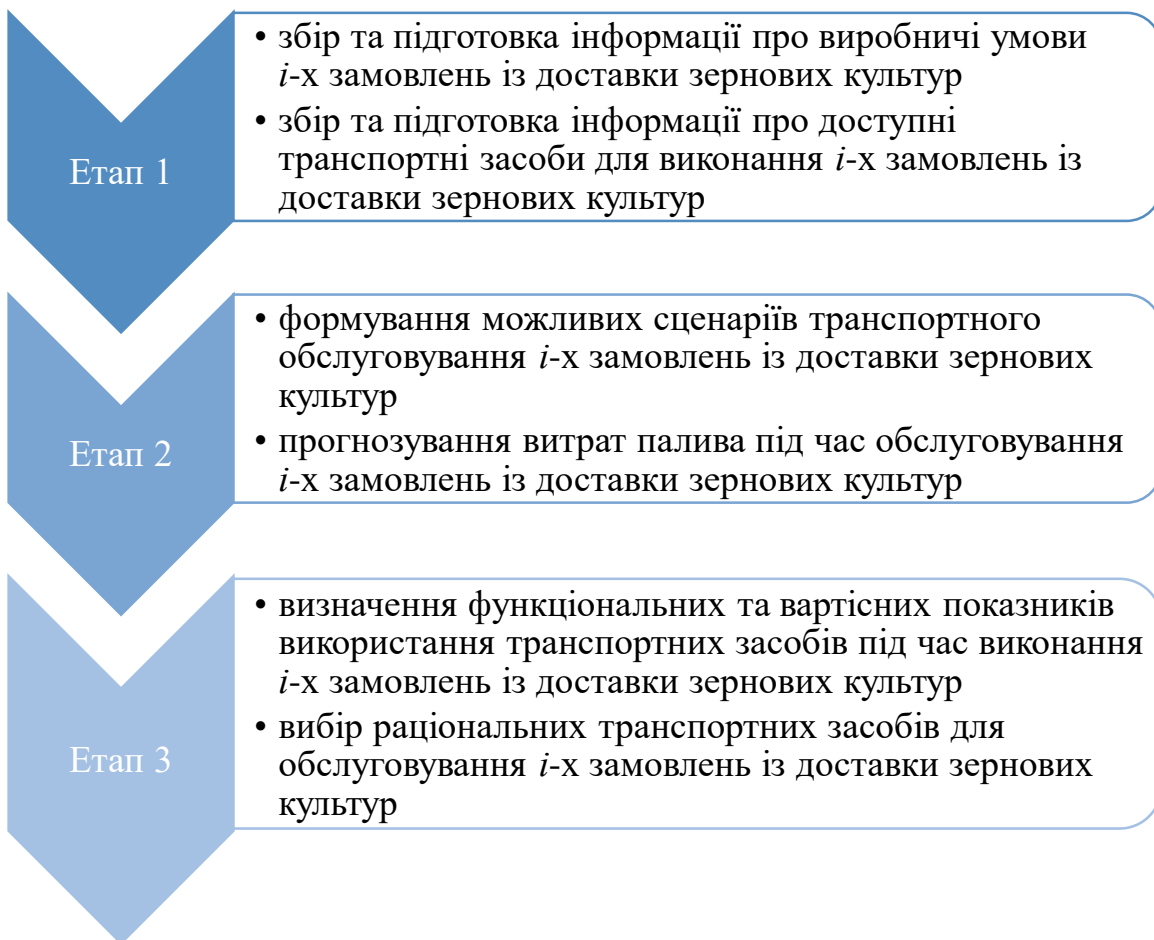


Рисунок 4.1 – Етапи методу вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Етап 1. На першому етапі виконується збір та підготовка потрібних даних для вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств

до елеватора. Зокрема, на підставі даних сільськогосподарських підприємств аналізується інформація (I_{ni}) про окремі i -ті замовлення із доставки зернових культур:

$$I_{ni} = \left\langle \begin{array}{l} \text{Cargo_volume, Type_cargo,} \\ \text{Territorial_location, Delivery_priority} \end{array} \right\rangle, \quad (4.2)$$

де *Cargo_volume* – обсяг доставки вантажу, тон; *Type_cargo* – вид зернових культур (пшениці, ріпаку, кукурудзи тощо); *Territorial_location* – територіальне розташування вантажу (населений пункт, зернотік, поле тощо); *Delivery_priority* – пріоритетність доставки вантажу (від зернозбирального комбайна – 1, із зернотоку – 2, із складів для зберігання – 3 тощо).

На підставі інформації $I(\text{Territorial_location})$ про територіальне розташування вантажу (населений пункт, зернотік, поле тощо) із використанням інтернет-сервісів OpenStreetMap [140] або Google Maps [141] виконується формування матриць відстаней (M_{Li}) та швидкостей руху (M_{Vi}) транспортних засобів від сільськогосподарських підприємств до елеватора під час виконання i -х замовлення із доставки зернових культур:

$$M_{Li} = \{L_i\}, i = 1, n, \quad (4.3)$$

$$M_{Vi} = \{V_i\}, i = 1, n, \quad (4.4)$$

де M_{Li} , M_{Vi} – відповідно матриці відстаней та швидкостей руху транспортних засобів від сільськогосподарських підприємств до елеватора під час виконання i -х замовлення із доставки зернових культур; L_i – відстань від сільськогосподарського підприємства до елеватора у i -му замовленні, км; V_i – швидкість руху транспортного засобу під час виконання i -го замовлення, км/год; n – кількість сільськогосподарських підприємств, од.

Після цього формується матриця характеристик вантажу (M_{r_c}) (зернових культур):

$$M_{r_c} = \begin{vmatrix} Q_1 & Q_2 & \dots & Q_n \\ \varphi_1 & \varphi_2 & \dots & \varphi_n \\ \rho_1 & \rho_2 & \dots & \rho_n \end{vmatrix}, \quad (4.5)$$

де Q_1, Q_2, \dots, Q_n – відповідно обсяг вантажу у першому, другому та n -му сільськогосподарському підприємстві, яке зробило замовлення на доставку зернових культур, тон; $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n$ – відповідно вид вантажу у першому, другому та n -му сільськогосподарському підприємстві, яке зробило замовлення на доставку зернових культур; $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ – відповідно пріоритетність доставки вантажу, що знаходиться у першому, другому та n -му сільськогосподарському підприємстві.

Наступним кроком на підставі інформації автотранспортного підприємства формується матриця (M_{r_r}) характеристик доступних для доставки зернових культур транспортних засобів:

$$M_{r_r} = \begin{vmatrix} \mu_{Ca1} & \mu_{Ca2} & \dots & \mu_{Car} \\ q_{Ca1} & q_{Ca2} & \dots & q_{Car} \end{vmatrix}, \quad (4.6)$$

де $\mu_{Ca1}, \mu_{Ca2}, \dots, \mu_{Car}$ – відповідно марка та модель першого, другого та r -го транспортного засобу доступного у автотранспортному підприємстві для доставки зернових культур; $q_{Ca1}, q_{Ca2}, \dots, q_{Car}$ – відповідно вантажність першого, другого та r -го транспортного засобу доступного у автотранспортному підприємстві для доставки зернових культур, тон.

Етап 2. На другому етапі запропонованого методу насамперед виконується формування можливих сценаріїв транспортного обслуговування i -х замовлень із доставки зернових культур. Для цього аналізуються наявні

i -ті замовлення на доставку зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора (рис. 4.2).

Усі наявні замовлення подвійно ранжують за пріоритетністю ρ_n доставки вантажу (від зернозбирального комбайна – 1, із зернотоку – 2, із складів для зберігання – 3 тощо) та за обсягами вантажу Q_n (зернових культур) у n -му сільськогосподарському підприємстві.

$$\rho_3^1 < \rho_8^2 < \dots < \rho_n^3, \quad (4.7)$$

$$Q_3^1 < Q_7^2 < \dots < Q_n^3. \quad (4.8)$$

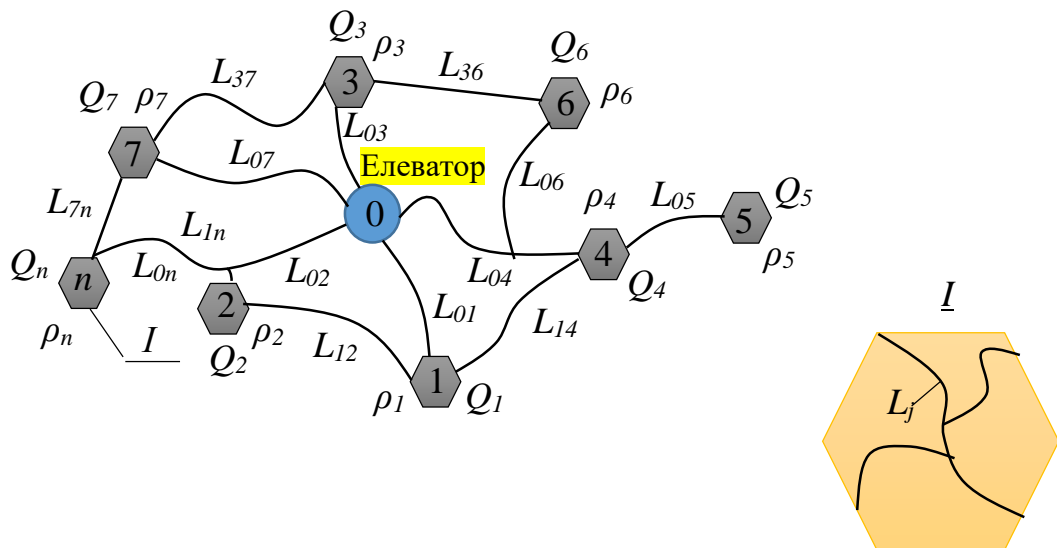


Рисунок 4.2 – Граф розташування сільськогосподарських підприємств відносно елеватора із характеристиками вантажу (зернових культур): 1, 2, ..., n – сільськогосподарські підприємства; L_{0i} – віддаль між елеватором та i -м сільськогосподарським підприємством; l_j^m – найкоротша вітка мережі доріг до i -го сільськогосподарського підприємства

На підставі цього формується вектор із черговістю транспортного обслуговування сільськогосподарських підприємств. Окрім того, формують вектор доступних у автотранспортному підприємстві автомобілів (Ca_r^i) для

доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора (рис. 4.3).

Кількість варіантів сценаріїв транспортного обслуговування сільськогосподарських підприємств стосовно доставки до елеватора вантажу (зернових культур) залежить:

$$N_{sc} = f(\{N_{oi}\}, \{Ca_r^i\}, \{R_{er}^i\}). \quad (4.9)$$

де $\{N_{oi}\}$ – множина i -их замовлень на доставку зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, од; $\{Ca_r^i\}$ – множина доступних r -их транспортних засобів для обслуговування i -их замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, од; $\{R_{er}^i\}$ – множина регламентів на використання r -их транспортних засобів під час виконання i -их замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора.

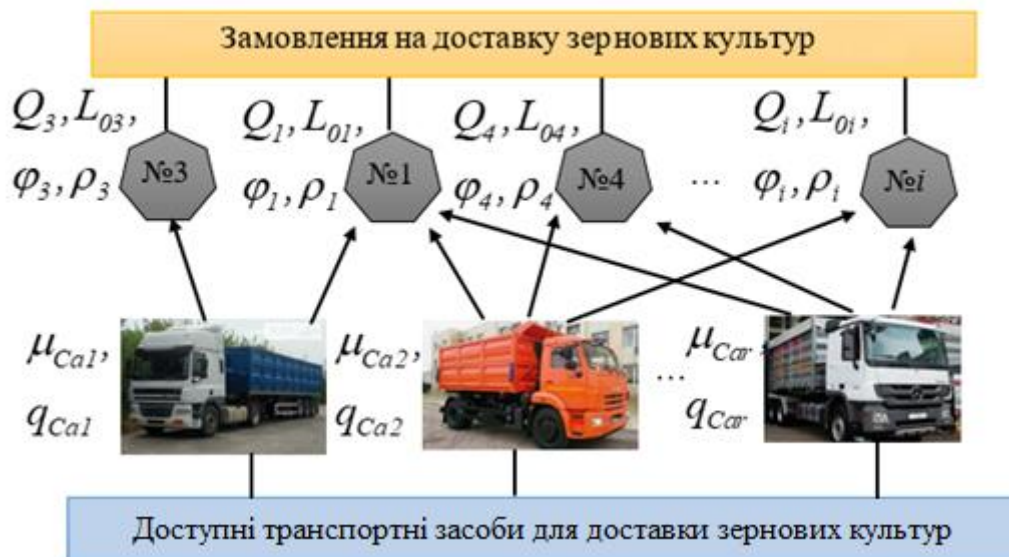


Рисунок 4.3 – Схема формування множини варіантів сценаріїв транспортного обслуговування сільськогосподарських підприємств стосовно доставки до елеватора вантажу (зернових культур)

У подальшому для кожного із варіантів сценаріїв використання r -их транспортних засобів виконується прогнозування витрат палива (SFC_{ri}) під час виконання i -их замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора. Для цього використовується обґрунтована раціональна модель прогнозування витрат пального транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора (див. п. 3.2).

Передбачається використання обґрунтованої моделі RF випадкового лісу, що складається із 5 рандомізованих базових регресійних дерев:

$$\left\{ r_n(X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1j}, SFC_{ri}, D_n), m \geq 1 \right\}, \quad (4.10)$$

де SFC_m – прогнозовані значення питомих витрат пального (SFC_{ri}) r -ми транспортними засобами під час виконання i -их замовлень із доставки зернових культур від n -их сільськогосподарських підприємств до елеватора, літрів/100км.

Усі отримані випадкові дерева об'єднуються, щоб сформуванати агреговану оцінку регресії:

$$\bar{r}_n(X, D_n) = E(SFC_{ri}) [r_n(X, SFC_{ri}, D_n)]. \quad (4.11)$$

Отримані кількісні значення прогнозу питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами із використанням моделі RF випадкового лісу представляють як середні прогнозні значення, що були отримані кожним із 5 дерев рішень обґрунтованого ансамблю.

Етап 3. На третьому етапі запропонованого методу вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора проводиться визначення функціональних та вартісних показників

використання транспортних засобів під час виконання i -х замовлень із доставки зернових культур.

До множини функціональних $\{\Psi_{\phi}^i\}$ показників виконання i -х замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора належать:

$$\{\Psi_{\phi}^i\} : \Leftrightarrow (t_i, L_i, Q_i, W_i, g_{ni}, P_i). \quad (4.12)$$

де t_i – тривалість виконання i -го замовлення із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, год; L_i – сумарний пробіг транспортних засобів під час виконання i -го замовлення із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, км; Q_i – сумарний обсяг перевезеного вантажу транспортних засобів під час виконання i -го замовлення із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, т; W_i – вантажообіг під час виконання i -го замовлення із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, т.км; g_{ni} – витрата палива під час виконання i -го замовлення із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, літрів; P_i – продуктивність транспортних засобів під час виконання i -го замовлення із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, т.км/зміну (т /зміну).

До множини вартісних $\{\Psi_{\epsilon}^i\}$ показників виконання i -х замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора належать:

$$\{\Psi_{\epsilon}^i\} : \Leftrightarrow (\{E^i\} \rightarrow C^i). \quad (4.13)$$

де $\{E^i\}$ – множина експлуатаційних витрат на виконання i -х замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, грн; C^i – собівартість виконання i -х замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, грн/т (грн/т.км).

При цьому, собівартість C^i виконання i -х замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора визначається за формулою:

$$C^i = \frac{\{E^i\}}{W^i \vee Q^i} = \frac{C_3^i + C_{пмм}^i + C_a^i + C_{тор}^i + C_{ш}^i + C_n^i}{W^i \vee Q^i}, \quad (4.14)$$

де C_3^i – витрати на зарплату водіїв, грн; $C_{пмм}^i$ – витрати на паливно-мастильні матеріали, грн; C_a^i – амортизаційні відрахування, грн; $C_{тор}^i$ – витрати на технічне обслуговування та ремонт транспортних засобів, грн; $C_{ш}^i$ – витрати на відновлення шин, грн; C_n^i – накладні витрати, грн.

Раціональними r -ми транспортними засобами (Ca_r^i) з-поміж доступних у автотранспортному підприємстві для заданих умов виконання i -х замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, вважаються ті, які задовольняють умову:

$$Rational \langle Ca_r^i | V_j \rangle = C^i \Rightarrow min. \quad (4.15)$$

Раціональні r -і транспортні засоби (Ca_r^i) визначаються на етапах виконання планування транспортних процесів доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора. Водночас, для якісного планування зазначених процесів слід прогнозувати собівартість C^i виконання i -х замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських

підприємств до елеватора, що є досить трудомістким процесом. Проблема зазначеного прогнозування є, очевидно, складною так як на неї впливає багато чинників та досить складно передбачити витрату палива (SFC_{ri}), а транспортні процеси відбуваються у специфічних виробничих умовах. Отже, якісне виконання вибору раціональних транспортних засобів для виконання i -х замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора потребує розроблення відповідної комп'ютерної моделі, яке базуватиметься на запропонованому методі із використанням обґрунтованої моделі RF випадкового лісу для прогнозування витрат (SFC_{ri}) палива транспортними засобами.

4.2 Алгоритм та комп'ютерна модель вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Для пришвидшення процесу вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора нами розроблено відповідний алгоритм та комп'ютерну модель. Вони базуються на обґрунтованій моделі RF випадкового лісу для прогнозування витрат палива (SFC_{ri}) r -ми транспортними засобами (див. п. 3.4), що є складовою методу вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора (див. п. 4.1). Цей метод забезпечує врахування як виробничих умов, так і особливостей кожного із замовлень на доставку зернових культур включаючи пріоритети, що зумовлені технологічними особливостями завантаження транспортних засобів.

Алгоритм вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора (рис. 4.4) передбачає виконання 12 кроків.

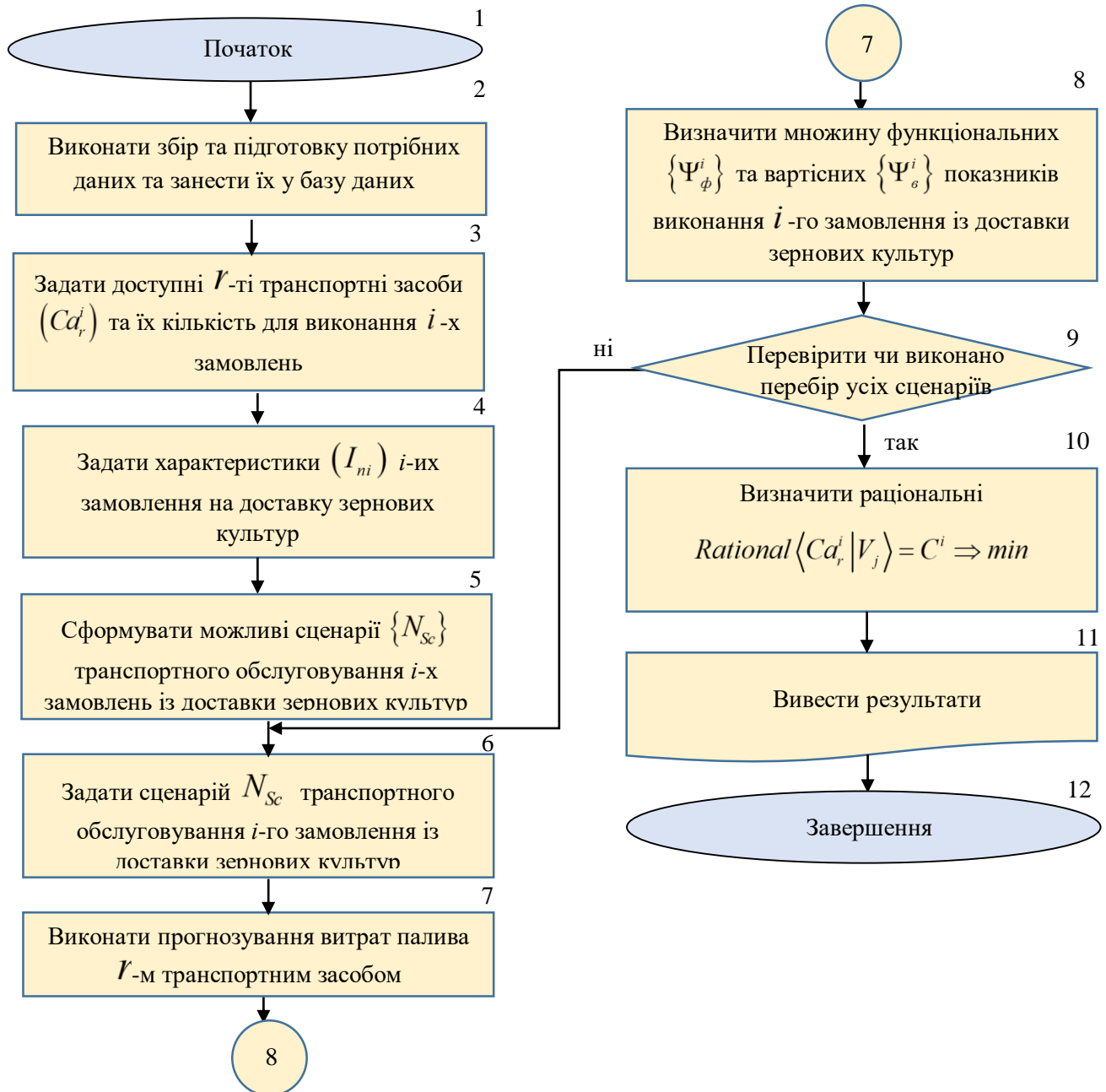


Рисунок 4.4 – Алгоритм вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Запропонована комп'ютерна модель для вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур

від сільськогосподарських підприємств до елеватора написано на мові *Python*
3.9. Робоче вікно запропонованої комп'ютерної моделі наведено на рис. 4.5.

Rational means of transport

The choice of rational means of transport

Tue Jul 26 13:40:05 2022

-----Results-----
of the choice of rational means of transport

Cars are available

Car #1	DAF_FT_XF_105	Availability of cars #1, units	2
Car #2	DAF_XF_105_460	Availability of cars #2, units	1
Car #3	KAMA3_45143_012_15	Availability of cars #3, units	2
Car #4	DAF_XF95_480	Availability of cars #4, units	1
Car #5	MA3_543205_020	Availability of cars #5, units	1

Order for transportation of seeds of grain crops

	Distance, km	Cargo volume, tons	Type of cargo	Priority
Agricultural enterprise No. 1	25	10	Пшениця	1
Agricultural enterprise No. 2	46	22	Ріпак	2
Agricultural enterprise No. 3	53	20	Жито	3
Agricultural enterprise No. 4	32	12	Пшениця	1
Agricultural enterprise No. 5	62	20	Ячмінь	2

CARS INFORMATION CALCULATE RESET EXIT

```

Agr_(No.) 1
Vehicle(mark) DAF_FT_XF_105
Distance(km) 25.0
Cargo_volume(ton) 10.0
Cargo_circulation(ton.km) 250.0
Spec_fuel(liters/100km) 30.2
Total_fuel(liters) 7.5
Cost(UAH/km) 16.5
Name: 0, dtype: object

Agr_(No.) 4
Vehicle(mark) DAF_FT_XF_105
Distance(km) 32.0
Cargo_volume(ton) 12.0
Cargo_circulation(ton.km) 384.0
Spec_fuel(liters/100km) 39.1
Total_fuel(liters) 12.5
Cost(UAH/km) 21.5
Name: 8, dtype: object

Agr_(No.) 3
Vehicle(mark) DAF_XF_105_460
Distance(km) 53.0
Cargo_volume(ton) 20.0
Cargo_circulation(ton.km) 1060.0
Spec_fuel(liters/100km) 45.5
Total_fuel(liters) 24.7
Cost(UAH/km) 25.6
Name: 12, dtype: object

Agr_(No.) 2
Vehicle(mark) MA3_543205_020
Distance(km) 46.0
Cargo_volume(ton) 22.0
Cargo_circulation(ton.km) 1012.0
Spec_fuel(liters/100km) 52.4
Total_fuel(liters) 24.1
Cost(UAH/km) 28.8
Name: 31, dtype: object

Agr_(No.) 5
Vehicle(mark) MA3_543205_020
Distance(km) 62.0
Cargo_volume(ton) 20.0
Cargo_circulation(ton.km) 1240.0
Spec_fuel(liters/100km) 55.6
Total_fuel(liters) 35.1
Cost(UAH/km) 31.1
Name: 34, dtype: object

```

Information about the cars

CARS	CODE	CARGO (tons)
DAF_FT_XF_105	1	25
DAF_FT_CF_85_410	2	23.5
DAF_FT_XF_105_460	3	25
DAF_XF_105_460	4	25
KAMA3_45143_012_15	5	22
DAF_XF95_480	6	25
DAF_XT95_430	7	23.5
DAF_CF85_410	8	23.5
DAF_CF85_430	9	23.5
MA3_543205_020	10	23.5
DAF_CF85	11	23.5
FREIGHTLINER	12	25
DAF_85_300	13	20.8
DAF_95_380	14	25
DAF_FTXF_105_410	15	25
Mercedes_Atego818	16	2.32

Рисунок 4.5 – Вікно комп'ютерної моделі вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Користувачі розробленої комп'ютерної моделі (диспетчери автотранспортних підприємств) насамперед виконують формування бази із

даними про виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора за попередні періоди. При цьому відносно кожного виконаного транспортного замовлення фіксується: марка транспортного засобу (DAF 85.300, DAF 95.380, DAF CF85, DAF CF85.410, DAF CF85.430, DAF FT CF 85.410, DAF FT XF 105, DAF FT XF 105.410, DAF FT XF 105.460, DAF FT95.430, DAF XF 105.460, DAF XF95.480, Freightliner FLC-120, Mercedes-Benz Atego818, КАМАЗ 45143-012-15, МАЗ 543205-020); вид вантажу (жито, зерно, зернопродукти, зерноsumіш, кукурудза, овес, просо, пшениця, кукурудза, ріпак, ріпак/пшениця, соняшник, соя, соя в багах, ячмінь); загальна відстань доставки, км; фактичні витрати палива, літрів; питомі витрати палива, літрів/100 км; вантажообіг, т.км; обсяг транспортованого вантажу, тон.

На підставі інформації наданої сільськогосподарськими підприємствами під час оформлення замовлень фіксується територіальне розташування вантажу (населений пункт, зернотік, поле тощо) та його характеристики (M_{r_c}) . За даними автотранспортного підприємства отримуються характеристики (M_{r_r}) транспортних засобів доступних для доставки зернових культур. Після цього із використанням інтернет сервісів (OpenStreetMap [140] або Google Maps [141]) виконується формування матриць відстаней (M_{L_i}) та швидкостей руху (M_{V_i}) для доступних транспортних засобів.

Початковими даними для вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора є доступні r -ті транспортні засоби (Ca_r^i) та їх кількість, а також характеристики (I_{ni}) i -х замовлень на доставку зернових культур.

На підставі проведення розрахунків із використанням розробленої комп'ютерної моделі отримують для можливих сценаріїв доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора:

- сумарний пробіг L_i транспортних засобів під час виконання i -го замовлення із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, км;
- сумарний обсяг Q_i транспортованого вантажу під час виконання i -го замовлення із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, т;
- вантажообіг W_i під час виконання i -го замовлення із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, т.км;
- сумарні витрати палива g_{ni} під час виконання i -го замовлення із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, літрів;
- продуктивність P_i транспортних засобів під час виконання i -го замовлення із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, т.км/зміну (т /зміну);
- собівартість C^i виконання i -х замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, грн/т (грн/т.км, грн/км);
- усі можливі (у окремий файл Result_opt.xlsx) та раціональні сценарії $Rational\langle Ca_r^i | V_j \rangle$ (у окремий файл Result_planning.xlsx) виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора;
- візуалізацію результатів вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора (окремий побудований графік та таблиця у вікні комп'ютерної моделі).

На підставі використання обґрунтованої моделі RF випадкового лісу виконано прогнозування питомих витрат палива (SFC_{ri}) r -ми транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора. Нами виконано порівняння реальних (ТОВ «Волинь-Зерно-Продукт», м. Луцьк, Волинська область) та прогнозованих питомих витрат палива (SFC_{ri}) r -ми транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора (рис. 4.6).

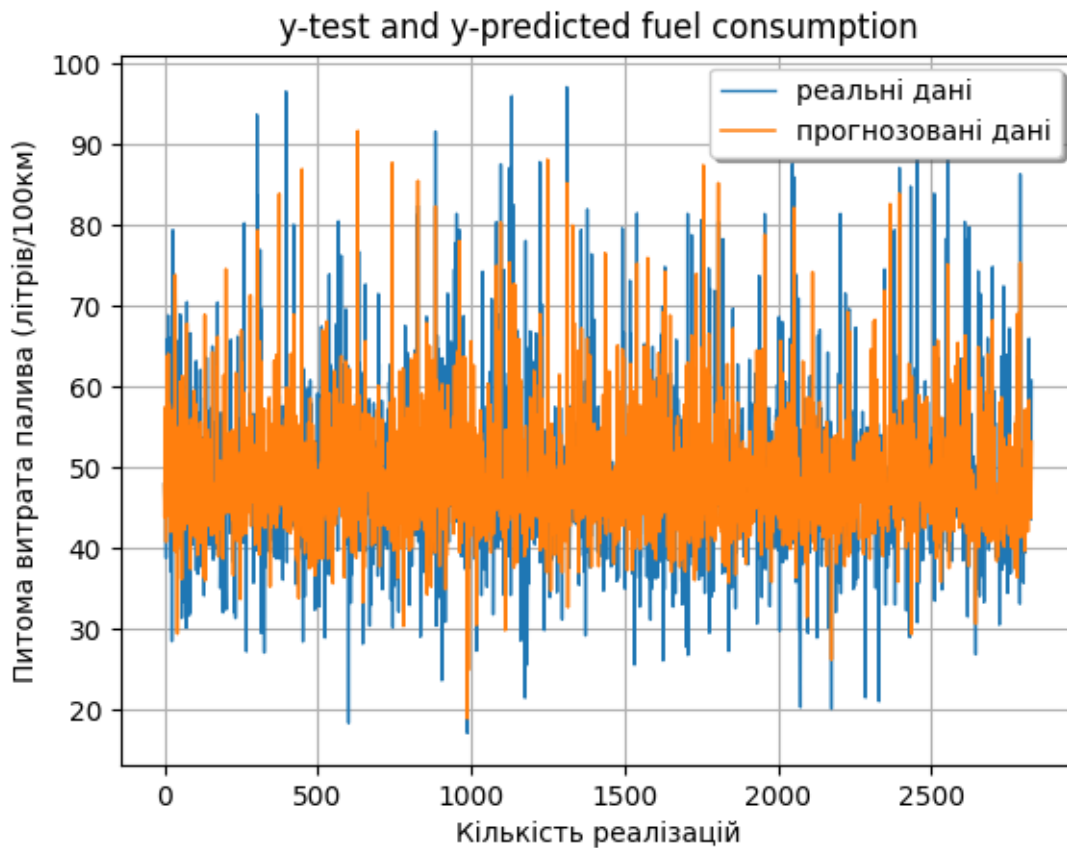


Рисунок 4.6 – Порівняння реальних та прогнозованих питомих витрат палива транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Встановлено, що середньоквадратична помилка (MSE) прогнозу питомих витрат палива (SFC_{ri}) r -ми транспортними засобами під час доставки

зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора становить:

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (g_{pi} - g_{ni})^2}{n} = 24.29, \quad (4.16)$$

де g_{pi}, g_{ni} – реальні та прогнозовані питомі витрати палива (SFC_{ri}) r -ми транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, літрів/100км; n – загальна кількість помилок, од.

На підставі значення MSE визначаємо середньоквадратичну помилку (RMSE) прогнозу питомих витрат палива (SFC_{ri}) r -ми транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, яка становить:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (g_{pi} - g_{ni})^2}{n}} = 3.49. \quad (4.17)$$

Середньоквадратична відсоткова помилка (RMSPE) прогнозу питомих витрат палива (SFC_{ri}) r -ми транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора становить:

$$RMSPE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{g_{pi} - g_{ni}}{g_{pi}} \right)^2}{n}} \cdot 100\% = 8.09\%. \quad (4.18)$$

Середня абсолютна відсоткова помилка (MAPE) прогнозу питомих витрат палива (SFC_{ri}) r -ми транспортними засобами під час доставки

зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора становить:

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{g_{pi} - g_{ni}}{g_{pi}} \right)}{n} \cdot 100\% = 4.6\%. \quad (4.19)$$

Отже, отримані результати свідчать про достатню точність моделі RF випадкового лісу для прогнозування питомих витрат палива (SFC_{ri}) r -ми транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора.

Запропонована комп'ютерна модель для вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора перевірена на адекватність із використанням парного t -критерію.

З метою проведення перевірки на адекватність запропонованої комп'ютерної моделі вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора порівнювали кількісні значення собівартості C^i виконання i -х замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, які для однакових виробничих умов отримано у ТОВ «Волинь-Зерно-Продукт» (м. Луцьк, Волинська область) та за результатами виконання відповідних комп'ютерних експериментів. Результати перевірки на адекватність запропонованої комп'ютерної моделі вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора подано у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати перевірки на адекватність запропонованої комп'ютерної моделі вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Сценарій виконання i -х замовлень із доставки зернових культур	Собівартість C^i виконання i -х замовлень із доставки зернових культур, грн/км		Різниця $(x_{2n} - x_{1n})$
	Дані отримані у ТОВ «Волинь-Зерно-Продукт», x_{1n}	Комп'ютерні експерименти, x_{2n}	
1	2	3	4
<p>Марка ТЗ – DAF-FT-XF-105.</p> <p>Вид вантажу – пшениця.</p> <p>Сумарний пробіг ТЗ – $L_i=25$ км.</p> <p>Сумарний обсяг транспортованого вантажу $Q_i=10$ т.</p>	17,1	16,5	-0,6
<p>Марка ТЗ – DAF-FT-XF-105.</p> <p>Вид вантажу – ріпак.</p> <p>Сумарний пробіг ТЗ – $L_i=32$ км.</p> <p>Сумарний обсяг транспортованого вантажу $Q_i=12$ т.</p>	20,5	21,5	1,0
<p>Марка ТЗ – DAF-XF-105-460.</p> <p>Вид вантажу – жито.</p> <p>Сумарний пробіг ТЗ – $L_i=53$ км.</p> <p>Сумарний обсяг транспортованого вантажу $Q_i=20$ т.</p>	25,3	25,6	0,3

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4
Марка ТЗ – МАЗ-543205-020. Вид вантажу – пшениця. Сумарний пробіг ТЗ – $L_i=46$ км. Сумарний обсяг транспортованого вантажу $Q_i = 22m$.	29,6	28,8	-0,8
Марка ТЗ – МАЗ-543205-020. Вид вантажу – ячмінь. Сумарний пробіг ТЗ – $L_i=62$ км. Сумарний обсяг транспортованого вантажу $Q_i = 20m$.	30,6	31,1	0,5

На підставі виконаної перевірки на адекватність запропонованої комп'ютерної моделі вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора встановлено, що реальні дані собівартості C^i виконання i -х замовлень із доставки зернових культур та дані отримані у результаті проведення відповідних комп'ютерних експериментів відхиляються у допустимих межах. Зокрема, порівнювана собівартість C^i виконання i -х замовлень із доставки зернових культур, яка отримана із використанням запропонованої прикладної комп'ютерної моделі та отримана у реальних виробничих умовах ТОВ «Волинь-Зерно-Продукт» не перевищує допустимих значень, які коливаються у межах 0,3...1,0 грн/км, або ж 1,1...4,7%. Це свідчить про можливість використання запропонованої прикладної комп'ютерної моделі у автотранспортних підприємствах для вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із

доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора.

4.3 Результати моделювання використання транспортних засобів під час виконання замовлень із доставки зернових культур

Для дослідження закономірностей та отримання додаткової інформації про використання транспортних засобів ТОВ «Волинь-Зерно-Продукт» під час виконання замовлень із доставки зернових культур було змодельовано транспортний процес використовуючи алгоритм та комп'ютерну модель наведену у п. 4.2.

До параметрів, що варіювалися під час виконання замовлень із доставки зернових культур належать марка транспортного засобу, загальна відстань доставки та обсяг транспортованого вантажу. Моделювання було проведено для кожного із п'ятнадцяти транспортних засобів підприємства вантажністю понад 20,8 т. Значення відстані доставки обрано з врахуванням того, що більшість транспортних замовлень ТОВ «Волинь-Зерно-Продукт» не перевищують 100 км загальної віддалі (п. 3.2). Обсяг транспортованого вантажу варіюється з врахуванням норми габаритно-вагового контролю транспортних засобів в Україні [142]. Мінімальні, максимальні значення та кроки варіювання параметрів наведені у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Рівні параметрів моделювання використання транспортних засобів під час виконання замовлень із доставки зернових культур

Назва параметра	Мінімальне значення	Максимальне значення	Крок варіювання
Марка автомобіля (кодоване значення)	1	15	1
Відстань, км	10,0	100,0	10,0
Обсяг вантажу, т	5,0	22,5	2,5

В результаті проведеного моделювання в розрізі марок транспортних засобів отримано наступні показники:

- вантажобіг під час виконання замовлень з доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, т.км;
- сумарні витрати палива під час виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, літрів;
- питомі витрати палива під час виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, л/100 км;
- собівартість виконання замовлень під час виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, грн/км.

Результати моделювання проведених експериментів подано у таблиці Ж.1 (див. додаток Ж).

З метою аналізу та виявлення спільних ознак у досліджуваних об'єктів, було застосовано метод ієрархічного кластерного аналізу. Кластерний аналіз дозволяє розділити, отриману шляхом експериментальних досліджень, вибірку на підмножини, які називаються кластерами, таким чином, щоб кожен кластер складався зі схожих об'єктів, а об'єкти різних кластерів істотно відрізнялися. Результатом даного аналізу є побудова дендрограми, що дозволяє графічно представити послідовність об'єднання досліджуваних об'єктів у кластери.

Об'єднання транспортних засобів у кластери проведено на основі, отриманих в процесі моделювання, значень питомих витрат палива. Під час аналізу встановлено, що найбільш ефективним способом побудови дендрограми для конкретних даних є метод Уорда. На противагу іншим методам кластерного аналізу для оцінки відстаней між кластерами, метод Уорда використовує методи дисперсійного аналізу. Алгоритм даного методу

на кожному кроці об'єднує такі два кластери, які призводять до мінімального збільшення цільової функції, тобто внутрішньогрупової суми квадратів [143;144].

Ієрархічний кластерний аналіз марок транспортних засобів ТОВ «Волинь-Зерно-Продукт» було проведено з використанням програмного пакету для статистичного аналізу Statistica 14.0.0 [145]. Виявлені зв'язки в середині масиву даних дозволили згрупувати моделі транспортних засобів підприємства. В результаті проведеної кластеризації було сформовано 5 кластерів, які мають найбільш типову для кластера зміну питомих витрат палива за заданих умов. Результати ієрархічного кластерного аналізу представлено у вигляді дендрограми на Рисунку 4.7. Отримані групи транспортних засобів (табл. 4.3) слугували основою для подальшого кореляційно-регресійного аналізу.

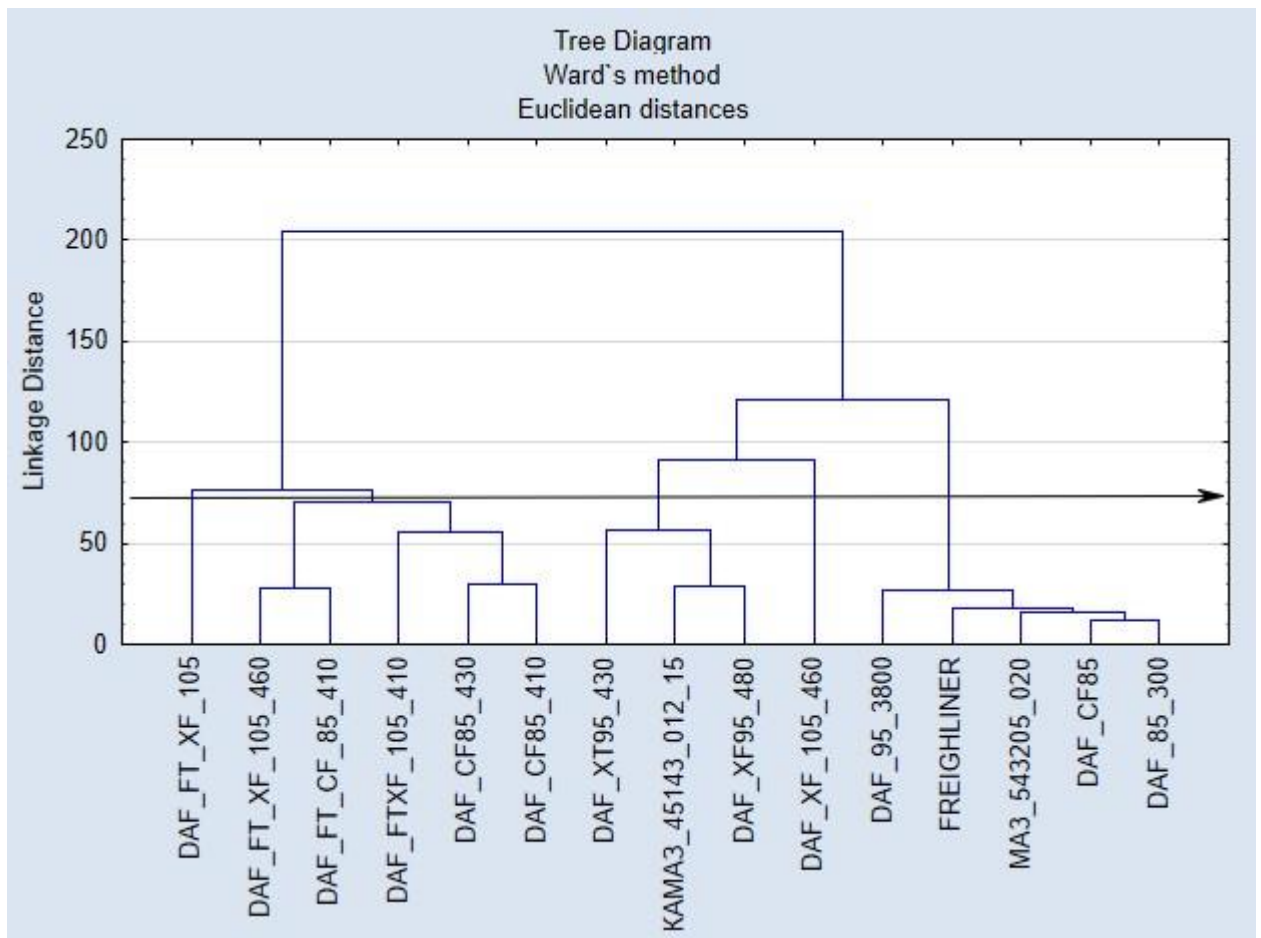


Рисунок 4.7 – Дендрограма об'єднання кластерів методом Уорда

Таблиця 4.3 – Групи транспортних засобів сформовані на основі дендрограми за методом Уорда

Назва групи	Марка транспортного засобу
Група А	DAF 85 300
	DAF 95 3800
	DAF CF85
	FREIGHLINER
	MA3 543205 020
Група Б	DAF CF85 430
	DAF CF85 410
	DAF FT CF 85 410
	DAF FT XF 105 460
	DAF FTXF 105 410
Група В	DAF XF 105 460
Група Г	DAF FT XF 105
Група Д	DAF XF95 480
	DAF XT95 430
	КАМАЗ 45143 012 15

Застосування кореляційно-регресійного аналізу до змодельованих даних дозволяє підвищити ступінь точності аналізу та виявити можливі недоліки попереднього аналізу [146]. Метод кореляційно-регресійного аналізу вирішує наступні завдання:

1) визначити характер і тісноту зв'язку між:

- а) питомими витратами палива транспортними засобами та обсягом вантажу;
- б) собівартістю 1 км виконаного замовлення транспортними засобами та обсягом вантажу;

- c) загальними витратами палива транспортними засобами від та вантажообігом;
- d) собівартістю 1 км виконаного замовлення та питомими витратами палива транспортними засобами;

2) виявити та кількісно виміряти ступінь впливу обсягу вантажу, відстані замовлення та їх комплексу на величину собівартості 1 км виконаного замовлення;

3) сформувані апроксимуючі функції для вищевказаних залежностей та надати рекомендації для діяльності підприємства.

Для визначення характеру та тісноти зв'язку проведено однофакторний аналіз, основною метою якого є оцінка величини впливу конкретного фактора на досліджуваний відгук.

Оскільки виявлені залежності є нелінійними, то для їх апроксимації застосовують функцій у вигляді простих аналітичних виразів, що мають цілком визначену асимптотичну поведінку та можуть описувати нелінійні залежності різного характеру, а саме логарифмічну, степеневу, експоненціальну, гіперболічну та поліноміальну. Параметри функцій цих залежностей визначають методом найменших квадратів. Застосування методу найменших квадратів передбачає підбір параметрів апроксимуючої функції таким чином, щоб сума квадратів відхилень досліджуваних точок (значень функції $f(x)$) від апроксимуючої кривої була мінімально можливою. Також під час вибору виду апроксимуючої функції враховують вигляд графіка залежності, точність апроксимації, асимптотичну поведінку апроксимуючої функції та зручність її подальшого використання. При правильному підборі параметрів теоретичної функції середнє значення цих відхилень завжди буде близьким до нуля, а стандарт може служити мірою точності апроксимації. Враховуючи це необхідно розглянути всі можливі варіанти та обрати вид функціональної залежності на підставі найвищого рівня кореляції та найменшої середньо-квадратичної помилки.

Беручи до уваги змодельовані дані щодо обсягу вантажу, відстані транспортування, вантажообігу, загальних та питомих витрат палива, собівартості 1 км виконаного замовлення на наступному етапі було отримано необхідні залежності (табл. 4.4-4.7) та їх графічне відображення (рисунки 4.8-4.11 для групи А та рисунки Ж.1-Ж.20 у додатку Ж.)

Аналіз встановленої залежності (табл. 4.3) між питомою витратою палива транспортними засобами та обсягом вантажу свідчить про наявність тісного зв'язку між параметром та відгуком. Для усіх груп взаємозв'язок апроксимується нелінійною функцією, а саме поліноміальною або експоненціальною. Зокрема для транспортних засобів групи А (рис. 4.8) було виявлено стрімке зростання питомої витрати палива під час доставки зернових культур обсягом до 7 т та 15-21 т від сільськогосподарських підприємств до елеватора. При цьому питома витрата палива практично залишається незмінною для вантажів обсягом 8-14 т та становить 44-45 л/100км.

Схожу динаміку спостерігаємо між собівартістю 1 км виконаного замовлення та обсягу вантажу під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора. Взаємозв'язок у групах транспортних засобів описується поліноміальною або експоненціальною функціями (табл. 4.5). Графічно отриману залежність для транспортних засобів групи А представлено на рисунку 4.9. Для автомобілів даної групи є характерним зростання собівартості 1 км виконаного замовлення при доставці вантажу обсягом до 8т, а також від 14 до 21т, при повному завантаженні спостерігаємо зниження витрат. Для обсягу вантажу 8 – 13т витрати на транспортування залишаються на рівні 14 грн/км.

Таблиця 4.4 – Математичні залежності зміни питомих витрат палива транспортними засобами від обсягу вантажу під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора у розрізі груп

Назва групи	Вид залежності	Коефіцієнт детермінації	Коефіцієнт кореляції	Середньо-квадратична помилка
А	<p>Поліноміальна</p> $f(x) = -0.0029x^4 + 0.1672x^3 - 3.3625x^2 + 29.0729x - 48.3493$	0.8951	0.9466	2.295
Б	<p>Поліноміальна</p> $f(x) = -0.0019x^4 + 0.1119x^3 - 2.3142x^2 + 20.6997x - 23.3226$	0.7152	0.8473	3.816
В	<p>Поліноміальна</p> $f(x) = -0.0020x^5 + 0.1435x^4 - 3.8445x^3 + 47.9619x^2 - 272.6523x + 593.8825$	0.8894	0.9468	3.036
Г	<p>Експоненціальна</p> $f(x) = 24.8579e^{0.0244x}$	0.7983	0.8949	2.477
Д	<p>Поліноміальна</p> $f(x) = -0.0004x^5 + 0.0244x^4 - 0.6306x^3 + 7.7557x^2 - 44.4823x + 133.7142$	0.5993	0.7795	4.359

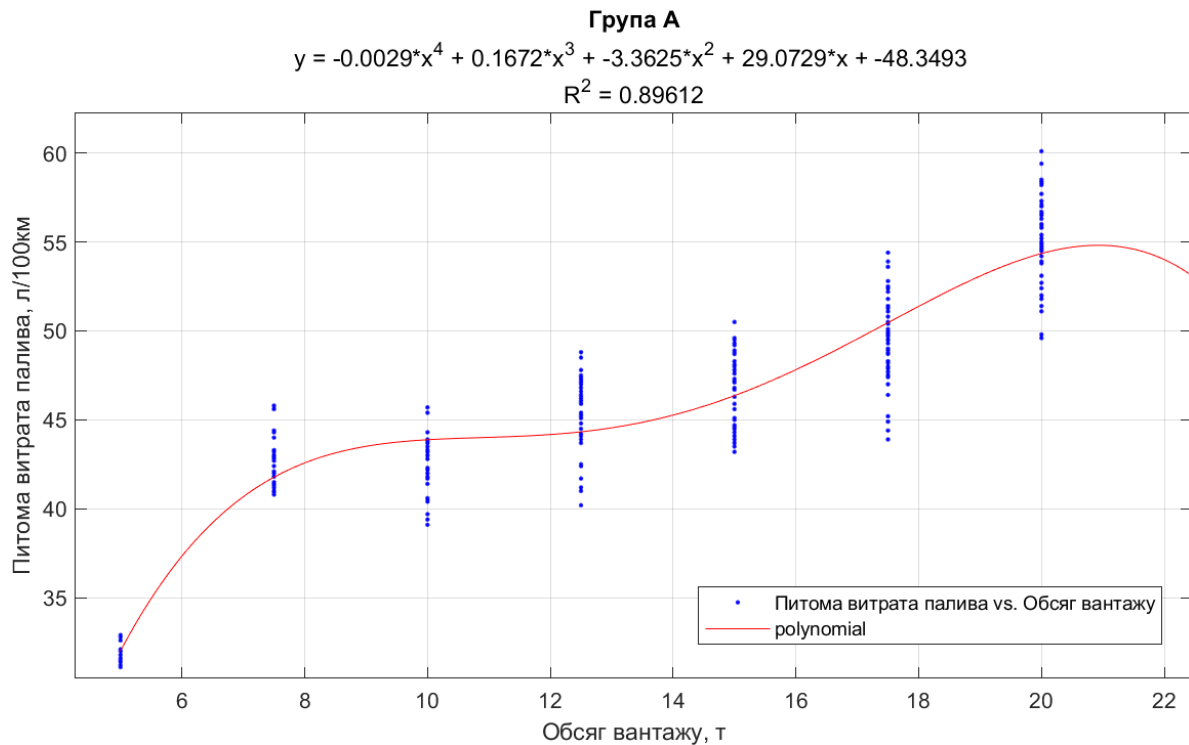


Рисунок 4.8 – Залежність питомих витрат палива транспортними засобами групи А від обсягу вантажу під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Таблиця 4.5 – Математичні залежності собівартості 1 км виконаного замовлення транспортними засобами від обсягу вантажу під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора у розрізі груп

Назва групи	Вид залежності	Коефіцієнт детермінації	Коефіцієнт кореляції	Середньо-квдратична помилка
1	2	3	4	5
А	<p>Поліноміальна</p> $f(x) = -0.0016x^4 + 0.0919x^3 - 1.8490x^2 + 15.9918x - 26.6186$	0.8957	0.9470	1.259

Продовження таблиці 4.5

1	2	3	4	5
Б	Поліноміальна $f(x) = -0.0011x^4 + 0.0616x^3 - 1.2730x^2 + 11.3784x - 16.0710$	0.7145	0.8470	2.096
В	Поліноміальна $f(x) = -0.0011x^5 + 0.0792x^4 - 2.1210x^3 + 26.46x^2 - 150.4137x + 327.5833$	0.8884	0.9463	1.679
Г	Експоненціальна $f(x) = 13.6658e^{0.244x}$	0.7944	0.8927	1.378
Д	Поліноміальна $f(x) = -0.0002x^5 + 0.0133x^4 - 0.3437x^3 + 4.2257x^2 - 24.2310x + 73.0436$	0.5999	0.7799	2.399

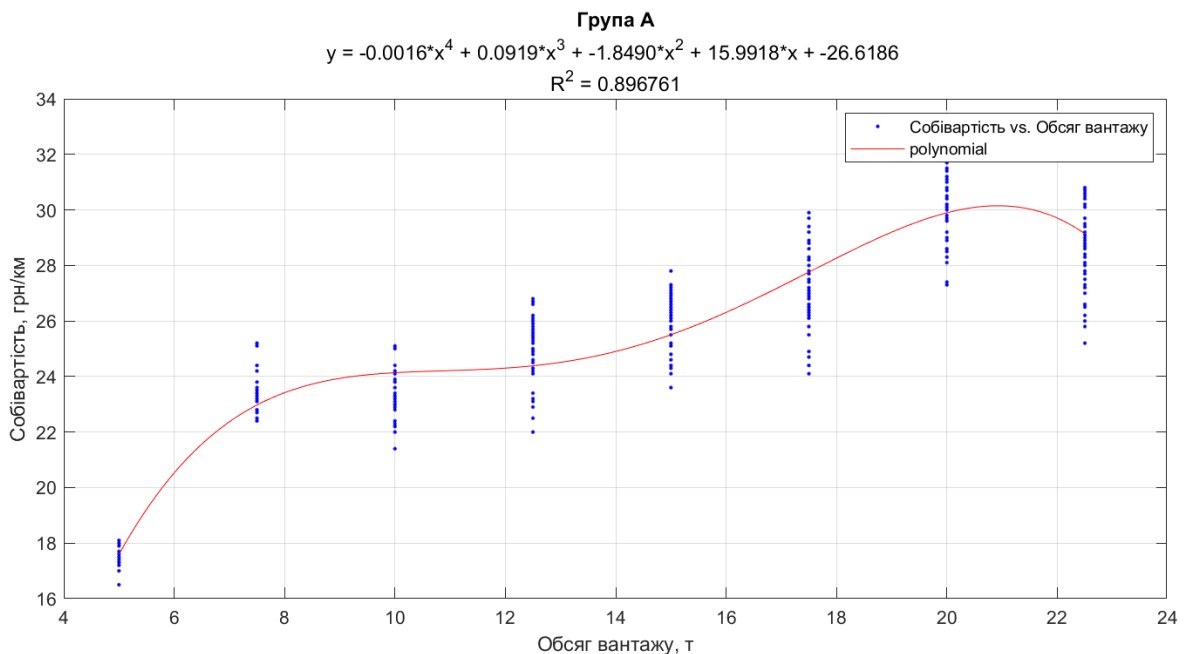


Рисунок 4.9 – Залежність собівартості 1 км виконаного замовлення транспортними засобами групи А від обсягу вантажу під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Проаналізувавши взаємозв'язок загальних витрат палива під час доставки зернових культур від вантажообігу було виявлену степеневу функціональну залежність для усіх груп транспортних засобів (табл. 4.6). До того ж, як свідчить аналіз закономірностей (рис. 4.10), максимальні загальні витрати палива відповідають максимальному вантажообігу.

Таблиця 4.6 – Математичні залежності загальних витрат палива транспортними засобами від вантажообігу під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора у розрізі груп

Назва групи	Вид залежності	Коефіцієнт детермінації	Коефіцієнт кореляції	Середньо-квадратичне відхилення
А	Степенева $f(x) = 3.4785x^{0.3823} - 15.9979$	0.823	0.9077	5.662
Б	Степенева $f(x) = 1.2852x^{0.4834} - 7.3855$	0.8285	0.9107	4.964
В	Степенева $f(x) = 3.5996x^{0.3764} - 16.2708$	0.7298	0.8583	7.298
Г	Степенева $f(x) = 0.9545x^{0.5005} - 5.5352$	0.838	0.9177	4.134
Д	Степенева $f(x) = 1.3285x^{0.4896} - 6.8471$	0.7862	0.8877	6.201

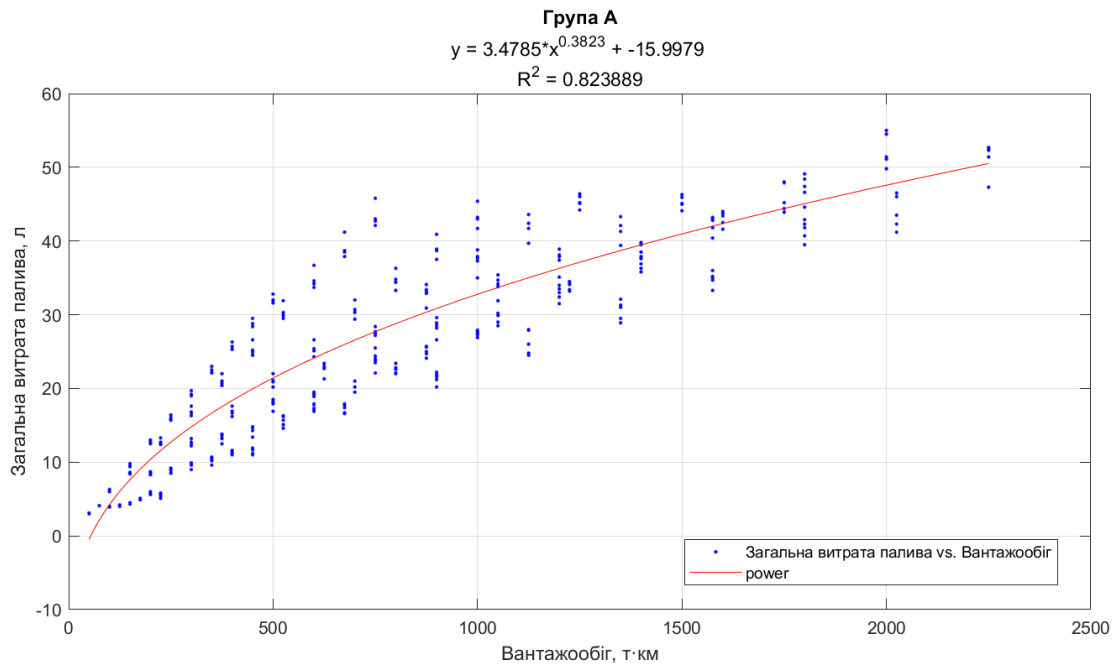


Рисунок 4.10 – Залежність загальних витрат палива транспортними засобами групи А від вантажообігу під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Дослідження зв'язку собівартості 1 км виконаного замовлення від питомих витрат палива транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора у розрізі груп показало лінійну або експоненціальну залежність. Висока кореляційна залежність відображає сильний вплив питомих витрат палива на собівартість 1 км виконаного замовлення, що підтверджує важливість їх оптимізації для економічно вигідної діяльності автотранспортного підприємства.

Таблиця 4.7 – Математичні залежності собівартості 1 км виконаного замовлення від питомих витрат палива транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора у розрізі груп

Назва групи	Вид залежності	Коефіцієнт детермінації	Коефіцієнт кореляції	Середньо-квадратична помилка
А	Лінійна $f(x) = 0.5503x - 0.0149$	0.9997	0.9998	0.06548
Б	Степенева $f(x) = 0.5561x^{0.9971}$	0.9996	0.9998	0.07369
В	Лінійна $f(x) = 0.5505x - 0.0377$	0.9998	0.9999	0.07143
Г	Лінійна $f(x) = 0.5506x - 0.0340$	0.9994	0.9997	0.07223
Д	Степенева $f(x) = 0.5467x^{1.0015}$	0.9996	0.9998	0.07109

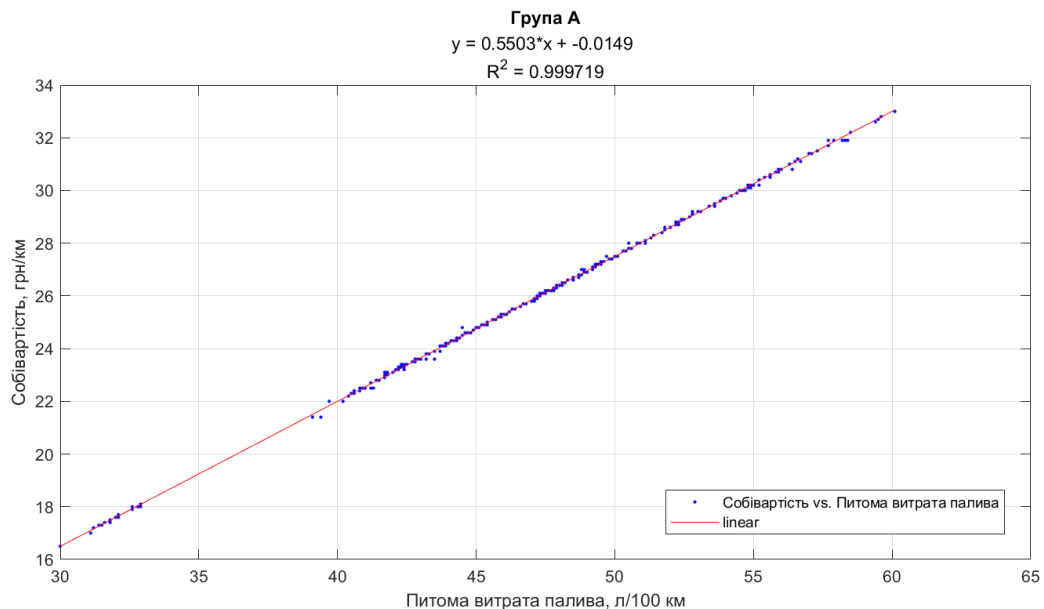


Рисунок 4.11 – Залежність собівартості 1 км виконаного замовлення від питомих витрат палива транспортними засобами групи А під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

На наступному етапі дослідження було проведено двофакторний аналіз для виявлення залежності собівартості 1 км виконаного замовлення транспортними засобами від обсягу вантажу та відстані замовлення під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора у розрізі груп. Виявлення залежностей проведено з використанням додатку Curve Fitting Toolbox до пакету MATLAB [148]. Внаслідок проведеного моделювання обчислено параметри апроксимуючих функцій (табл. 4.8) та побудовано їх поверхні (рис. 4.12 та рис. Ж.21-Ж.25 у додатку Ж). Оскільки коефіцієнт множинної кореляції для усіх наведених функцій перевищує 0.8, то можна стверджувати про наявний тісний зв'язок між собівартістю 1 км виконаного замовлення транспортними засобами, обсягом вантажу та відстанню замовлення під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора у розрізі груп.

Таблиця 4.8 – Математичні залежності собівартості 1 км виконаного замовлення від обсягу вантажу та відстані замовлення транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора у розрізі груп

Назва групи	Вид залежності	Коефіцієнт детермінації	Коефіцієнт множинної кореляції	Середньо-квадратична помилка
1	2	3	4	5
А	Множинна поліноміальна регресія $f(x,y) = -18.73 + 13.8 \cdot x - 0.268 \cdot y - 1.708 \cdot x^2 + 0.06441 \cdot x \cdot y + 0.002492 \cdot y^2 + 0.08946 \cdot x^3 - 0.003204 \cdot x^2 \cdot y - 0.0004513 \cdot x \cdot y^2 - 9.05e-06 \cdot y^3 - 0.00162 \cdot x^4 + 4.504e-05 \cdot x^3 \cdot y + 9.239e-06 \cdot x^2 \cdot y^2 + 1.287e-06 \cdot x \cdot y^3$	0.9359	0.9685	0.9875
Б	Множинна нелінійна регресія $f(x,y) = 10.4 + 3.982\sqrt{x} - 0.3191\sqrt{y}$	0.7101	0.8436	2.112

Продовження таблиці 4.8

1	2	3	4	5
В	Множинна локально зважена регресія $f(x,y) =$ обчислена за p , де x нормалізовано за середнім значенням 13,75 і стандартним значенням 5,764, а y нормалізовано за середнім значенням 55 і стандартним значенням 28,9	0.7295	0.8720	2.614
Г	Множинна локально зважена регресія $f(x,y) =$ обчислена за p , де x нормалізовано за середнім значенням 13,75 і стандартним значенням 5,764, а y нормалізовано за середнім значенням 55 і стандартним значенням 28,9	0.8194	0.9165	1.291
Д	Множинна поліноміальна регресія $f(x,y) = 55.06 - 16.83 \cdot x + 0.718 \cdot y + 3.263 \cdot x^2 - 0.2095 \cdot x \cdot y - 0.01003 \cdot y^2 - 0.296 \cdot x^3 + 0.02293 \cdot x^2 \cdot y + 0.001651 \cdot x \cdot y^2 + 5.65e-05 \cdot y^3 + 0.01252 \cdot x^4 - 0.0009852 \cdot x^3 \cdot y - 9.822e-05 \cdot x^2 \cdot y^2 - 7.368e-06 \cdot x \cdot y^3 - 0.0001968 \cdot x^5 + 1.444e-05 \cdot x^4 \cdot y + 1.684e-06 \cdot x^3 \cdot y^2 + 2.645e-07 \cdot x^2 \cdot y^3$	0.6272	0.8085	2.316

$$\begin{aligned}
S_{км} = & -18.73 + 13.8 \cdot Q_i - 0.268 \cdot L_i - 1.708 \cdot Q_i^2 + \\
& + 0.06441 \cdot Q_i \cdot L_i + 0.002492 \cdot L_i^2 + 0.08946 \cdot Q_i^3 - \\
& - 0.003204 \cdot Q_i^2 \cdot L_i - 0.0004513 \cdot Q_i \cdot L_i^2 - 0.00000905 \cdot L_i^3 - \\
& - 0.00162 \cdot Q_i^4 + 0.00004504 \cdot Q_i^3 \cdot L_i + \\
& + 0.000009239 \cdot Q_i^2 \cdot L_i^2 + 0.000001287 \cdot Q_i \cdot L_i^3
\end{aligned} \quad (4.20)$$

За допомогою апроксимуючої функції 4.20 встановлено закономірність змінювання собівартості 1 км виконаного замовлення від обсягу вантажу та відстані транспортування для транспортних засобів групи А (рис. 4.12).

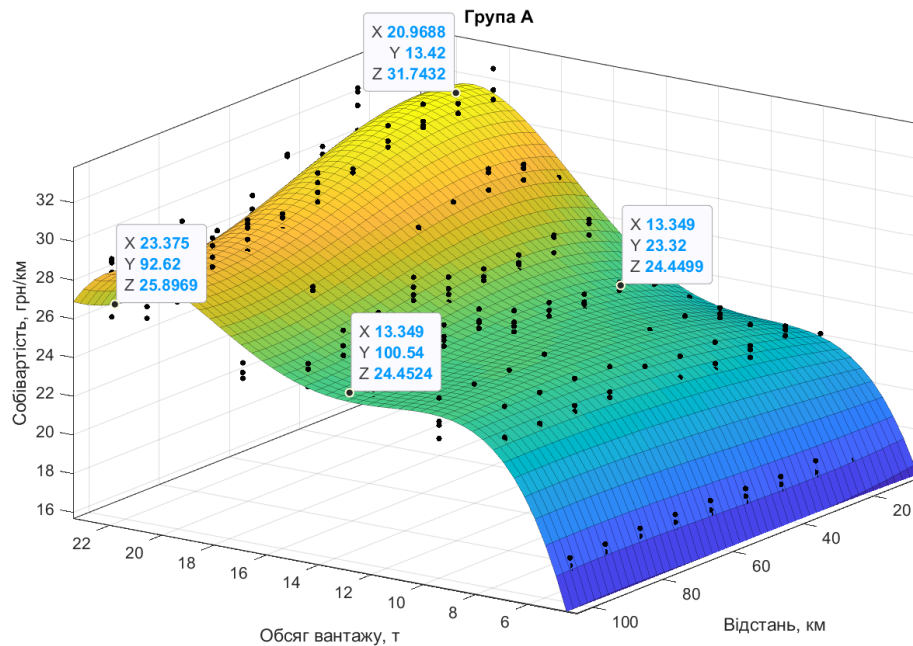


Рисунок 4.12 – Графік поверхні моделі $S_{км} = f(Q_i, L_i)$, розрахованої за моделлю множинної поліноміальної регресії для транспортних засобів групи А

Аналіз встановлених закономірностей показав наступне:

- 1) собівартість 1 км виконаного замовлення у більшій мірі залежить від обсягу замовлення, ніж від відстані транспортування для усіх груп транспортних засобів;
- 2) при максимально завантажених транспортних засобах найбільш оптимальні для більшості груп відносно далекі відстані замовлення (група А – 70-90 км, групи Б та Г – понад 80 км, група Д – 80-90 км), винятком є група В – 40-80 км, а також замовлення дальністю до 40 км для групи Д;
- 3) економічно не вигідними для підприємства є виконання замовлень максимально завантаженими автомобілями груп Б, В, Д та відстанню до 20 км; максимально завантаженими автомобілями групи Д та відстанню 40-70 км; виконання замовлень групою А при завантаженні 18 т на відстані до 20 км, а також замовлень обсягом 12 т групою В на відстань 20-70 км;
- 4) середні витрати 1 км виконаного замовлення виникають та практично не змінюються із зростанням показників у співвідношенні «обсяг замовлення – відстань» при транспортуванні вантажів обсягом 12 – 16 т для

групи А, 11–15 т для групи Б, 13–18 т для групи Г. При цьому середні витрати спостерігаємо для замовлень обсягом 15-17 т та відстанню до 30 км і понад 90 км для транспортних засобів групи Д, а також обсягом 16-20 т і відстанню 50-70 км для групи В.

На підставі отриманих результатів було виявлено, залежності, які свідчать про те, що під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора конкретною групою транспортних засобів існують такі співвідношення обсягу вантажу та відстані транспортування за яких буде досягнута оптимальна собівартість виконання 1 км замовлення.

4.4 Економічний ефект від впровадження моделі вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Розроблений у дисертаційному дослідженні метод та комп'ютерна модель вибору раціональних транспортних засобів для доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора дає змогу розподілити доступні транспортні засоби підприємства таким чином, щоб мінімізувати витрати на транспортування. Моделювання транспортного процесу даним методом дозволяє не лише зменшити витрати палива при виконанні замовлення, а й скоротити витрати робочого часу на розподіл транспортних засобів між замовленнями.

Вибір транспортних засобів для виконання замовлення ТОВ «Волинь-Зерно-Продукт» здійснюється шляхом розподілу доступних транспортних засобів за списком. При цьому на підприємстві відсутні принципи підбору транспортного засобу до замовлення.

Таким чином пропонується порівняти традиційний (існуючий на підприємстві) метод вибору транспортних засобів для виконання замовлень із

доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора та раціональний (розроблений у цьому дослідженні).

З метою визначення економічного ефекту від використання запропонованого методу та доцільності його впровадження порівняння за кожним із цих методів було проведено порівняння витрат підприємства у найбільш піковий двотижневий період виконання замовлень (рис. 4.13) із доставки зернових культур від сільського господарства до елеватора.

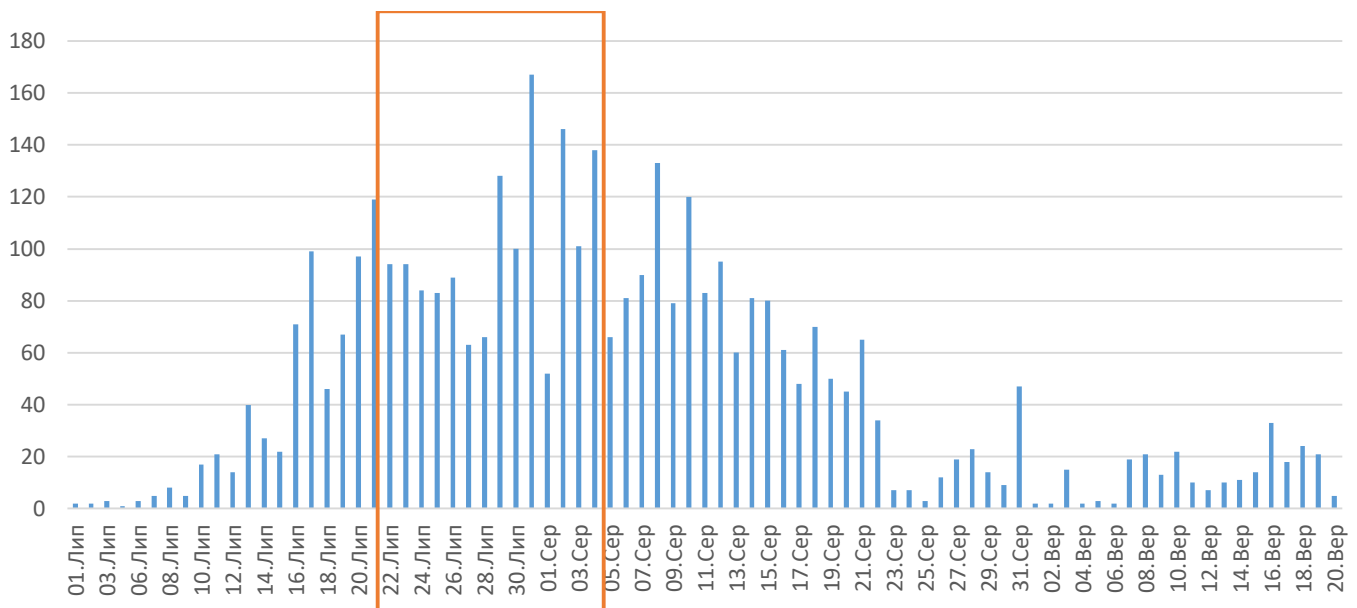


Рисунок 4.13 – Гістограма кількості виконаних замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Економічний ефект від удосконалення організації транспортного процесу доставки зернових культур на етапі транспортування «сільське господарство – елеватор» включає дві наступні складові:

- ефект від економії палива E_{en} через вибір найбільш раціонального транспортного засобу для виконання i -замовлення;
- ефект від скорочення тривалості виконання управлінського процесу щодо вибору транспортного засобу E_{yn} для виконання замовлення.

$$E = E_{en} + E_{yn}, \quad (4.21)$$

Для визначення обсягу економії витрат на паливо від застосування методу вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур розраховано різницю між фактичними витратами та можливими витратами.

Ефект від економії палива визначено за наступною формулою:

$$E_{en} = B_m^n - B_p^n \quad (4.22)$$

де B_m^n , B_p^n – відповідно витрати на паливо при традиційному виборі (існуючому на підприємстві) та раціональному виборі за методом, запропонованим у цьому дослідженні, грн.

Розрахунок відповідних витрат коштів на паливо здійснюється за формулами:

$$B_m^n = C_n \cdot \sum_{i=1}^n g_{i m}; B_{p\epsilon}^n = C_n \cdot \sum_{i=1}^n g_{i p}; \quad (4.23)$$

де C_n – вартість однієї тони пального, грн;

$g_{i m}$, $g_{i p}$ – відповідно загальна витрата палива транспортним засобом для виконання i – замовлення при традиційному та раціональному виборі.

Економію коштів від скорочення тривалості виконання управлінського процесу вибору транспортних засобів із застосуванням традиційного та раціонального методів визначаємо за формулою:

$$E_{yn} = B_m - B_p \quad (4.25)$$

Розрахунок відповідних витрат коштів здійснено за формулами:

$$B_m = C_p \cdot T_m; B_p = C_p \cdot T_p; \quad (4.26)$$

де C_p – вартість однієї години роботи управлінського персоналу, грн/год;

T_m, T_p – відповідно тривалість вибору транспортного засобу для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора традиційним та раціональним методами, год.

Тривалості T_m та T_p розраховуємо за формулами:

$$T_m = N \cdot t_m; T_p = N \cdot t_p; \quad (4.25)$$

де N – кількість поселень адміністративної області, од;

t_m, t_p ; – відповідно тривалість вибору транспортного засобу для виконання одного замовлення із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора традиційним та раціональним методами, год.

Загальна кількість замовлень у найбільш піковий двотижневий період виконання перевезень становить 1406 замовлень. В цей час підприємством було задіяно 69 транспортних засобів 12 марок (табл. 4.9). У процесі моделювання вибору раціональних транспортних засобів було використано аналогічні автомобілі у такій самій кількості. При цьому витрати палива транспортними засобами для виконання цих замовлень становили 54591,32 л, в той час як, прогнозовані витрати палива за методом вибору раціональних транспортних засобів – 52450,4 л. Зниження витрат палива свідчить про більш ефективний вибір транспортних засобів запропонованим методом, у порівнянні з існуючим на підприємстві.

Таблиця 4.9 – Дані про задіяні марки та моделі транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора за період 22.07.22 – 04.08.22.

Марка та модель транспортного засобу	Кількість задіяних транспортних засобів
DAF FT XF 105	28
DAF FT CF 85.410	14
DAF FT XF 105.460	14
DAF XF 105.460	5
КАМАЗ 45143-012-15	1
DAF XF95.480	1
DAF FT95.430	1
DAF CF85.410	1
DAF CF85.430	1
МАЗ 543205-020	1
DAF CF85	1
DAF FTXF 105.410	1

На основі даних про існуючі замовлення ТОВ «Волинь-Зерно-Продукт» за період з 22.07 по 04.08 2022 року було виконано відповідні розрахунки, якими визначено ефект від економії палива. Вартість дизпалива прийнято на рівні 55 грн/л.

$$E_{\text{ен}} = 55 \cdot 54591,32 - 55 \cdot 52450,40 = 117\,750,60 \text{ грн}$$

Варто зауважити, що разом із економією витрат палива внаслідок застосування методу вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора знизився середній вантажообіг в розрахунку на 1 транспортний засіб серед представлених марок із 66 277,53 ткм до 52 065,45 ткм у досліджуваному періоді, що свідчить про більшу рівномірність розподілу замовлень між марками автомобілів (рис. 4.14).

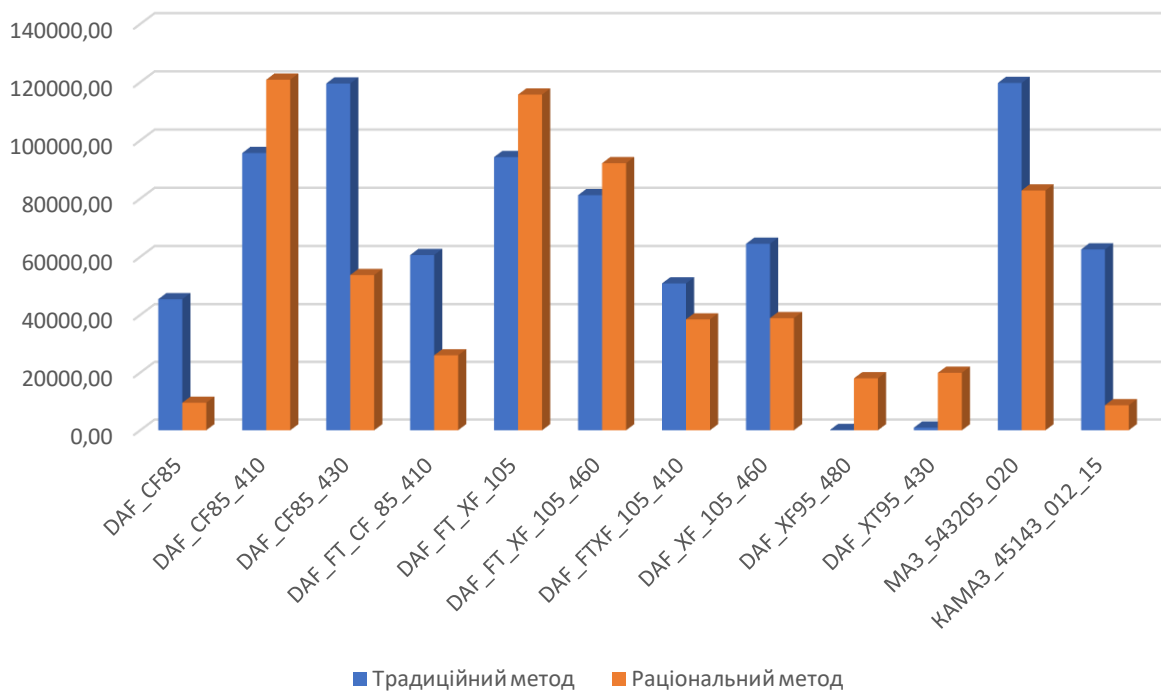


Рисунок 4.14 – Вантажообіг 1 транспортного засобу при виконанні замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора за традиційним та раціональним методами

Дослідження відстаней виконаних замовлень (рис. 4.15) 1 транспортним засобом серед представлених марок показало, що діапазон зміни даного показника становив 2,0...98,1 км із середнім значенням 70,7 км до застосування раціонального методу та 28,8...107,0 км із середнім значенням 70,3 км після. Скорочення цього діапазону також свідчить про більш рівномірний розподіл замовлень між марками автомобілів комп'ютерною моделлю, у порівнянні з існуючим підходом на підприємстві.

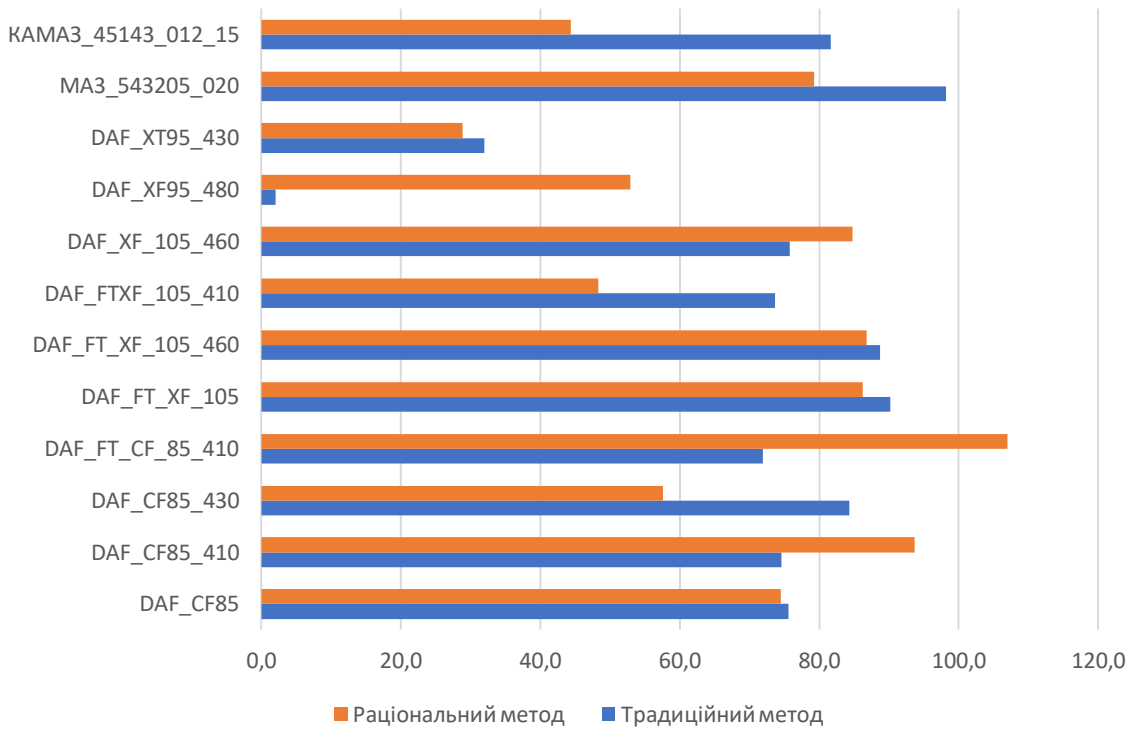


Рисунок 4.15 – Відстань виконаних замовлень транспортними засобами із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора за традиційним та раціональним методами

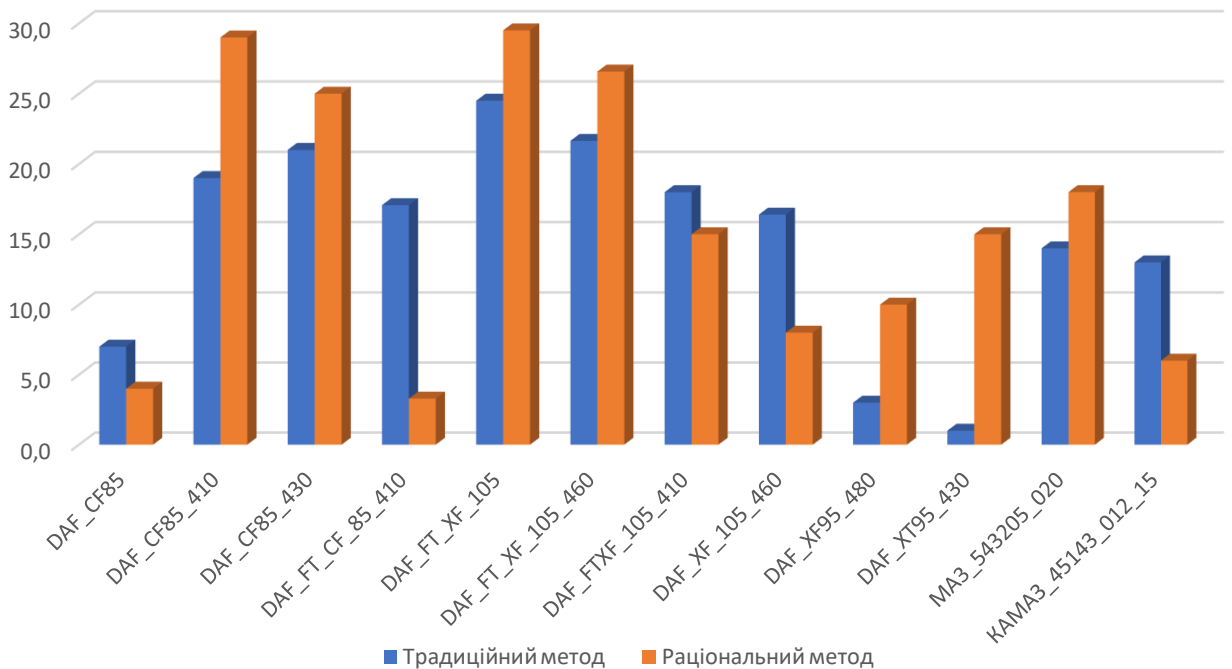


Рисунок 4.16 – Кількість виконаних замовлень 1 транспортним засобом із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора за традиційним та раціональним методами

Порівняльний аналіз кількості виконаних замовлень 1 транспортним засобом із представлених марок до та після впровадження раціонального методу (рис. 4.16) дозволив виявити найбільш економічно вигідні марки автомобілів (DAF CF85.410, DAF CF85.430, DAF FT XF 105, DAF FT XF 105.460, MAZ 543205-020) для виконання замовлень, на які підприємству рекомендовано звернути увагу при подальшому оновленні парку рухомого складу.

У результаті хронометражу операцій було встановлено, що підбір транспортного засобу для виконання замовлення на підприємстві за традиційним методом з кількістю замовлень на день понад 20 у середньому становить 1,5 хв, в той час як вибір раціонального транспортного засобу із застосуванням комп'ютерної моделі займає близько 6 с для одного замовлення. На основі проведеного дослідження встановлено відповідні початкові дані, необхідні для розрахунку ефекту від скорочення тривалості виконання управлінського процесу (табл. 4.10).

Таблиця 4.10 – Початкові дані для розрахунку ефекту від скорочення тривалості виконання управлінського процесу вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

№ п/п	Назва показника	Числове значення
1	2	3
1	Загальна кількість виконаних замовлень за період 22.07-04.08, од	1406
3	Тривалість вибору транспортного засобу традиційним методом для виконання замовлень, год/од	0,0250

Продовження таблиці 4.10

1	2	3
4	Тривалість вибору раціонального транспортного засобу для виконання замовлень із застосування комп'ютерної моделі, год/од	0,0011

На основі початкових даних виконано відповідні розрахунки, якими визначено:

- тривалість вибору транспортного засобу для виконання замовлень традиційним методом:

$$T_T = 1406 \cdot 0,025 = 35,15 \text{ год};$$

- тривалість вибору транспортного засобу для виконання замовлень раціональним методом:

$$T_P = 1406 \cdot 0,0011 = 1,55 \text{ год};$$

Оплата праці управлінського персоналу на підприємстві складає 112,5 грн/год.

Підставивши відповідні значення у формулу (4.25), отримано ефект від скорочення тривалості виконання управлінського процесу щодо вибору транспортних засобів у піковий період:

$$E_{уп} = 112,5 \cdot 35,15 - 112,5 \cdot 1,55 = 3780,00 \text{ грн}$$

Сумарний економічний ефект від впровадження моделі вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень дорівнюватиме:

$$E = 117\,750,60 + 3780,00 = 121\,530,60 \text{ грн}$$

Таким чином, економічний ефект від впровадження моделі вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора на прикладі ТОВ «Волинь-Зерно-Продукт» у двотижневий піковий період 2022 року становить 121,53 тис. грн, що підтверджує економічну ефективність даного методу.

4.5 Висновки до четвертого розділу

1. Розроблено метод вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, що передбачає виконання трьох етапів із використанням машинного навчання, зокрема обґрунтованої моделі RF випадкового лісу для прогнозування витрат палива транспортними засобами, а також забезпечує врахування множини чинників заданих умов. Метод дозволяє отримати точні результати вибору раціональних транспортних засобів на підставі формування можливих сценаріїв транспортного обслуговування, визначення та порівняння функціональних та вартісних показників використання транспортних засобів у конкретних умовах.

2. На підставі розроблених методу та алгоритму реалізовано комп'ютерну модель, що виконує вибір раціональних транспортних засобів для наявних замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора за критерієм мінімальної собівартості.

3. Адекватність запропонованої комп'ютерної моделі вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора перевірено із використанням парного t -критерію. Також встановлено, що реальні дані собівартості виконання замовлень із доставки зернових культур та дані отримані у результаті проведення комп'ютерних експериментів відхиляються у допустимих межах, а саме: 0,3...1,0 грн/км, або 1,1...4,7 %.

4. Для дослідження закономірностей та виявлення спільних ознак щодо використання транспортних засобів проведено моделювання транспортного процесу, яке дало змогу здійснити групування транспортних засобів методом ієрархічного кластерного аналізу. Для утворених 5 груп транспортних засобів проведено кореляційно-регресійний аналіз, що дозволив встановити тісноту зв'язку та сформувані апроксимуючі функції для

залежностей між питомими витратами палива транспортними засобами та обсягом вантажу; собівартістю 1 км виконаного замовлення транспортними засобами та обсягом вантажу; загальними витратами палива транспортними засобами та вантажообігом; собівартістю 1 км виконаного замовлення та питомими витратами палива транспортними засобами.

5. За результатами моделювання використання транспортних засобів виявлено співвідношення обсягу вантажу та відстані транспортування, за яких досягається оптимальна собівартість виконання 1 км замовлення під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора конкретною групою транспортних засобів.

6. Економічний ефект від впровадження комп'ютерної моделі вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора розраховано за двома складовими: ефекту від економії палива через вибір найбільш раціонального транспортного засобу для виконання замовлення та ефекту від скорочення тривалості виконання управлінського процесу щодо вибору транспортного засобу. З'ясовано, що можливий економічний ефект для ТОВ «Волинь-Зерно-Продукт» у двотижневий піковий період виконання замовлень становить 121,53 тис. грн.

Текст четвертого розділу дисертації складено з використанням авторської наукової публікації [149].

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної задачі, що полягає у підвищенні ефективності транспортного процесу доставки зернових культур завдяки розробленій моделі та удосконаленому методу, що базуються на використанні методів машинного навчання.

Основні наукові та практичні результати полягають в наступному:

1. На основі проведеного аналізу стану теорії та практики організації транспортного процесу під час доставки сільськогосподарської продукції виявлено основні тенденції та сформовано напрями підвищення ефективності транспортного процесу доставки зернових культур. Під час дослідження особливостей процесу доставки зернових культур до елеватора було встановлено, що на транспортний процес впливає множина чинників, серед яких вагомими є: техніко-експлуатаційні, дорожні, погодні та людські. Встановлено, що основним напрямом удосконалення транспортного процесу доставки зернових культур є зниження витрат пального транспортними засобами.

2. Проведений аналіз застосування методів машинного навчання під час планування транспортних процесів доставки вантажів та існуючих підходів щодо вибору раціональних транспортних засобів дозволив згрупувати існуючі моделі, виявити їх переваги та недоліки. Встановлено, що під час планування транспортних процесів доставки вантажів найбільш поширеними та достатньо точними є методи машинного навчання, які реалізуються у моделях: GLM узагальненої лінійної регресії, DL глибинного навчання, DT дерева рішень та RF випадкового лісу.

3. Запропонований підхід до застосування методів машинного навчання для прогнозування витрат пального транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до

елеватора передбачає виконання 6 етапів та забезпечує обґрунтування чотирьох алгоритмічних моделей машинного навчання, з-поміж яких обирається найточніша. Базовим етапом запропонованого підходу є база даних для прогнозування витрат палива транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, яка формується за результатами попередньо виконаних транспортних процесів із врахуванням виробничих умов.

4. Обґрунтування раціональної моделі прогнозування витрат пального транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора виконано на підставі запропонованого підходу та виконання машинного навчання. Це дало можливість створити 4 моделі машинного навчання, а саме: модель GLM узагальненої лінійної регресії, модель DL глибинного навчання, модель DT дерева рішень, модель RF випадкового лісу. На підставі порівняння результатів моделювання із використанням запропонованих моделей встановлено, що найбільш точні результати прогнозування витрат пального транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора одержано під час використання моделі RF випадкового лісу на основі агрегації ансамблю з 5 дерев рішень. При цьому абсолютна помилка моделі становить 2,25 л/100км із стандартними відхиленнями $\pm 0,041$, відносною помилкою – 4,6% та загальним часом машинного навчання – 4,8с.

5. Удосконалений метод вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора передбачає виконання трьох етапів із використанням моделі RF випадкового лісу для прогнозування витрат палива транспортними засобами. Цей метод дозволяє отримати точні результати вибору раціональних транспортних засобів на підставі формування можливих сценаріїв транспортного обслуговування, визначення та порівняння

функціональних та вартісних показників використання транспортних засобів у заданих виробничих умовах.

6. На підставі розроблених методу та алгоритму реалізовано комп'ютерну модель, що виконує вибір раціональних транспортних засобів для наявних замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора за критерієм мінімальної собівартості. Встановлено, що запропонована модель є адекватною та відповідає реальним транспортним процесам доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора. На відміну від існуючих дозволяє спрогнозувати собівартість транспортування зернових культур та максимально швидко здійснити підбір транспортного засобу для виконання замовлень.

7. На підставі виконаного моделювання процесу доставки зернових культур транспортними засобами встановлено закономірності зміни питомих витрат палива транспортними засобами від обсягу вантажу під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора та виявлено спільні ознаки щодо використання транспортних засобів. Отримані результати дали можливість виконати групування транспортних засобів та встановити, що для кожної групи транспортних засобів існують свої співвідношення обсягу вантажу та відстані транспортування, за яких досягається оптимальна собівартість виконання транспортних робіт.

8. На підставі моделювання транспортного процесу визначено економічний ефект від впровадження запропонованої комп'ютерної моделі вибору раціональних транспортних засобів на прикладі ТОВ «Волинь-Зерно-Продукт» у двотижневий піковий період виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора. Встановлено, що економічний ефект за цей період становить 121,53 тис. грн, який досягається за рахунок як пришвидшення розподілу, так і підбору раціональних транспортних засобів для наявних замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора.

Отримані результати досліджень призначені для використання менеджерами транспортних підприємств, які організовують доставку зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора. Використання розробленої моделі, удосконаленого методу та запропонованої комп'ютерної моделі забезпечує пришвидшення прийняття рішень та підвищує ефективність виконання відповідних транспортних процесів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Державна служба статистики України. Статистична інформація. Транспорт [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/tr.htm
- [2] Програма розвитку фермерства України: дотації, програма підтримки молодого фермера, закон про локальне виробництво [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://agropolit.com/spetsproekty/897-programa-rozvitku-fermerstva-ukrayini-dotatsiyi-programa-pidtrimki-molodogo-fermera-zakon-pro-lokalne-virobnitstvo>.
- [3] Названо ТОП-10 агрохолдингів України за розміром земельного банку [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <http://agroconf.org/content/nazvano-top-10-agroholdingiv-ukrayini-za-rozmirom-zemelno-go-banku>.
- [4] Обсяг виробництва, урожайність та зібрана площа сільськогосподарських культур за їх видами (2010-2020) / Державна служба статистики [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
- [5] Аналіз ринку елеваторів в Україні [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/analiz-rynka-elevatorov-v-ukraine-v-2016-5-mes-2019-gg>.
- [6] "Золоте" зерноперевезення / Економічна правда [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://www.epravda.com.ua/rus/columns/2021/02/1/670545/>.
- [7] В. С. Лукинський, та Н. Г. Плетнёва, *Проблеми формування прикладної теорії логістики і управління цепями поставок*, СПбГІЕУ, 2011.
- [8] В. В. Аулін, Д. В. Голуб, В. В. Біліченко, А. С. Замуренко, «Формування показників оцінки ефективності транспортного процесу

перевезень», *Вісник машинобудування та транспорту*, Вінниця, ВНТУ, № 1(11), С. 4-10, 2020.

[9] Н. Шраменко, та В. Шраменко, «Аналіз процесу організації руху вантажопотоків в ланцюгах постачання», *Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв'язання: тези доповідей IV Всеукраїнської науково-теоретичної конференції*, Львів : НУ «ЛП», С.57-58, 2021

[10] Д. О. Музильов, та Н. Ю. Шраменко, «Надійність функціонування ланцюга постачань за доставки вантажів сільськогосподарського призначення», *Збірник тез доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 113-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, члена-кореспондента ВАСГНІЛ, віце-президента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 20-21 лют. 2020 р.*, Київ, С. 260-261, 2020.

[11] Д. О. Музильов, та О. Є. Стебаков, *Щодо питання побудови раціональної технології при перевезенні зернових культур*, ВНТУ, 2014. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/12360/33> - Музильов Д.О. Стебаков О.Є..pdf

[12] Z. Zhai, J.F. Martínez, V. Beltran, & N.L. Martínez, «Decision Support Systems for Agriculture 4.0: Survey and Challenges», *Comput. Electron. Agric.*, 170, 105256, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105256>.

[13] В. М'ялковська, «Аналіз критеріїв ефективності вантажовласників при плануванні діяльності», *Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (2019)*, Вінниця, 2019. - Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2019/paper/view/7756> .

[14] K. Lamsal, P. Jones, & T., Barrett, *Harvest Logistics in Agricultural Systems with Multiple, Independent Producers and No On-Farm Storage*, 2015. DOI: 10.13140/RG.2.1.5061.3606

[15] N. Shramenko, D. Myzylyov, & A. Manukian, «Analysis of the grain market in Ukraine and directions for the development of logistics for the transportation of grain cargo», *Technical Service of Agriculture Forestry and Transport*, vol. 18, pp. 70-79, 2020.

[16] M. Soysal, J.M. Bloemhof-Ruwaard, & J.G.A.J. van der Vorst, «Modelling food logistics networks with emission considerations: The case of an international beef supply chain», *International Journal of Production Economics*, Volume 152, Pages 57-70, 2014, DOI: 10.1016/j.ijpe.2013.12.012.

[17] Є. П. Медведєв, «Сучасний стан та перспективи розвитку транспортного забезпечення при збиранні врожаю пшениці», *Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології»*, Вип.31, 2018.

[18] Н. Шраменко, та В. Шраменко, «Напрямки ефективної організації постачання сільськогосподарських вантажів», *Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання : тези доповідей IV Всеукраїнської науково-теоретичної конференції, 25–26 березня 2021 року*, Львів, С. 64–65, 2021.

[19] Tom M. Mitchell, *Machine Learning*, New York: McGraw-Hill, 1997.

[20] W. Abdelwahab, & T. Sayed, «Freight mode choice models using artificial neural networks», *Civil Engineering and Environmental Systems*, 16(4), 267-286, 2007, DOI:10.1080/02630259908970267.

[21] V.A. Profillidis, & G.N. Botzoris, «Artificial Intelligence—Neural Network Methods», *Modeling of Transport Demand*, 2019, DOI: 10.1016/B978-0-12-811513-8.00008-X .

[22] О. В. Григоров, Г. О. Аніщенко, В. В. Стрижак, Н.О. Петренко, О. В. Турчин, А.О. Окунь, та О.Е. Пономарьов, «Штучний інтелект. Машинне навчання», *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології = Vehicle and Electronics. Innovative Technologies*, № 15, С. 17-27, 2019.

[23] K. Tsolaki, T. Vafeiadis, A. Nizamis, D. Ioannidis, D. Tzovaras, «Utilizing machine learning on freight transportation and logistics applications: A review», *ICT Express*, 2022, DOI: 10.1016/j.icte.2022.02.001.

[24] А. Н. Горяинов, «Машинное обучение в логистических и транспортных системах», *Україна – ЄС: проблеми наукової та галузевої інтеграції : Матер V Всеукр. заоч. наук.-пр. конф.*, Харків: НІП «ЦНТ», С. 34-42, 2020.

[25] A. Tortum, & N. Yayla, & M. Gökdag, «The modeling of mode choices of intercity freight transportation with the artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy inference system», *Expert Systems with Applications*, 36, 6199-6217, 2009, DOI: 10.1016/j.eswa.2008.07.032.

[26] S. Bakhtyar, & L. Henesey, «Freight transport prediction using electronic waybills and machine learning», *Proceedings 2014 International Conference on Informative And Cybernetics For Computational Social Systems, ICCSS*, pp. 128–133, 2014, DOI: 10.1109/ICCSS.2014.6961829.

[27] C. Liu et al., «An improved grey neural network model for predicting transportation disruptions», *Expert Systems With Applications*, 2015, DOI: 10.1016/j.eswa.2015.09.052.

[28] Sjoerd van der Spoel, Chintan Amrit & Jos van Hillegersberg, «Predictive analytics for truck arrival time estimation: a field study at a European distribution center», *International Journal of Production Research*, 2015, DOI: 10.1080/00207543.2015.1064183.

[29] AdaBoost Algorithm [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/09/adaboost-algorithm-a-complete-guide-for-beginners/>

[30] T. Becker, C. Illigen, B. McKelvey, M. Hülsmann, & K. Windt, «Using an agent-based neural-network computational model to improve product routing in a logistics facility», *International Journal of Production Economics*, Elsevier, vol. 174(C), pages 156-167, 2016.

[31] Amir Samimi et al., «A Comparison between Different Data Mining Algorithms in Freight Mode Choice», *American Journal of Applied Sciences*, 14 (2), 204-216, 2017, DOI: 10.3844/ajassp.2017.204.216

- [32] F. Perrotta, T. Parry, & L. C. Neves, «Application of machine learning for fuel consumption modelling of trucks», *2017 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, pp. 3810-3815, 2017, DOI: 10.1109/BigData.2017.8258382.
- [33] A. Świdorski, A. Jóźwiak, & R. Jachimowski, «Operational quality measures of vehicles applied for the transport services evaluation using artificial neural networks», *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, 20(2): 292–299, 2018, DOI: 10.17531/ein.2018.2.16.
- [34] A. Schoen, A. Byerly, B. Hendrix, R. M. Bagwe, E. C. d. Santos, & Z. B. Miled, «A Machine Learning Model for Average Fuel Consumption in Heavy Vehicles», *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 68, no. 7, pp. 6343-6351, July 2019, DOI: 10.1109/TVT.2019.2916299.
- [35] N. Servos, X. Liu, M. Teucke, M. Freitag, «Travel Time Prediction in a Multimodal Freight Transport Relation Using Machine Learning Algorithms», *Logistics*, 4, 1, 2020, DOI: 10.3390/logistics4010001
- [36] T. Bousonville, D. C. Kamga, T. Krüger, & M. Dirichs, «Data driven analysis and forecasting of medium and heavy truck fuel consumption», *Enterprise Information Systems*, 2020, DOI: 10.1080/17517575.2020.1856417
- [37] M. Rykała, & Ł. Rykała, «Economic Analysis of a Transport Company in the Aspect of Car Vehicle Operation», *Sustainability*, 13, 427, 2021, DOI: 10.3390/su13010427
- [38] A. Singh, A. Das, U. K. Bera, & G. M. Lee, «Prediction of Transportation Costs Using Trapezoidal Neutrosophic Fuzzy Analytic Hierarchy Process and Artificial Neural Networks», *IEEE Access*, vol. 9, pp. 103497-103512, 2021, DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3098657.
- [39] О. С. Якушенко, Д. О. Шевчук, Д. В. Мединський, «Нейромережева модель для прогнозування часу на виконання транспортної задачі», *Science-Based Technologies*, 49(1), 33-38, 2021, DOI: 10.18372/2310-5461.49.15289
- [40] M. A. Hamed, M. H. Khafagy, & R. M. Badry, «Fuel Consumption Prediction Model using Machine Learning», *International Journal of Advanced*

Computer Science and Applications(IJACSA), 12(11), 2021, DOI: 10.14569/IJACSA.2021.0121146

[41] J. Gong, J. Shang, L. Li, C. Zhang, J. He, & J. Ma, «A Comparative Study on Fuel Consumption Prediction Methods of Heavy-Duty Diesel Trucks Considering 21 Influencing Factors», *Energies*, 14, 8106, 2021, DOI: 10.3390/en14238106

[42] A. Budzyński, & A. Śładkowski, «The Use of Machine Learning to Predict Diesel Fuel Consumption in Road Vehicles», *Letnik, T. (ed.) 19th European Transport Congress: European Green Deal Challenges and Solutions for Mobility and Logistics in Cities*. P. 207-222, 2021.

[43] U. Ahmed, & M.J. Roorda, «Modeling Freight Vehicle Type Choice using Machine Learning and Discrete Choice Methods», *Transportation Research Record*, 2676(2), 541-552, 2022, DOI: 10.1177/03611981211044462

[44] J. Topić, B. Škugor, J. Deur, «Neural Network-Based Prediction of Vehicle Fuel Consumption Based on Driving Cycle Data», *Sustainability*, 14, 744, 2022, DOI: 10.3390/su14020744

[45] I. H. Witten, E. Frank, & M. A Hall, *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*, Amsterdam: Morgan Kaufmann, 2011.

[46] S.J. Russel, & P. Norvig, *Artificial Intelligence - A Modern Approach*, Prentice Hall Inc., New Jersey, 2003.

[47] I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville, *Deep Learning. Adaptive Computation and Machine Learning series*, MIT Press, P.800, 2016.

[48] R. Salakhutdinov, «Learning Deep Generative Models», *Annual Review of Statistics and Its Application*, Vol. 2, Issue 1, pp. 361-385, 2015, DOI: 10.1146/annurev-statistics-010814-020120

[49] В.І. Котенко, «Обґрунтування доцільності застосування штучних нейронних мереж для моделювання транспортного процесу постачання сільськогосподарської продукції», *Матеріали X-ої міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку*

автомобільного транспорту», 14-15 квітня 2022 року: збірник наукових праць, Вінниця: ВНТУ, С.172-174, 2022.

[50] О. М. Кислова, та К. Б. Бондаренко, «Можливості застосування штучних нейронних мереж в аналізі соціологічної інформації», *Вісник Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна. Соціологічні дослідження сучасного суспільства: методологія, теорія, методи*, Вип. 26, №891, С. 78-82, 2010.

[51] M. I. Jordan, & T. M. Mitchell, «Machine learning: Trends, perspectives, and prospects», *Science*, 349(6245), 255–260, 2015, DOI: 10.1126/science.aaa8415

[52] L. Rokach, & D. Maimon, «Data mining with decision trees. Theory and applications (2nd ed)», *World Scientific Publishing Company*, P. 305, 2015.

[53] L. Breiman, *Random Forests. Mach. Learn.*, 45, 5–32, 2001.

[54] B. Mahesh, «Machine Learning Algorithms - A Review», vol. 9, 1 ed: *International Journal of Science and Research (IJSR)*, p. 7, 2020.

[55] P. Cunningham, & S. Delany, *k-Nearest neighbour classifiers. Mult Classif Syst*, 54, 2007, DOI: 10.1145/3459665.

[56] V. Vapnik, *The Nature of Statistical Learning Theory*, Springer, New York, 1995.

[57] D. Ni, Z. Xiao, & M.K. Lim, «A systematic review of the research trends of machine learning in supply chain management», *Int. J. Mach. Learn. & Cyber*, 11, 1463–1482, 2020, DOI: 10.1007/s13042-019-01050-0

[58] Top 4 advantages and disadvantages of Support Vector Machine or SVM [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://dhirajkumarblog.medium.com/top-4-advantages-and-disadvantages-of-support-vector-machine-or-svm-a3c06a2b107>

[59] О.М. Горяїнов, *Вантажні перевезення: Конспект лекцій. (для студентів напряму підготовки – “Транспортні технології”*, Харків:ХНАМГ, 109с., 2009.

[60] А. П. Поляков, О. О. Галушак, Д. О. Галушак, та М. Д. Грабенко, «Методика вибору рухомого складу, маршруту і графіка перевезення вантажів», *НаукПраці ВНТУ*, вип. 3, Лис 2011.

[61] А.І. Воркут, *Вантажні автомобільні перевезення*, К.:Транспорт,– 360 с., 1986.

[62] В. В. Біліченко, В.Л. Крещенецький, С.О. Романюк, та Є.В. Смирнов, *Виробничо-технічна база підприємства автомобільного транспорту: навчальний посібник*, Вінниця, ВНТУ, 182 с., 2013.

[63] В.П. Волков, І.А. Мармут, С.І. Кривошапов, та В.І. Бєлов, *Проектування підприємств автомобільного транспорту*, Харків: ХНАДУ, 288 с., 2013.

[64] М.О. Турченко, М.Д. Швець, О.Г. Кірічок, та М.Є. Кристопчук, *Планування діяльності автотранспортного підприємства*, Вид. 2-ге, Рівне: НУВГП, 367 с., 2017.

[65] О. В. Таценко, «Шляхи підвищення ефективності використання транспортних засобів в транспортних технологіях для аграрного виробництва на основі їх експлуатаційних властивостей», *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі : матеріали II Міжнар. наук.-практ. конференції молодих учених, (Мелітополь, 01-25 лютого 2025 р.)*, Мелітополь : ТДАТУ, С. 170-173, 2022.

[66] С.Г. Фришев, та В.З. Докуніхін, *Основи транспортного процесу в АПК: посібник*, Київ, 420 с., 2009.

[67] Н.Г. Бережна, О.С. Біляєва, В.А. Войтов, О.М. Горяїнов, М.В. Карнаух, А.Г. Кравцов, О.В. Кутья, Д.О. Музильов, та Н.Ю. Шраменко, *Проблеми транспортно-логістичного забезпечення в аграрній галузі. Монографія*, Харків: Міськдрук, 180 с., 2019.

[68] Н. Ю. Шраменко, «Оценка затрат по обслуживанию потребителей при оперативном планировании процесса поставки зерновых грузов», *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*, № 12, С. 302-309, 2018.

[69] Д. О. Музильов, та Н. Ю. Шраменко, «Визначення середньої вантажності автомобілів при доставці швидкопсувних сільськогосподарських вантажів в ланцюгах постачань», *Український журнал прикладної економіки та техніки*, Том 6, № 4, С. 280 – 286, 2021.

[70] M. F. Isnafitri, et al, «A Truck Allocation Optimization Model in Open Pit Mining to Minimize Investment and Transportation Costs», *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*,1096, 2021.

[71] Mixed-Integer Linear Programming [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/mixed-integer-linear-programming>

[72] D.M. Bajany, X. Xia, &L. Zhang, «A MILP Model for Truck-shovel Scheduling to Minimize Fuel Consumption», *Energy Procedia*, 105, 2739-2745, 2017, DOI: 10.1016/j.egypro.2017.03.925.

[73] В.О. Тимочко, та Р.І. Падюка, «Вибір транспортних засобів для транспортування сільськогосподарської продукції», *Розвиток транспорту. Збірник наукових праць Одеського національного морського університету*, №1 (2), С. 116-125, 2018.

[74] C. Kazanç, M. Soysal, & M. Çimen, «Modeling Heterogeneous Fleet Vehicle Allocation Problem with Emissions Considerations», *The Open Transportation Journal*, 15, 93-107, 2021, DOI:10.2174/1874447802115010093.

[75] P. Q. Pan, «Integer Linear Programming (ILP)», *Linear Programming Computation*, Springer, Berlin, Heidelberg. 2014, DOI: 10.1007/978-3-642-40754-3_10

[76] V. Kotenko, «Development of the grain crops supply chain model», *Вісник машинобудування та транспорту*, 14(2), С. 33-37, 2021. DOI: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2021-14-2-33-37>.

[77] V. Kotenko, «Application of algorithmic models of machine learning to the freight transportation process», *Transport Technologies*, Volume 3, Number 2, P.10-21, 2022.

[78] В. І. Котенко, «Фактори, що впливають на структуру логістичного ланцюга постачання зернових культур», *Матеріали I Науково-технічної конференції факультету машинобудування та транспорту*, Вінниця, 2021. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2021/paper/view/12326>

[79] В. Котенко, «Підвищення ефективності організації транспортного процесу доставки сільськогосподарської продукції», *Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей: матеріали VII міжнарод. наук.-прак. конф*, Луцьк, С. 40-42, 2022.

[80] Д. З. Шматко та ін., *Організація та планування автомобільних вантажних перевезень*, Дніпровський державний технічний університет, 168 с., 2020, монографія.

[81] В. Г. Загорянський, Т. В. Гайкова, В. Л. Хорольський, та І. О. Кузєв, «Моделювання складу збирально-транспортного комплексу для врожаю зернових як системи масового обслуговування», *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*, Вип. 2, С. 146-151, 2019.

[82] Є. А. Бузовський, В. Г. Василенко, *Високоєфективне використання транспорту в АПК*, Київ: Урожай, 144 с., 1989.

[83] Д. Д. Марченко, *Транспортні процеси в АПК*, Миколаїв, МНАУ, 2018. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/5008/1/Transportni%20protsesty%20v%20APK.pdf>

[84] В.М. Придюк, «Особливості організації перевезень сільськогосподарських вантажів автомобільним транспортом», *Сільськогосподарські машини*, Вип. 28, Луцьк: РВВ Луцького НТУ, С. 68-72, 2014.

[85] Р. І. Падюка, *Моделі та методи управління ресурсами виробничих проектів рослинництва*, Держна служба України з надзвичайних ситуацій,

Львівський державний. університет безпеки життєдіяльності, Львів, 2021, дисертація.

[86] Б.Я. Керничний, «Інноваційні шляхи підвищення ефективності використання автомобільного важковагового транспорту (на прикладі організації сезонних перевезень сільськогосподарських вантажів)», *Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна «Проблеми економіки транспорту»*, № 11, С. 31 – 36, 2016.

[87] Н.Г. Бережна, *Підвищення ефективності та надійності функціонування транспортно-логістичного комплексу при перевезенні цукрового буряку*, Харківський національний автомобільно - дорожній університет, 224 с., 2018, дисертація.

[88] Є.П. Медведєв, «Факторний аналіз організації транспортного забезпечення при збиранні врожаю зернових культур в Україні», *Управління проектами, системний аналіз і логістика*, Науковий журнал, Випуск 18, Частина 1: Серія «Технічні науки». С.86-93, 2016.

[89] О. О. Медвецький, *Організація і стимулювання праці: Навч.-метод. посібник для самост. вивч. дисц.*, Київ: КНЕУ, 180 с., 2002.

[90] В. М. Парасюк, Р. Я. Демків, та В. М. Когут, *Безпека дорожнього руху : навчальний посібник*, Львів, Львівський державний університет внутрішніх справ, 340 с., 2022.

[91] Визначення попиту і пропозиції на ринку транспортних послуг [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.uaeconomic.com/ulens-330-1.html>.

[92] V. Naumov, «Modeling Demand for Freight Forwarding Services on the Grounds of Logistics Portals Data Transportation», *Research Procedia*, №30, pp. 324–33, 2018.

[93] А.В. Іванченко, «Дослідження попиту на перевезення вантажів у напрямку Україна», *Транспортні системи та технології перевезень : збірник*

наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, № 4, С. 40-43, 2012.

[94] Я.В. Літвінова, «Дослідження параметрів попиту на складування та переробку вантажів у транспортному вузлі», *Транспортні системи та технології перевезень*, № 10, С. 75–79, 2015.

[95] О. В. Сидорчук, В. М. Боярчук, та Р. Є. Кригуль, «Характеристики проектного середовища в системі централізованого зведення цукрових буряків», *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, № 1(2), С. 43-45, 2010.

[96] N. Shramenko, D. Muzylyov, & M. Karnaukh, «*The Principles of the Choice of Management Decisions Based on Fuzzy Logic for Cargo Delivery of Grain to the Seaport*», *International Journal of Engineering and Technology*, No7, P. 211-216, 2018. DOI: 10.14419/ijet.v7i4.3.19789.

[97] E. Mardaneh, R. Loxton, & S. Meka, & L. Gamble, «A decision support system for grain harvesting, storage, and distribution logistics», *Knowledge-Based Systems*, 223, 107037, 2021, DOI: 10.1016/j.knosys.2021.107037.

[98] R. Kingwell, R. Loxton, & E. Mardaneh, «Factors and scenarios affecting a farmer's grain harvest logistics: A farmer's grain harvest logistics», *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 2019.

[99] M. F. Hyland, H. S. Mahmassani and L. B. Mjahed, «Analytical models of rail transportation service in the grain supply chain: Deconstructing the operational and economic advantages of shuttle train service», *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 93, С. 294-315, 2016.

[100] Ю. Г. Масікевич, О. В. Шестопапов, та А. А. Негадайло, *Теорія систем в екології*, Суми : Сумський державний університет, 2015.

[101] І.М. Дудник, *Вступ до загальної теорії систем*, Полтава, 129 с., 2010.

[102] А. Є. Ачкасов, В. А. Лушкін, В. М. Охріменко, та Т. Б. Воронкова, *Теорія систем і системний аналіз*, Харків : ХНУМГ, 167 с., 2014.

[103] Л.М. Бандоріна, Л.І. Лозовська, та Л.М. Савчук, *Моделювання економіки : навч. посібник*, Дніпро, УДУНТ, 154 с. , 2022.

[104] P. Bhavsar, I. Safro, N.C Bouaynaya, R. Polikar, & D. Dera, «Machine Learning in Transportation Data Analytics», *Data Analytics for Intelligent Transportation Systems*, pp.283-307, 2017, DOI: 10.1016/B978-0-12-809715-1.00012-2

[105] Y. Kayikci, «A conceptual model for intermodal freight logistics centre location decisions», *Procedia Social Behav. Sci.*, vol. 2, no. 3, pp. 6297–6311, 2010, DOI: 10.1016/j.sbspro.2010.04.039.

[106] О. С. Якушенко, Д. О. Шевчук, та Д. В. Мединський, «Нейромережева модель для прогнозування часу на виконання транспортної задачі», *Science-Based Technologies*, Т. 49, № 1, 2021.

[107] А.М. Тригуба, І.В. Кондисюк, А.В. Татомир, Я.В. Шолудько, та О.В. Боярчук, «Інтелектуальна інформаційна система формування портфелів проєктів автотранспортних підприємств», *Інформаційні технології в енергетиці та агропромисловому комплексі: матеріали конференції X-ї міжнародної наукової конференції присвяченої 165-річчю університету*, Львів-Дубляни, С. 113–115, 2021.

[108] A. Tryhuba, Y. Sholudko, & I. Kondysiuk, «Justification of the configuration of the logistic delivery system of perishable agricultural products», *2nd International Conference on Agriculture, Technology, Engineering and Sciences (ICATES 2019)*, Lviv, P. 144, 2019.

[109] I. Kondysiuk, I. Tryhuba, N. Koval, O. Boiarchuk, & A. Tatomyr, «Intellectual information system for formation of portfolio projects of motor transport enterprises», *I Workshop Information Technologies in Energy and Agro-industrial Complex, ITEA-WS 2021*, CEUR Workshop Proceedings 3109, Dubliany, Lviv region, pp. 44–52, 2021.

[110] O. Bashynsky, «Conceptual model of management of technologically integrated industry development projects», *15th International Scientific and*

Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), 2, pp. 155-158, September 2020.

[111] А. Тригуба, І. Кондисюк, та Н. Коваль, «Формування портфелів гібридних проєктів автотранспортних підприємств», *Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер. : Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проєктами*, Харків : НТУ "ХПІ", № 2 (4), С. 67-72, 2021.

[112] Mito Docs [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://docs.trymito.io/>

[113] В. Біліченко, та В. Котенко, «Підходи до моделювання попиту на вантажні перевезення у зерновій логістиці», *Вісник машинобудування та транспорту*, № 2, С.4-9, 2019. DOI: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2019-10-2-4-9>.

[114] В. Котенко, «Особливості формування попиту у моделюванні ланцюгів поставок зернових культур», *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. Том 2, №15, С.35-41, 2020. DOI: <https://doi.org/10.36910/automash.v2i15.390>.

[115] В. Біліченко, та В. Мялковська, «Аналіз показників оцінки попиту на транспортне обслуговування вантажовласників при плануванні діяльності транспортних підприємств», *Матеріали I Міжнародної науково-технічної конференції "Перспективи розвитку машинобудування та транспорту – 2019" 13 – 15 травня 2019 р.): Збірник доповідей*, Вінниця: ВНТУ, 2019. С.159-160.

[116] В. Біліченко, та В. Мялковська, «Аналіз моделей попиту на вантажні перевезення у зерновій логістиці», *Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» 21-23 жовтня 2019.: Збірник доповідей*, Вінниця, 2019. С.13-16.

[117] В. І. Котенко, «Особливості побудови моделей ланцюгів поставок зернових культур», *Тези Всеукраїнської науково-практичної on-line*

конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, присвяченої Дню науки 11-15 травня 2020 р. Житомир, 2020, С.45.

[118] В. І. Котенко, «Моделювання логістичних процесів при транспортуванні зернових культур», *Матеріали Четвертої Всеукраїнської науково-теоретичної конференції «Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв'язання», 25 – 26 березня 2021 року: Тези доповідей*, Львів, 2021, С. 88-89.

[119] В.І. Котенко, «Формування моделі ланцюга постачання зернових культур», *Матеріали XIV міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 25-27 жовтня 2021 року*, Вінниця, ВНТУ, 2021, С.117-119.

[120] В. Котенко, «Розробка моделі штучної нейронної мережі для транспортування сільськогосподарської продукції». в *НТКП ВНТУ. Факультет машинобудування та транспорту. Матеріали LI Науково-технічної конференції факультету машинобудування та транспорту*, 31 травня 2022 року, Вінниця, С.2472-2474. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2022/paper/view/16138>

[121] T. Klompenburg, A. Kassahun, & C. Catal, «Crop yield prediction using machine learning: A systematic literature review», *Computers and Electronics in Agriculture*, 177, 2020.

[122] B. Marimuthu, A.V.N. Krishna, K. Balachandran, & J., Bhuvana, «A study on prediction of health care data using machine learning», *International Journal of Scientific and Technology Research*, 9, 616-620, 2020.

[123] R. Ratushnyi, P. Khmel, E. Martyn, & O. Prydatko, «Substantiating the effectiveness of projects for the construction of dual systems of fire suppression», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(3-100), pp. 46–53, 2019.

[124] O. Bashynsky, Ye. Medvediev, S. Slobodian, & D. Skorobogatov, «Justification of models of changing project environment for harvesting grain, oilseed and legume crops», *Independent Journal of Management & Production (Special Edition PDATU)*, Vol 10, No 7, p. 658-672, 2019.

[125] Р. Т. Ратушний, А. М. Тригуба, П. Хмель, О. О. Смотрич, та О. В. Придатко, «Особливості проектно-орієнтованого управління діяльністю транскордонних оперативно-рятувальних підрозділів», *Вісник ЛДУ БЖД*, Львів: ЛДУБЖД, №19, С. 51–60, 2019.

[126] N. Koval, A. Tryhuba, I. Kondysiuk, I. Tryhuba, O. Boiarchuk, M. Rudynets, V. Grabovets, & V. Onyshchuk, «Forecasting the fund of time for performance of works in hybrid projects using machine training technologies», *3rd International Workshop on Modern Machine Learning Technologies and Data Science Workshop, MoMLeT and DS 2021, CEUR Workshop Proceedings 2917*, Lviv-Shatsk, pp. 196–206, 2021.

[127] Л. С. Гур'янова, Т. С. Клебанова, та С. В. Прокопович, *Прикладна економетрика: навч. посіб.: у двох частинах. Частина 1*, Харків: ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 235 с., 2016.

[128] A. Dobson, *An Introduction to Generalized Linear Models*, Boca Raton: Chapman & Hall/CRC, 2002.

[129] H.N. Mhaskar, & T. Poggio, «Deep vs. shallow networks: An approximation theory perspective», *Analysis and Applications*, Vol.14, Issue 6, P. 829–848, 2016.

[130] K.M. He, X.Y. Zhang, S.Q. Ren, & J. Sun, «Deep Residual Learning for Image Recognition», *Proc. Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, P. 770–778, 2016.

[131] S. Singh, & P. Gupta, «Comparative study ID3, CART and C4.5 Decision tree algorithm: A Survey», *International Journal Of Advanced Information Science And Technology (IJAIST)*, no. 27, Pp. 2319-2682, 2014.

[132] R. Lewis, *An Introduction to Classification and Regression Tree (CART) Analysis*, 2000.

[133] T. Daniya, M. Geetha, & K. K. Suresh, «Classification and regression trees with gini index», *Advances in Mathematics Scientific Journal*, no. 9. pp.1857-8438, 2020, DOI: 10.37418/amsj.9.10.53.

[134] E. Bauer, & R. Kohavi, «An Empirical Comparison of Voting

Classification Algorithms: Bagging, Boosting, and Variants», *Machine Learning*, 36, 105–139, 1999. DOI: 10.1023/A:1007515423169.

[135] Documentation Python 3.9.13 [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://www.python.org/downloads/release/python-3913/>

[136] Scikit-learn. Machine Learning in Python. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://scikit-learn.org/stable/>.

[137] В. Котенко, «Алгоритмічні моделі машинного навчання для прогнозування витрат пального транспортними засобами під час доставки зернових культур», *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*, Вип. 6 (37), ч. 1, С.173-182, 2022. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).1.173-182](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).1.173-182)

[138] О. Hridin, N. Slavina, I. Mushenyk, & E. Dobrovolska, «Managerial decisions in logistic systems of milk provision on variable production conditions», *Independent Journal of Management & Production (Special Edition ISE)*, Vol 11, No 8, p. 783-800, 2020.

[139] V. Boyarchuk., Ftoma O., Francik S. and Rudynets M. Method and Software of Planning of the Substantial Risks in the Projects of Production of raw Material for Biofuel, in: CEUR Workshop Proceedings. Published in ITPM, 2020.

[140] OpenStreetMap. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://www.openstreetmap.org/#map=14/50.0456/24.9593>.

[141] Google Maps. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: www.google.com.ua/maps.

[142] Про заходи щодо збереження автомобільних доріг загального користування: Постанова Кабінету Міністрів України від 27 червня 2007 року № 879 [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://www.kmu.gov.ua/npas/84351094>.

[143] Б. М. Четверухін, П. Р. Левковець, О. І. Мельниченко, та О. Б. Четверухіна, *Основи теорії систем і системного аналізу*, Київ: НТУ, 272 с., 2004.

[144] В.Є. Бахрушин, *Методи аналізу даних : навчальний посібник для*

студентів, Запоріжжя : КПУ, 268 с., 2011.

[145] TIBCO Statistica™ 14.0.0 [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://docs.tibco.com/products/tibco-statistica-14-0-0>

[146] А. Т. Опря, Л. О. Дорогань-Писаренко, О. В. Єгорова, та Ж. А. Кононенко, *Статистика (модульний варіант з програмованою формою контролю знань) навчальний посібник*, Київ, «Центр учбової літератури», 536 с., 2014.

[147] Засименко В.М. Основи теорії планування експерименту. Навч. посібник. – Львів: Видав. ДУ „ЛП”, – 2000. – 205 с.

[148] MATLAB [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://nl.mathworks.com/products/matlab.html>

[149] В. Котенко, «Факторний аналіз функціональних та вартісних показників транспортного процесу доставки зернових культур», *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*, Том 2, №19, С.89-96, 2022. DOI: 10.36910/automash.v2i19.907 .

ДОДАТКИ

Додаток А

**Результати формування бази даних для прогнозування витрати палива
транспортними засобами під час доставки зернових культур від
сільськогосподарських підприємств до елеватора**

Таблиця А.1 – Фрагмент підготовлених даних для обґрунтування моделі
прогнозування витрат пального транспортними засобами під час доставки зернових
культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Транспортний засіб Category	Вантаж Category	Відстань, км (загальна) Number	Фактичні витрати палива, літрів Number	Витрати ДП, літрів/100км Number	Вантажо- обіг, т.км Number	Обсяг вантажу, тон Number
DAF CF85	Пшениця	2	0.873	43.650	16.100	8.050
DAF FT XF 105	Ріпак	124	54.126	43.650	2895.400	46.700
DAF FT XF 105	Пшениця	293	127.895	43.650	8018.070	109.480
DAF FT XF 105.460	Соя	100	43.651	43.651	2447	24.470
DAF FT 95.430	Ріпак	68	29.688	43.659	1436.160	21.120
DAF FT XF 105	Ріпак	84	36.676	43.662	2131.080	25.370
КАМАЗ 45143- 012-15	Пшениця	79	34.496	43.666	1831.150	46.370
DAF FT XF 105	Пшениця	50	21.833	43.666	1286	25.720
DAF FT XF 105	Ріпак	66	28.822	43.670	1540.440	23.340
...
DAF FT CF 85.410	Ріпак	94	51.613	54.907	2143.040	91.180
КАМАЗ 45143- 012-15	Пшениця	40	21.963	54.907	1015	50.760
DAF XF 105.460	Ріпак	58	31.848	54.910	1401.280	24.160
DAF FT XF 105	Пшениця	13	7.139	54.915	325	25
DAF FT CF 85.410	Пшениця	61	33.500	54.918	1639.680	26.880
DAF FT XF 105.460	Ріпак	168	92.266	54.920	4065.600	48.400
DAF XF 105.460	Ріпак	58	31.862	54.934	1394.320	24.040

Додаток Б

Результати інтелектуального аналізу даних для прогнозування витрати палива транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Таблиця Б.1 – Характеристики виконаних замовлень окремими транспортними засобами під час доставки зернових культур

Індекс	Марка та модель транспортних засобів	Абсолютна кількість виконаних замовлень, од	Частка
1	DAF FT XF 105	6949	0.491
2	DAF FT CF 85.410	2515	0.178
3	DAF FT XF 105.460	2129	0.151
4	DAF XF 105.460	585	0.041
5	КАМАЗ 45143-012-15	439	0.031
6	DAF XF95.480	270	0.019
7	DAF FT95.430	263	0.019
8	DAF CF85.410	218	0.015
9	DAF CF85.430	209	0.015
10	MA3 543205-020	172	0.012
11	DAF CF85	143	0.010
12	FREIGHLINER	92	0.007
13	DAF 85.300	73	0.005
14	DAF 95.3800	39	0.003
15	DAF FTXF 105.410	39	0.003
16	Mercedes-Benz Atego8...	5	0.000

Таблиця Б.2 – Характеристики виконаних замовлень під час доставки окремих зернових культур

Індекс	Марка та модель транспортних засобів	Абсолютна кількість виконаних замовлень, од	Частка
1	Пшениця	7316	0.517
2	Ріпак	4213	0.298
3	Соя	885	0.063
4	Ячмінь	729	0.052
5	Жито	631	0.045
6	Кукурудза	240	0.017
7	Соняшник	76	0.005
8	Овес	26	0.002
9	Просо	11	0.001
10	Зерно	3	0.000
11	Зернопродукти	2	0.000
12	Ріпак/Пшениця	2	0.000
13	ячмінь, пшениця	2	0.000
14	Зерноsumіш	1	0.000
15	Соя в бегах	1	0.000
16	Пшениця, кукурудза	1	0.000
17	Пшениця/навантажувач	1	0.000

Додаток В

Результати дослідження тенденцій зміни показників використання транспортних засобів під час виконання окремих замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

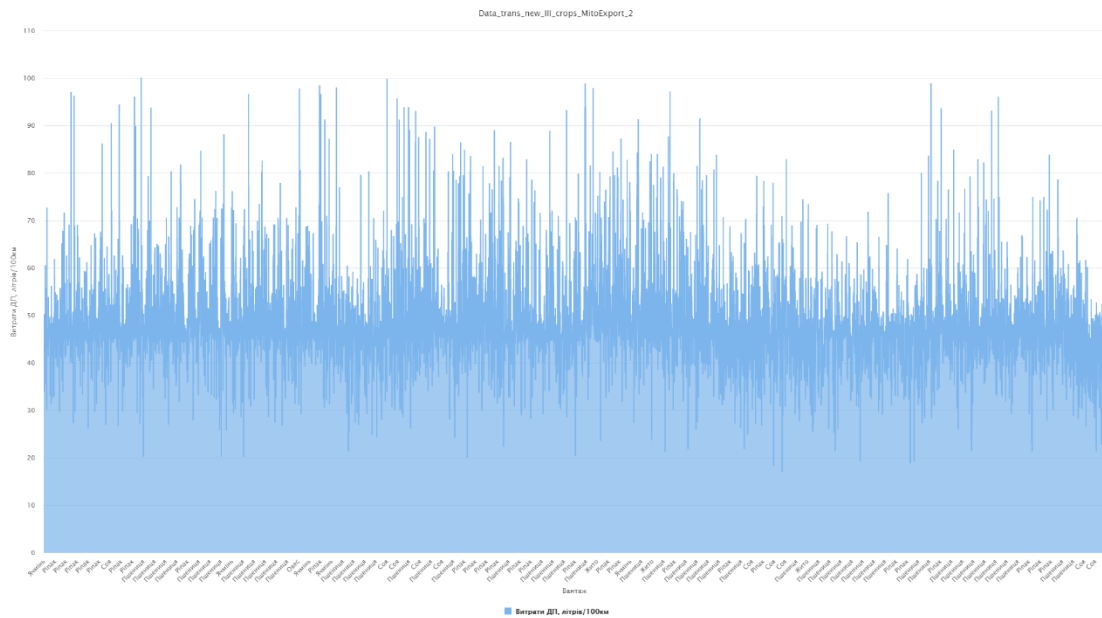


Рисунок В.1 – Тенденції зміни питомих витрат палива транспортними засобами під час транспортного обслуговування окремих замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

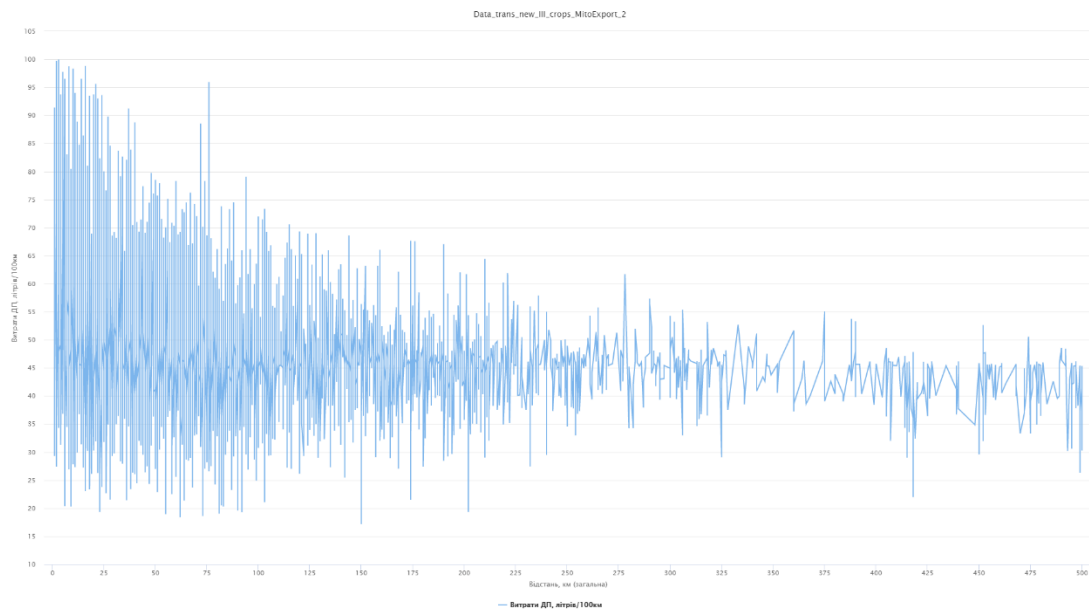


Рисунок В.2 – Тенденції зміни питомих витрат палива транспортними засобами під час транспортного обслуговування окремих замовлень за різної загальної відстані доставки зернових культур

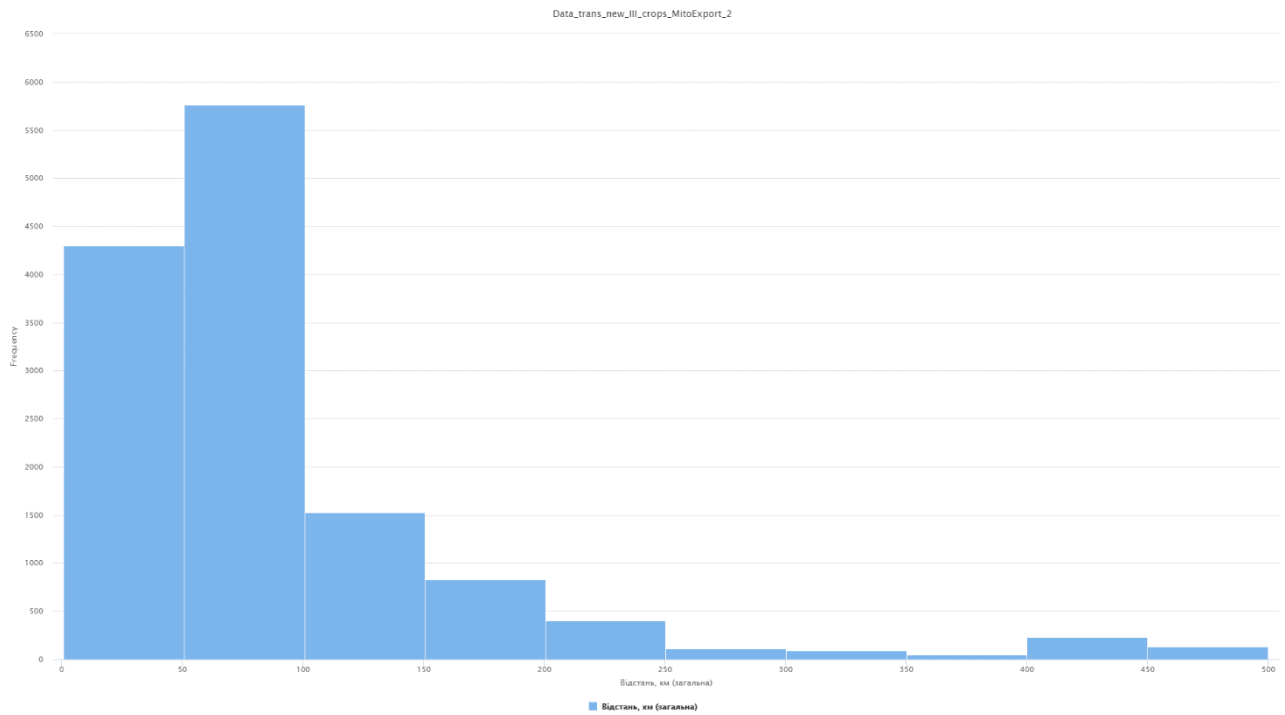


Рисунок В.5 – Гістограма зміни загальної відстані доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора під час транспортного обслуговування окремих замовлень

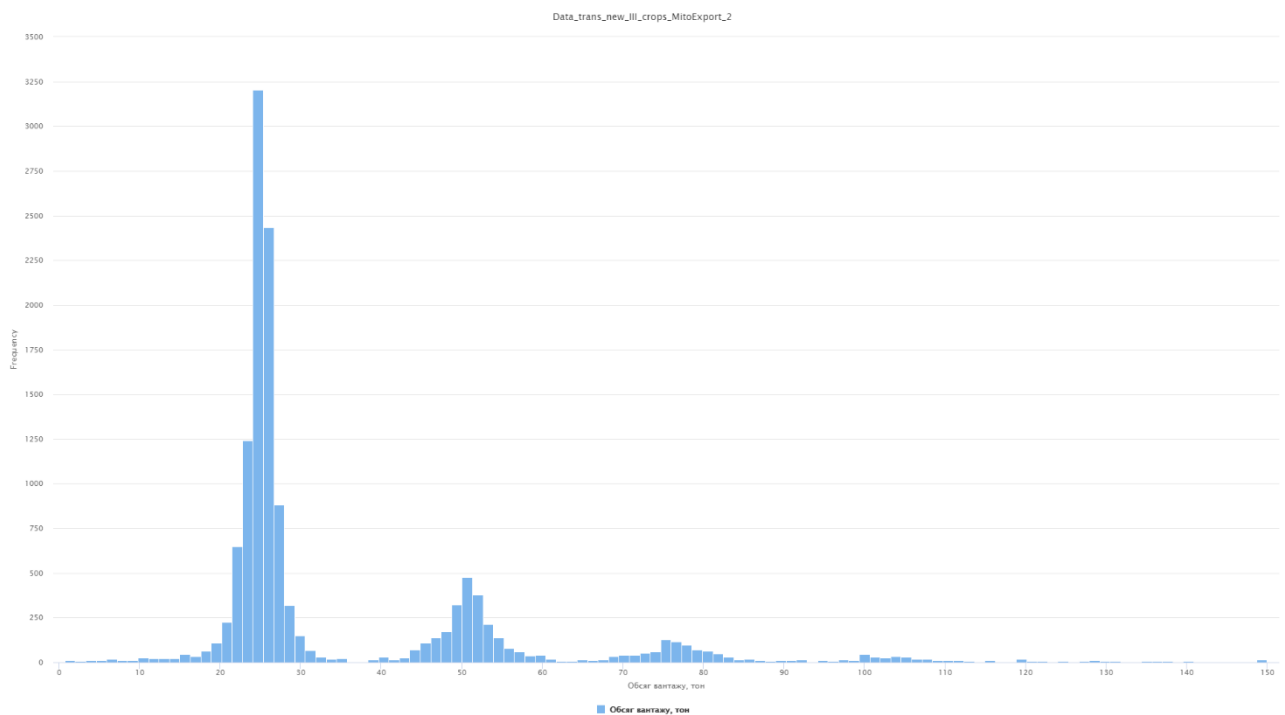


Рисунок В.6 – Гістограма зміни обсягу доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора під час транспортного обслуговування окремих замовлень

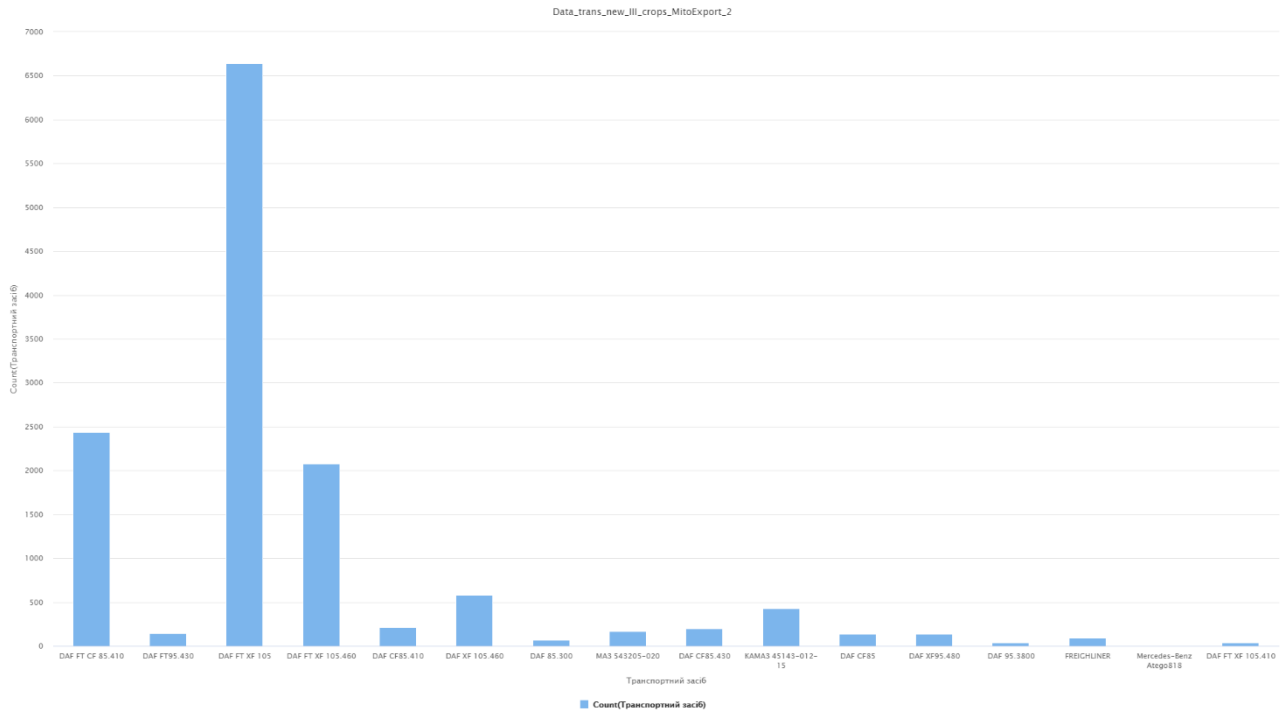


Рисунок В.7 – Гістограма зміни кількості замовлень, які обслуговувалися транспортними засобами різних марок та моделей під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

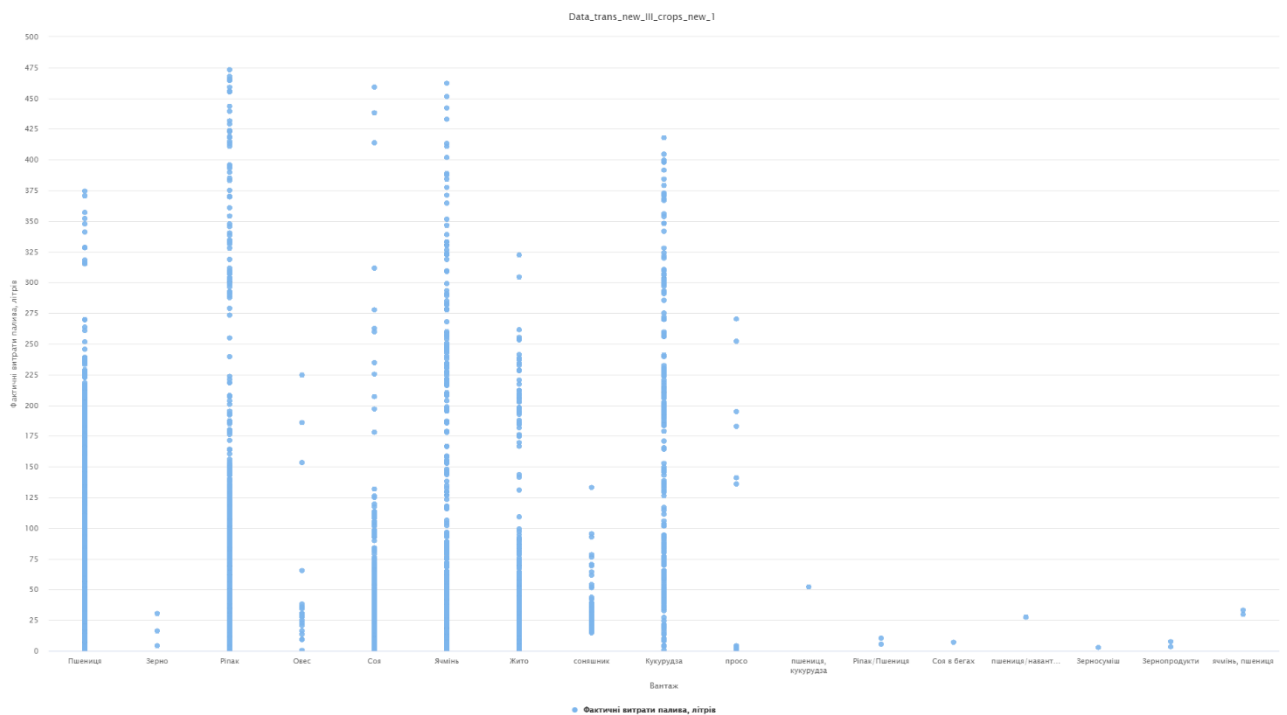


Рисунок В.8 – Діапазон зміни фактичних витрат палива під час транспортного обслуговування окремих замовлень із різним видом доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

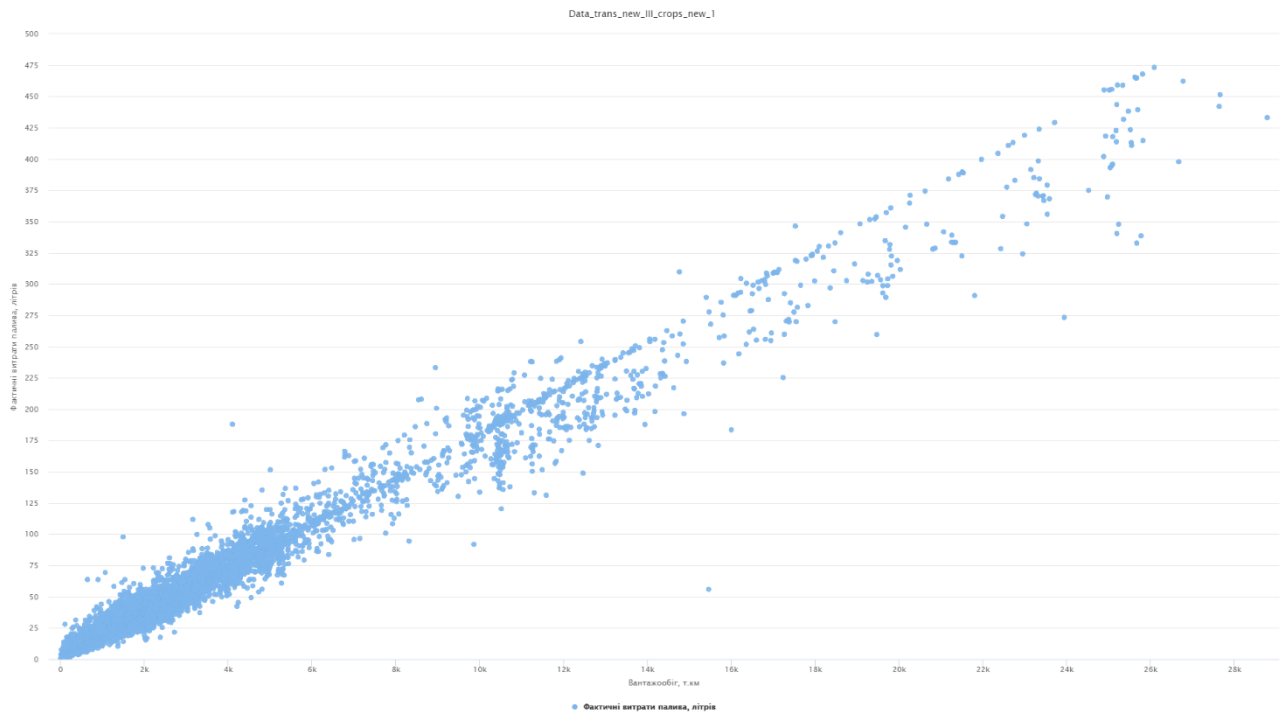


Рисунок В.9 – Залежність фактичних витрат палива під час транспортного обслуговування окремих замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора від виконаного вантажообігу

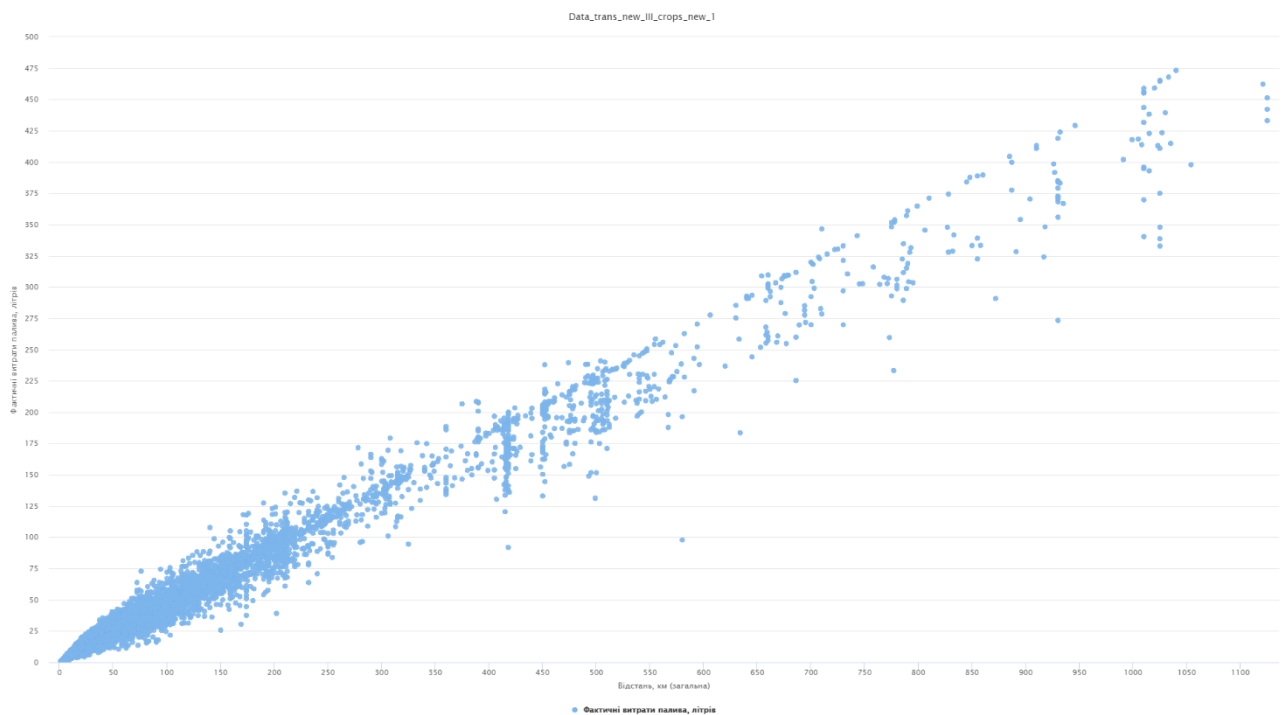


Рисунок В.10 – Залежність фактичних витрат палива під час транспортного обслуговування окремих замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора від пройденої загальної відстані



Рисунок В.11 – Залежність фактичних витрат палива під час транспортного обслуговування окремих замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора від обсягу вантажу

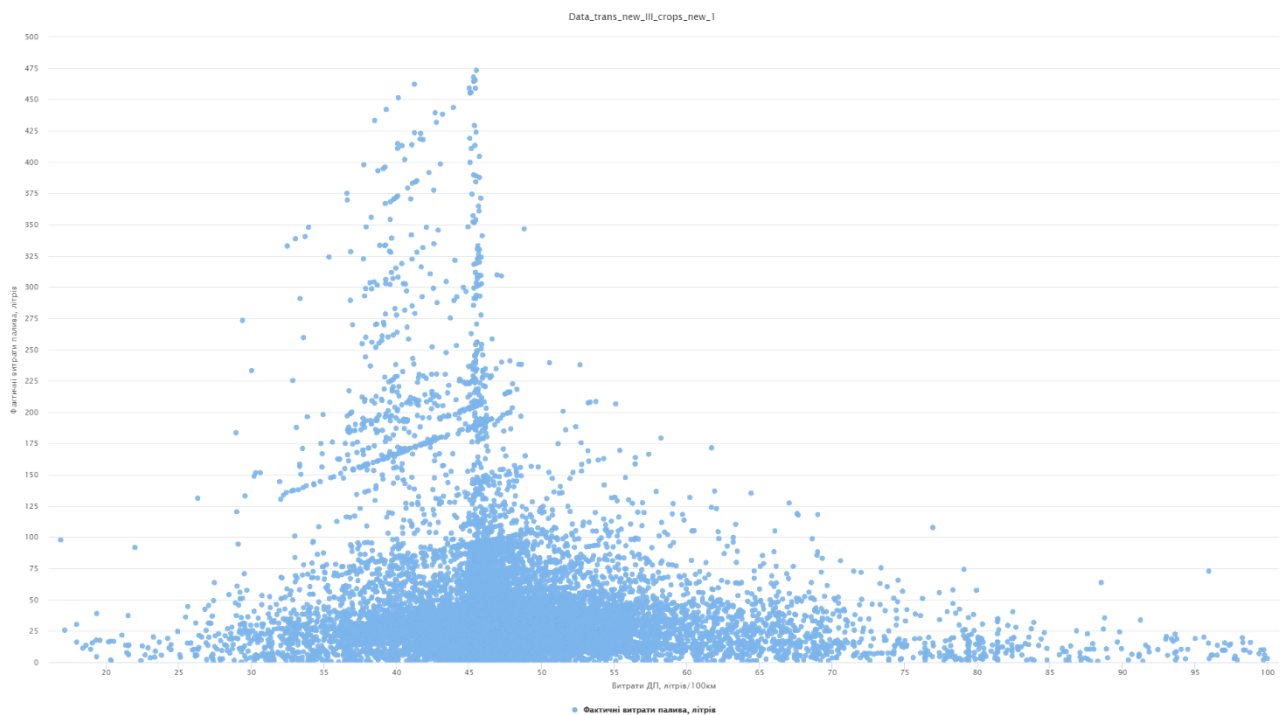


Рисунок В.12 – Взаємозв'язок між питомими та фактичними витратами палива під час транспортного обслуговування окремих замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора від обсягу вантажу

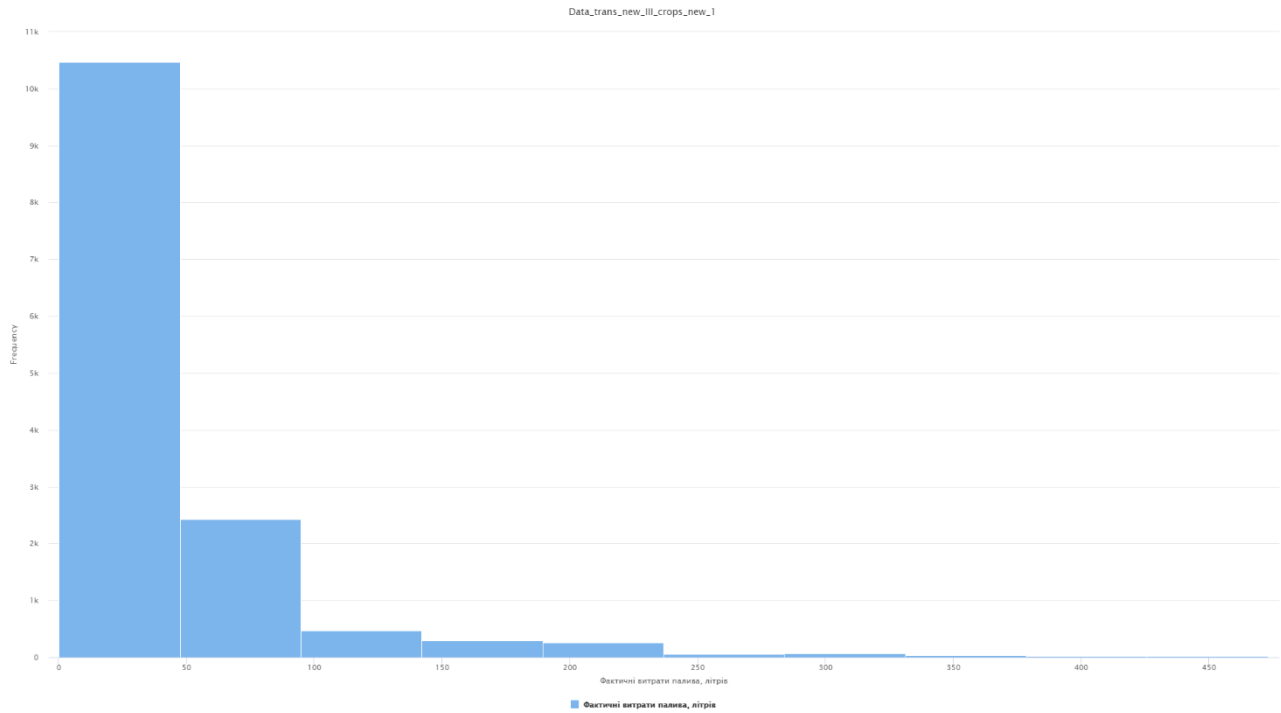


Рисунок В.13 – Гістограма зміни фактичних витрат палива під час транспортного обслуговування окремих замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

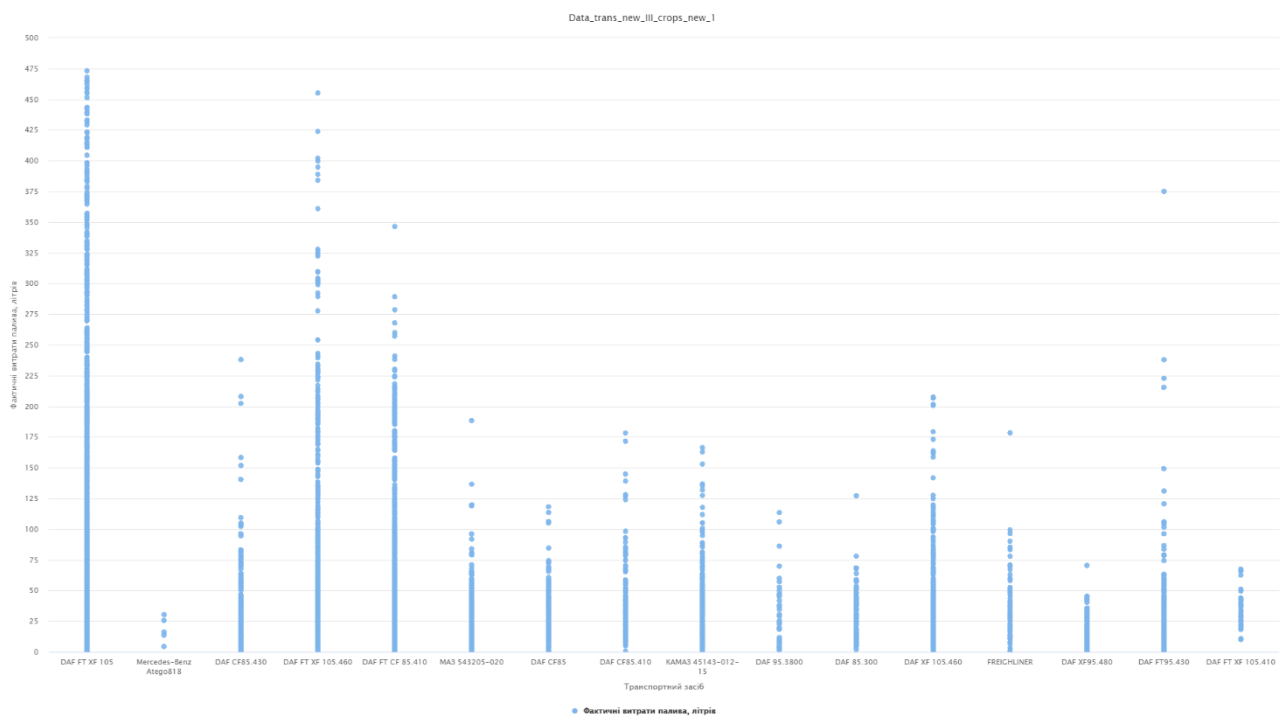


Рисунок В.14 – Діапазон зміни фактичних витрат палива під час транспортного обслуговування окремих замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора за різного залученого маркового складу автомобілів

Додаток Г

Фрагмент програмного коду моделі RF (Random Forest) випадкового лісу прогнозування витрат пального транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

```

# Importing the libraries
import os

import numpy as np # for array operations
import pandas as pd # for working with DataFrames
import requests, io # for HTTP requests and I/O commands
import matplotlib.pyplot as plt # for data visualization

from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.metrics import mean_squared_error
import matplotlib.pyplot as plt
import math

# scikit-learn modules
from sklearn.model_selection import train_test_split # for splitting the data
from sklearn.metrics import mean_squared_error # for calculating the cost function
from sklearn.ensemble import RandomForestRegressor # for building the model

# Reading the data
#dataset = pd.read_csv("F:\ML_models\Program\Data.csv")
#dataset.head()

dataset = pd.read_excel("E:\ML_models\Program\Data_1.xlsx", engine="openpyxl")
dataset.head()
print(dataset)

x = dataset.drop('Fuel_consumption', axis = 1) # Features
y = dataset['Fuel_consumption'] # Target

print(x)

# Splitting the dataset into training and testing set (80/20)
x_train, x_test, y_train, y_test = train_test_split(x, y, test_size = 0.2,
random_state = 28)

# Initializing the Random Forest Regression model with 10 decision trees
model = RandomForestRegressor(n_estimators = 20, random_state = 0)

# Fitting the Random Forest Regression model to the data
model.fit(x_train, y_train)

# Predicting the target values of the test set

print(x_test)

y_pred = model.predict(x_test)

print(y_pred)

# plot the first tree, restricted to depth of 3
#tfd.f.model_plotter.plot_model_in_colab(model, tree_idx=0, max_depth=3)

```

```
# Actual and projected fuel consumption
x_ax = range(len(y_test))
plt.plot(x_ax, y_test, linewidth=1, label="реальні дані")
plt.plot(x_ax, y_pred, linewidth=1.1, label="прогнозовані дані")
plt.title("y-test and y-predicted fuel consumption")
plt.xlabel('Кількість реалізацій')
plt.ylabel('Питома витрата палива (літрів/100км)')
plt.legend(loc='best', fancybox=True, shadow=True)
plt.grid(True)

plt.show()
```

Додаток Д

Структура ансамблю моделей RF (Random Forest) випадкового лісу прогнозування витрат пального транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Модель RF (Random Forest) випадкового лісу №1

```

Транспортний засіб = DAF 85.300
| Відстань, км (загальна) > 16.500
| | Обсяг вантажу, тон > 15.630
| | | Відстань, км (загальна) > 89.500: 60.408 {count=4}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 89.500: 54.720 {count=28}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 15.630: 44.257 {count=2}
| Відстань, км (загальна) ≤ 16.500
| | Відстань, км (загальна) > 7: 69.441 {count=5}
| | Відстань, км (загальна) ≤ 7: 78.483 {count=2}
Транспортний засіб = DAF 95.3800
| Обсяг вантажу, тон > 48.575
| | Відстань, км (загальна) > 63.500: 56.320 {count=2}
| | Відстань, км (загальна) ≤ 63.500
| | | Відстань, км (загальна) > 18: 89.800 {count=2}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 18: 80.478 {count=3}
| Обсяг вантажу, тон ≤ 48.575
| | Обсяг вантажу, тон > 27.460
| | | Відстань, км (загальна) > 85: 52.110 {count=2}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 85: 61.057 {count=5}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 27.460
| | | Обсяг вантажу, тон > 18.330: 50.627 {count=10}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 18.330: 41.325 {count=3}
Транспортний засіб = DAF CF85
| Обсяг вантажу, тон > 50.795
| | Відстань, км (загальна) > 49
| | | Обсяг вантажу, тон > 90.420: 62.868 {count=7}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 90.420: 58.069 {count=8}
| | Відстань, км (загальна) ≤ 49
| | | Відстань, км (загальна) > 13.500: 81.369 {count=10}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 13.500: 63.571 {count=2}
| Обсяг вантажу, тон ≤ 50.795
| | Обсяг вантажу, тон > 18.865
| | | Обсяг вантажу, тон > 20.005: 55.665 {count=57}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 20.005: 74.992 {count=6}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 18.865
| | | Обсяг вантажу, тон > 14: 47.474 {count=2}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 14: 44.388 {count=6}
Транспортний засіб = DAF CF85.410
| Відстань, км (загальна) > 6
| | Обсяг вантажу, тон > 25.130
| | | Відстань, км (загальна) > 217: 43.417 {count=5}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 217: 56.533 {count=64}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 25.130
| | | Обсяг вантажу, тон > 23.080: 51.770 {count=25}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 23.080: 47.460 {count=23}
| Відстань, км (загальна) ≤ 6: 27.400 {count=3}
Транспортний засіб = DAF CF85.430
| Обсяг вантажу, тон > 22.195
| | Обсяг вантажу, тон > 346.845: 42.881 {count=2}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 346.845
| | | Відстань, км (загальна) > 22: 52.026 {count=100}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 22: 57.936 {count=8}

```

```

|   Обсяг вантажу, тон ≤ 22.195
|   |   Відстань, км (загальна) > 33
|   |   |   Обсяг вантажу, тон > 20.850: 49.906 {count=8}
|   |   |   Обсяг вантажу, тон ≤ 20.850: 44.309 {count=3}
|   |   Відстань, км (загальна) ≤ 33
|   |   |   Відстань, км (загальна) > 23: 38.740 {count=3}
|   |   |   Відстань, км (загальна) ≤ 23: 49.845 {count=2}
Транспортний засіб = DAF FT CF 85.410
|   Відстань, км (загальна) > 25.500
|   |   Обсяг вантажу, тон > 24.065
|   |   |   Обсяг вантажу, тон > 100.255: 54.165 {count=60}
|   |   |   Обсяг вантажу, тон ≤ 100.255: 49.013 {count=732}
|   |   Обсяг вантажу, тон ≤ 24.065
|   |   |   Обсяг вантажу, тон > 15: 45.859 {count=427}
|   |   |   Обсяг вантажу, тон ≤ 15: 36.012 {count=9}
|   Відстань, км (загальна) ≤ 25.500
|   |   Обсяг вантажу, тон > 18.345
|   |   |   Відстань, км (загальна) > 15.500: 51.999 {count=186}
|   |   |   Відстань, км (загальна) ≤ 15.500: 56.548 {count=100}
|   |   Обсяг вантажу, тон ≤ 18.345
|   |   |   Обсяг вантажу, тон > 10.560: 40.593 {count=6}
|   |   |   Обсяг вантажу, тон ≤ 10.560: 30.218 {count=2}
Транспортний засіб = DAF FT XF 105
|   Обсяг вантажу, тон > 25.645
|   |   Відстань, км (загальна) > 25.500
|   |   |   Відстань, км (загальна) > 117.500: 44.740 {count=494}
|   |   |   Відстань, км (загальна) ≤ 117.500: 46.616 {count=1524}
|   |   Відстань, км (загальна) ≤ 25.500
|   |   |   Обсяг вантажу, тон > 666.753: 73.632 {count=3}
|   |   |   Обсяг вантажу, тон ≤ 666.753: 48.865 {count=309}
|   Обсяг вантажу, тон ≤ 25.645
|   |   Обсяг вантажу, тон > 11.450
|   |   |   Відстань, км (загальна) > 254.500: 41.341 {count=270}
|   |   |   Відстань, км (загальна) ≤ 254.500: 44.155 {count=1513}
|   |   Обсяг вантажу, тон ≤ 11.450
|   |   |   Обсяг вантажу, тон > 2.125: 29.852 {count=25}
|   |   |   Обсяг вантажу, тон ≤ 2.125: 20.033 {count=3}
Транспортний засіб = DAF FT XF 105.410
|   Відстань, км (загальна) > 37
|   |   Обсяг вантажу, тон > 24.405
|   |   |   Відстань, км (загальна) > 113.500: 48.965 {count=6}
|   |   |   Відстань, км (загальна) ≤ 113.500: 51.784 {count=3}
|   |   Обсяг вантажу, тон ≤ 24.405
|   |   |   Обсяг вантажу, тон > 21.640: 48.877 {count=9}
|   |   |   Обсяг вантажу, тон ≤ 21.640: 47.920 {count=2}
|   Відстань, км (загальна) ≤ 37: 56.114 {count=2}
Транспортний засіб = DAF FT XF 105.460
|   Обсяг вантажу, тон > 52.750
|   |   Відстань, км (загальна) > 3.500
|   |   |   Обсяг вантажу, тон > 99.710: 46.070 {count=27}
|   |   |   Обсяг вантажу, тон ≤ 99.710: 53.530 {count=135}
|   |   Відстань, км (загальна) ≤ 3.500: 97.700 {count=2}
|   Обсяг вантажу, тон ≤ 52.750
|   |   Обсяг вантажу, тон > 19.265
|   |   |   Відстань, км (загальна) > 35: 46.493 {count=896}
|   |   |   Відстань, км (загальна) ≤ 35: 51.653 {count=168}
|   |   Обсяг вантажу, тон ≤ 19.265
|   |   |   Обсяг вантажу, тон > 16.220: 37.907 {count=16}
|   |   |   Обсяг вантажу, тон ≤ 16.220: 31.517 {count=12}
Транспортний засіб = DAF FT95.430
|   Обсяг вантажу, тон > 240
|   |   Обсяг вантажу, тон > 332.500
|   |   |   Обсяг вантажу, тон > 395: 62.762 {count=38}
|   |   |   Обсяг вантажу, тон ≤ 395: 56.708 {count=10}

```

```

| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 332.500
| | | | Відстань, км (загальна) > 11.500: 68.857 {count=9}
| | | | Відстань, км (загальна) ≤ 11.500: 78.834 {count=5}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 240
| | | Відстань, км (загальна) > 6.500
| | | | Відстань, км (загальна) > 473.500: 41.203 {count=3}
| | | | Відстань, км (загальна) ≤ 473.500: 51.602 {count=62}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 6.500
| | | | Обсяг вантажу, тон > 153: 82.400 {count=2}
| | | | Обсяг вантажу, тон ≤ 153: 58.204 {count=25}
Транспортний засіб = DAF XF 105.460
| | Обсяг вантажу, тон > 23.465
| | | Відстань, км (загальна) > 77.500
| | | | Обсяг вантажу, тон > 81.070: 48.812 {count=16}
| | | | Обсяг вантажу, тон ≤ 81.070: 52.713 {count=77}
| | | | Відстань, км (загальна) ≤ 77.500
| | | | | Обсяг вантажу, тон > 28.220: 59.622 {count=53}
| | | | | Обсяг вантажу, тон ≤ 28.220: 55.190 {count=127}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 23.465
| | | Обсяг вантажу, тон > 16.045
| | | | Обсяг вантажу, тон > 17.470: 49.708 {count=83}
| | | | Обсяг вантажу, тон ≤ 17.470: 70.000 {count=3}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 16.045
| | | | Відстань, км (загальна) > 41.500: 37.807 {count=3}
| | | | Відстань, км (загальна) ≤ 41.500: 41.160 {count=6}
Транспортний засіб = DAF XF95.480
| | Обсяг вантажу, тон > 30.730
| | | Обсяг вантажу, тон > 133.050
| | | | Відстань, км (загальна) > 15.500: 71.393 {count=45}
| | | | Відстань, км (загальна) ≤ 15.500: 84.567 {count=46}
| | | | Обсяг вантажу, тон ≤ 133.050
| | | | | Відстань, км (загальна) > 3.500: 56.923 {count=32}
| | | | | Відстань, км (загальна) ≤ 3.500: 77.789 {count=33}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 30.730
| | | Обсяг вантажу, тон > 15.450
| | | | Обсяг вантажу, тон > 28.470: 37.900 {count=2}
| | | | Обсяг вантажу, тон ≤ 28.470: 58.170 {count=6}
| | | | Обсяг вантажу, тон ≤ 15.450: 34.880 {count=5}
Транспортний засіб = FREIGHLINER
| | Обсяг вантажу, тон > 24.010
| | | Обсяг вантажу, тон > 58.685
| | | | Обсяг вантажу, тон > 66.465: 53.250 {count=10}
| | | | Обсяг вантажу, тон ≤ 66.465: 63.693 {count=6}
| | | | Обсяг вантажу, тон ≤ 58.685
| | | | | Обсяг вантажу, тон > 30.430: 45.982 {count=13}
| | | | | Обсяг вантажу, тон ≤ 30.430: 52.936 {count=40}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 24.010
| | | Відстань, км (загальна) > 34.500
| | | | Обсяг вантажу, тон > 23.225: 43.018 {count=7}
| | | | Обсяг вантажу, тон ≤ 23.225: 48.870 {count=6}
| | | | Відстань, км (загальна) ≤ 34.500
| | | | | Відстань, км (загальна) > 12.500: 32.673 {count=2}
| | | | | Відстань, км (загальна) ≤ 12.500: 37.000 {count=4}
Транспортний засіб = Mercedes-Benz Atego818: 17.962 {count=2}
Транспортний засіб = КАМАЗ 45143-012-15
| | Обсяг вантажу, тон > 24.355
| | | Обсяг вантажу, тон > 403.350: 31.879 {count=2}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 403.350
| | | | Відстань, км (загальна) > 74.500: 59.089 {count=44}
| | | | Відстань, км (загальна) ≤ 74.500: 62.501 {count=104}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 24.355
| | | Відстань, км (загальна) > 4.500
| | | | Обсяг вантажу, тон > 19.523: 56.515 {count=85}
| | | | Обсяг вантажу, тон ≤ 19.523: 48.513 {count=19}

```



```
| | Відстань, км (загальна) ≤ 4.500: 79.950 {count=3}
Транспортний засіб = МАЗ 543205-020
| Обсяг вантажу, тон > 17.252
| | Відстань, км (загальна) > 42.500
| | | Відстань, км (загальна) > 96.500: 55.138 {count=19}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 96.500: 46.823 {count=27}
| | Відстань, км (загальна) ≤ 42.500
| | | Відстань, км (загальна) > 32.500: 61.607 {count=11}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 32.500: 54.425 {count=29}
| Обсяг вантажу, тон ≤ 17.252
| | Обсяг вантажу, тон > 7.715: 42.210 {count=5}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 7.715: 32.613 {count=2}
```

Модель RF (Random Forest) випадкового лісу №2

```

Транспортний засіб = DAF 85.300
| Обсяг вантажу, тон > 51.285
| | Обсяг вантажу, тон > 52.025
| | | Обсяг вантажу, тон > 99.515: 67.581 {count=6}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 99.515: 57.163 {count=2}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 52.025: 84.611 {count=3}
| Обсяг вантажу, тон ≤ 51.285
| | Обсяг вантажу, тон > 24.280
| | | Обсяг вантажу, тон > 27.340: 52.734 {count=5}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 27.340: 57.633 {count=20}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 24.280
| | | Обсяг вантажу, тон > 24.060: 41.429 {count=2}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 24.060: 53.727 {count=10}
Транспортний засіб = DAF 95.3800
| Обсяг вантажу, тон > 27.005
| | Обсяг вантажу, тон > 52.095: 67.984 {count=2}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 52.095
| | | Відстань, км (загальна) > 59: 55.114 {count=5}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 59: 62.136 {count=3}
| Обсяг вантажу, тон ≤ 27.005
| | Обсяг вантажу, тон > 18.330
| | | Відстань, км (загальна) > 79.500: 47.905 {count=3}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 79.500: 50.791 {count=4}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 18.330: 41.057 {count=2}
Транспортний засіб = DAF CF85
| Обсяг вантажу, тон > 51.890
| | Відстань, км (загальна) > 51
| | | Відстань, км (загальна) > 58.500: 58.407 {count=16}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 58.500: 66.405 {count=6}
| | Відстань, км (загальна) ≤ 51
| | | Обсяг вантажу, тон > 120.445: 59.202 {count=3}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 120.445: 81.391 {count=11}
| Обсяг вантажу, тон ≤ 51.890
| | Обсяг вантажу, тон > 21.995
| | | Відстань, км (загальна) > 95: 47.790 {count=2}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 95: 57.516 {count=25}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 21.995
| | | Обсяг вантажу, тон > 18.975: 52.100 {count=13}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 18.975: 48.718 {count=5}
Транспортний засіб = DAF CF85.410
| Обсяг вантажу, тон > 21.020
| | Відстань, км (загальна) > 12
| | | Обсяг вантажу, тон > 25.270: 54.313 {count=67}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 25.270: 50.695 {count=36}
| | Відстань, км (загальна) ≤ 12
| | | Відстань, км (загальна) > 10: 71.718 {count=3}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 10: 55.856 {count=2}
| Обсяг вантажу, тон ≤ 21.020
| | Обсяг вантажу, тон > 10.580
| | | Обсяг вантажу, тон > 20.590: 39.131 {count=2}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 20.590: 45.726 {count=2}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 10.580
| | | Відстань, км (загальна) > 50: 28.660 {count=2}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 50: 27.400 {count=3}
Транспортний засіб = DAF CF85.430
| Обсяг вантажу, тон > 22.270
| | Обсяг вантажу, тон > 329.845: 39.579 {count=4}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 329.845
| | | Відстань, км (загальна) > 12: 52.365 {count=110}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 12: 65.218 {count=3}
| Обсяг вантажу, тон ≤ 22.270
| | Відстань, км (загальна) > 81.500

```

```

| | | Відстань, км (загальна) > 89.500: 46.988 {count=2}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 89.500: 36.222 {count=3}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 81.500
| | | Відстань, км (загальна) > 67.500: 52.605 {count=8}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 67.500: 45.585 {count=16}
Транспортний засіб = DAF FT CF 85.410
| | Відстань, км (загальна) > 25.500
| | | Обсяг вантажу, тон > 23.805
| | | | Відстань, км (загальна) > 103.500: 47.506 {count=246}
| | | | Відстань, км (загальна) ≤ 103.500: 49.344 {count=624}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 23.805
| | | | Обсяг вантажу, тон > 15: 45.875 {count=346}
| | | | Обсяг вантажу, тон ≤ 15: 36.494 {count=15}
| | Відстань, км (загальна) ≤ 25.500
| | | Обсяг вантажу, тон > 51.770
| | | | Обсяг вантажу, тон > 123.045: 47.948 {count=21}
| | | | Обсяг вантажу, тон ≤ 123.045: 65.322 {count=27}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 51.770
| | | | Обсяг вантажу, тон > 17.710: 51.292 {count=223}
| | | | Обсяг вантажу, тон ≤ 17.710: 39.770 {count=7}
Транспортний засіб = DAF FT XF 105
| | Обсяг вантажу, тон > 25.845
| | | Відстань, км (загальна) > 81.500
| | | | Відстань, км (загальна) > 185: 43.552 {count=216}
| | | | Відстань, км (загальна) ≤ 185: 45.895 {count=595}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 81.500
| | | | Відстань, км (загальна) > 25.500: 47.292 {count=982}
| | | | Відстань, км (загальна) ≤ 25.500: 49.407 {count=326}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 25.845
| | | Обсяг вантажу, тон > 18.105
| | | | Відстань, км (загальна) > 356.500: 41.530 {count=285}
| | | | Відстань, км (загальна) ≤ 356.500: 44.352 {count=1693}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 18.105
| | | | Обсяг вантажу, тон > 11.380: 36.625 {count=37}
| | | | Обсяг вантажу, тон ≤ 11.380: 27.923 {count=29}
Транспортний засіб = DAF FT XF 105.410
| | Відстань, км (загальна) > 37
| | | Обсяг вантажу, тон > 23.605
| | | | Обсяг вантажу, тон > 33.385: 49.071 {count=5}
| | | | Обсяг вантажу, тон ≤ 33.385: 51.527 {count=4}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 23.605
| | | | Відстань, км (загальна) > 60.500: 49.045 {count=2}
| | | | Відстань, км (загальна) ≤ 60.500: 48.617 {count=5}
| | Відстань, км (загальна) ≤ 37: 60.884 {count=3}
Транспортний засіб = DAF FT XF 105.460
| | Обсяг вантажу, тон > 330: 98.288 {count=2}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 330
| | | Обсяг вантажу, тон > 25.525
| | | | Відстань, км (загальна) > 58.500: 47.997 {count=395}
| | | | Відстань, км (загальна) ≤ 58.500: 52.510 {count=231}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 25.525
| | | | Обсяг вантажу, тон > 18.500: 46.011 {count=599}
| | | | Обсяг вантажу, тон ≤ 18.500: 37.534 {count=15}
Транспортний засіб = DAF FT95.430
| | Обсяг вантажу, тон > 74.880
| | | Відстань, км (загальна) > 13.500
| | | | Обсяг вантажу, тон > 465: 61.138 {count=35}
| | | | Обсяг вантажу, тон ≤ 465: 57.959 {count=28}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 13.500
| | | | Відстань, км (загальна) > 9: 68.896 {count=17}
| | | | Відстань, км (загальна) ≤ 9: 58.790 {count=17}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 74.880
| | | Відстань, км (загальна) > 473.500: 41.702 {count=3}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 473.500

```

```

| | | Відстань, км (загальна) > 2.500: 51.322 {count=59}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 2.500: 57.650 {count=7}
Транспортний засіб = DAF XF 105.460
| Обсяг вантажу, тон > 25.025
| | Відстань, км (загальна) > 83.500
| | | Відстань, км (загальна) > 172: 55.347 {count=18}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 172: 52.359 {count=48}
| | Відстань, км (загальна) ≤ 83.500
| | | Обсяг вантажу, тон > 74.630: 52.491 {count=17}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 74.630: 58.316 {count=135}
| Обсяг вантажу, тон ≤ 25.025
| | Обсяг вантажу, тон > 8.780
| | | Відстань, км (загальна) > 73.500: 47.660 {count=45}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 73.500: 52.310 {count=88}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 8.780
| | | Відстань, км (загальна) > 79: 35.410 {count=2}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 79: 30.375 {count=4}
Транспортний засіб = DAF XF95.480
| Обсяг вантажу, тон > 30.730
| | Обсяг вантажу, тон > 82.300
| | | Відстань, км (загальна) > 14: 71.773 {count=53}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 14: 77.323 {count=47}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 82.300
| | | Відстань, км (загальна) > 3.500: 52.575 {count=19}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 3.500: 77.040 {count=31}
| Обсяг вантажу, тон ≤ 30.730
| | Обсяг вантажу, тон > 24.050
| | | Відстань, км (загальна) > 1.500: 55.219 {count=7}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 1.500: 66.600 {count=2}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 24.050
| | | Відстань, км (загальна) > 33.500: 44.097 {count=2}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 33.500: 34.600 {count=4}
Транспортний засіб = FREIGHLINER
| Обсяг вантажу, тон > 23.985
| | Обсяг вантажу, тон > 25.725
| | | Обсяг вантажу, тон > 29.205: 50.286 {count=19}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 29.205: 56.252 {count=13}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 25.725
| | | Обсяг вантажу, тон > 24.175: 49.800 {count=20}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 24.175: 54.425 {count=2}
| Обсяг вантажу, тон ≤ 23.985
| | Відстань, км (загальна) > 34.500
| | | Обсяг вантажу, тон > 23.655: 40.708 {count=3}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 23.655: 47.030 {count=9}
| | Відстань, км (загальна) ≤ 34.500: 35.731 {count=3}
Транспортний засіб = Mercedes-Benz Atego818: 17.962 {count=2}
Транспортний засіб = КАМАЗ 45143-012-15
| Обсяг вантажу, тон > 20.215
| | Обсяг вантажу, тон > 277.380: 34.302 {count=2}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 277.380
| | | Відстань, км (загальна) > 65.500: 57.838 {count=81}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 65.500: 62.059 {count=170}
| Обсяг вантажу, тон ≤ 20.215
| | Обсяг вантажу, тон > 12.750
| | | Обсяг вантажу, тон > 19.303: 45.876 {count=6}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 19.303: 51.871 {count=13}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 12.750
| | | Відстань, км (загальна) > 16: 43.971 {count=3}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 16: 42.700 {count=3}
Транспортний засіб = МАЗ 543205-020
| Обсяг вантажу, тон > 17.252
| | Обсяг вантажу, тон > 71.960
| | | Обсяг вантажу, тон > 146.480: 52.212 {count=3}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 146.480: 63.891 {count=12}

```

```
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 71.960
| | | Обсяг вантажу, тон > 46.325: 46.626 {count=21}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 46.325: 55.988 {count=59}
| Обсяг вантажу, тон ≤ 17.252
| | Обсяг вантажу, тон > 7.715
| | | Відстань, км (загальна) > 65: 41.390 {count=3}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 65: 45.330 {count=3}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 7.715: 32.613 {count=2}
```

Модель RF (Random Forest) випадкового лісу №3

```

Транспортний засіб = DAF 85.300
| Відстань, км (загальна) > 15.500
| | Обсяг вантажу, тон > 27.695
| | | Відстань, км (загальна) > 35: 55.311 {count=4}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 35: 63.624 {count=6}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 27.695
| | | Обсяг вантажу, тон > 27.340: 50.806 {count=3}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 27.340: 55.165 {count=19}
| Відстань, км (загальна) ≤ 15.500
| | Обсяг вантажу, тон > 147.275: 64.956 {count=2}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 147.275
| | | Відстань, км (загальна) > 11.500: 69.521 {count=3}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 11.500: 71.660 {count=4}
Транспортний засіб = DAF 95.3800
| Відстань, км (загальна) > 27.500
| | Обсяг вантажу, тон > 27.005
| | | Відстань, км (загальна) > 61: 56.921 {count=12}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 61: 62.476 {count=5}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 27.005
| | | Відстань, км (загальна) > 60.500: 50.037 {count=3}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 60.500: 41.539 {count=5}
| Відстань, км (загальна) ≤ 27.500: 86.693 {count=3}
Транспортний засіб = DAF CF85
| Обсяг вантажу, тон > 54.065
| | Обсяг вантажу, тон > 130.195: 55.921 {count=5}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 130.195
| | | Відстань, км (загальна) > 30: 68.655 {count=18}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 30: 86.127 {count=5}
| Обсяг вантажу, тон ≤ 54.065
| | Обсяг вантажу, тон > 19.850: 57.354 {count=66}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 19.850
| | | Обсяг вантажу, тон > 14: 48.690 {count=8}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 14: 44.388 {count=6}
Транспортний засіб = DAF CF85.410
| Обсяг вантажу, тон > 21.270
| | Обсяг вантажу, тон > 122.970
| | | Відстань, км (загальна) > 59: 54.473 {count=2}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 59: 44.529 {count=7}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 122.970
| | | Обсяг вантажу, тон > 25.130: 55.835 {count=91}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 25.130: 51.430 {count=46}
| Обсяг вантажу, тон ≤ 21.270
| | Відстань, км (загальна) > 96.500: 28.660 {count=2}
| | Відстань, км (загальна) ≤ 96.500: 44.614 {count=9}
Транспортний засіб = DAF CF85.430
| Обсяг вантажу, тон > 22.210
| | Відстань, км (загальна) > 8
| | | Відстань, км (загальна) > 11.500: 51.981 {count=100}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 11.500: 73.140 {count=2}
| | Відстань, км (загальна) ≤ 8: 43.854 {count=8}
| Обсяг вантажу, тон ≤ 22.210
| | Обсяг вантажу, тон > 22.160: 27.346 {count=2}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 22.160
| | | Обсяг вантажу, тон > 20.850: 47.723 {count=13}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 20.850: 38.761 {count=10}
Транспортний засіб = DAF FT CF 85.410
| Відстань, км (загальна) > 79.500
| | Відстань, км (загальна) > 358.500
| | | Обсяг вантажу, тон > 23.690: 38.591 {count=20}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 23.690: 42.225 {count=35}
| | Відстань, км (загальна) ≤ 358.500
| | | Обсяг вантажу, тон > 153.180: 37.107 {count=5}

```

```

| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 153.180: 47.128 {count=454}
| Відстань, км (загальна) ≤ 79.500
| | Обсяг вантажу, тон > 19.635
| | | Відстань, км (загальна) > 15.500: 49.512 {count=819}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 15.500: 53.357 {count=106}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 19.635
| | | Обсяг вантажу, тон > 11.270: 40.243 {count=9}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 11.270: 32.660 {count=10}
Транспортний засіб = DAF FT XF 105
| Обсяг вантажу, тон > 25.515
| | Відстань, км (загальна) > 79.500
| | | Відстань, км (загальна) > 185.500: 43.998 {count=232}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 185.500: 45.848 {count=709}
| | Відстань, км (загальна) ≤ 79.500
| | | Обсяг вантажу, тон > 27.210: 48.426 {count=732}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 27.210: 46.530 {count=817}
Обсяг вантажу, тон ≤ 25.515
| | Обсяг вантажу, тон > 20.030
| | | Відстань, км (загальна) > 354.500: 41.391 {count=273}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 354.500: 44.056 {count=1374}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 20.030
| | | Обсяг вантажу, тон > 11.450: 37.842 {count=72}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 11.450: 28.882 {count=26}
Транспортний засіб = DAF FT XF 105.410
| Відстань, км (загальна) > 37
| | Обсяг вантажу, тон > 24.110
| | | Обсяг вантажу, тон > 33.625: 48.746 {count=7}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 33.625: 51.570 {count=4}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 24.110
| | | Обсяг вантажу, тон > 22.235: 49.079 {count=8}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 22.235: 48.412 {count=5}
| Відстань, км (загальна) ≤ 37: 54.523 {count=3}
Транспортний засіб = DAF FT XF 105.460
| Обсяг вантажу, тон > 52.750
| | Відстань, км (загальна) > 6.500
| | | Відстань, км (загальна) > 87: 49.252 {count=90}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 87: 55.454 {count=71}
| | Відстань, км (загальна) ≤ 6.500: 97.700 {count=2}
Обсяг вантажу, тон ≤ 52.750
| | Обсяг вантажу, тон > 17.040
| | | Відстань, км (загальна) > 67.500: 45.689 {count=576}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 67.500: 48.749 {count=481}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 17.040
| | | Відстань, км (загальна) > 55.500: 36.817 {count=5}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 55.500: 29.532 {count=7}
Транспортний засіб = DAF FT95.430
| Обсяг вантажу, тон > 175.500
| | Відстань, км (загальна) > 11.500
| | | Обсяг вантажу, тон > 347.500: 58.344 {count=41}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 347.500: 63.603 {count=12}
| | Відстань, км (загальна) ≤ 11.500
| | | Обсяг вантажу, тон > 240: 80.419 {count=9}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 240: 64.917 {count=3}
Обсяг вантажу, тон ≤ 175.500
| | Відстань, км (загальна) > 6.500
| | | Обсяг вантажу, тон > 14.235: 51.524 {count=55}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 14.235: 34.973 {count=2}
| | Відстань, км (загальна) ≤ 6.500
| | | Обсяг вантажу, тон > 125: 69.984 {count=4}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 125: 55.476 {count=29}
Транспортний засіб = DAF XF 105.460
| Обсяг вантажу, тон > 7.930
| | Обсяг вантажу, тон > 23
| | | Обсяг вантажу, тон > 88.800: 48.997 {count=19}

```

```

| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 88.800: 54.410 {count=241}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 23
| | | Відстань, км (загальна) > 115: 43.858 {count=12}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 115: 49.721 {count=48}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 7.930: 30.288 {count=5}
Транспортний засіб = DAF XF95.480
| | Обсяг вантажу, тон > 14.358
| | | Обсяг вантажу, тон > 133
| | | | Відстань, км (загальна) > 13.500: 69.230 {count=49}
| | | | Відстань, км (загальна) ≤ 13.500: 81.801 {count=32}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 133
| | | | Відстань, км (загальна) > 3.500: 59.077 {count=33}
| | | | Відстань, км (загальна) ≤ 3.500: 72.869 {count=32}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 14.358: 35.300 {count=5}
Транспортний засіб = FREIGHLINER
| | Обсяг вантажу, тон > 23.985
| | | Обсяг вантажу, тон > 58.685
| | | | Обсяг вантажу, тон > 66.465: 52.724 {count=4}
| | | | Обсяг вантажу, тон ≤ 66.465: 65.621 {count=2}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 58.685
| | | | Обсяг вантажу, тон > 38.385: 47.078 {count=12}
| | | | Обсяг вантажу, тон ≤ 38.385: 53.738 {count=32}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 23.985: 45.113 {count=13}
Транспортний засіб = Mercedes-Benz Atego818: 17.962 {count=3}
Транспортний засіб = КАМАЗ 45143-012-15
| | Обсяг вантажу, тон > 19.980
| | | Відстань, км (загальна) > 77.500
| | | | Відстань, км (загальна) > 166.500: 63.065 {count=6}
| | | | Відстань, км (загальна) ≤ 166.500: 54.864 {count=52}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 77.500
| | | | Обсяг вантажу, тон > 23.435: 63.019 {count=138}
| | | | Обсяг вантажу, тон ≤ 23.435: 58.683 {count=61}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 19.980
| | | Відстань, км (загальна) > 8
| | | | Відстань, км (загальна) > 84.500: 41.885 {count=5}
| | | | Відстань, км (загальна) ≤ 84.500: 48.704 {count=12}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 8: 36.700 {count=2}
Транспортний засіб = МАЗ 543205-020
| | Обсяг вантажу, тон > 14.265
| | | Відстань, км (загальна) > 59
| | | | Відстань, км (загальна) > 91.500: 53.578 {count=13}
| | | | Відстань, км (загальна) ≤ 91.500: 41.538 {count=13}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 59
| | | | Відстань, км (загальна) > 17: 57.421 {count=43}
| | | | Відстань, км (загальна) ≤ 17: 51.919 {count=17}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 14.265
| | | Обсяг вантажу, тон > 7.780: 40.412 {count=2}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 7.780: 32.613 {count=2}

```


Модель RF (Random Forest) випадкового лісу №4

```

Транспортний засіб = DAF 85.300
| Відстань, км (загальна) > 13.500
| | Обсяг вантажу, тон > 38.980
| | | Обсяг вантажу, тон > 52.025: 61.357 {count=5}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 52.025: 75.233 {count=2}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 38.980
| | | Обсяг вантажу, тон > 15.630: 56.128 {count=27}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 15.630: 44.257 {count=3}
| Відстань, км (загальна) ≤ 13.500
| | Обсяг вантажу, тон > 190: 64.956 {count=2}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 190: 72.560 {count=6}
Транспортний засіб = DAF 95.3800
| Обсяг вантажу, тон > 52.095
| | Відстань, км (загальна) > 63.500: 56.320 {count=2}
| | Відстань, км (загальна) ≤ 63.500: 85.139 {count=2}
| Обсяг вантажу, тон ≤ 52.095
| | Обсяг вантажу, тон > 27.005
| | | Відстань, км (загальна) > 81.500: 55.504 {count=3}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 81.500: 59.386 {count=2}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 27.005
| | | Відстань, км (загальна) > 33: 49.698 {count=9}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 33: 45.830 {count=2}
Транспортний засіб = DAF CF85
| Обсяг вантажу, тон > 51.020
| | Відстань, км (загальна) > 50.500
| | | Обсяг вантажу, тон > 126.410: 58.160 {count=5}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 126.410: 63.427 {count=21}
| | Відстань, км (загальна) ≤ 50.500
| | | Відстань, км (загальна) > 17.500: 83.504 {count=8}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 17.500: 60.112 {count=4}
| Обсяг вантажу, тон ≤ 51.020
| | Обсяг вантажу, тон > 19.850
| | | Відстань, км (загальна) > 50: 52.123 {count=26}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 50: 60.351 {count=30}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 19.850
| | | Обсяг вантажу, тон > 6.750: 44.765 {count=8}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 6.750: 36.500 {count=3}
Транспортний засіб = DAF CF85.410
| Обсяг вантажу, тон > 25.160
| | Обсяг вантажу, тон > 90.180
| | | Відстань, км (загальна) > 361.500: 42.141 {count=4}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 361.500: 49.307 {count=5}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 90.180
| | | Обсяг вантажу, тон > 84.310: 65.203 {count=2}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 84.310: 57.180 {count=47}
| Обсяг вантажу, тон ≤ 25.160
| | Відстань, км (загальна) > 88.500
| | | Відстань, км (загальна) > 89.500: 48.328 {count=8}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 89.500: 39.194 {count=2}
| | Відстань, км (загальна) ≤ 88.500
| | | Відстань, км (загальна) > 83.500: 57.920 {count=3}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 83.500: 51.651 {count=38}
Транспортний засіб = DAF CF85.430
| Відстань, км (загальна) > 17
| | Обсяг вантажу, тон > 22.055
| | | Обсяг вантажу, тон > 25.330: 52.906 {count=38}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 25.330: 51.161 {count=43}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 22.055
| | | Обсяг вантажу, тон > 21.460: 40.411 {count=4}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 21.460: 49.574 {count=6}
| Відстань, км (загальна) ≤ 17
| | Обсяг вантажу, тон > 23.930

```

```

| | | Обсяг вантажу, тон > 55.260: 49.075 {count=7}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 55.260: 39.682 {count=8}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 23.930: 55.092 {count=2}
Транспортний засіб = DAF FT CF 85.410
| Обсяг вантажу, тон > 24.075
| | Відстань, км (загальна) > 25.500
| | | Відстань, км (загальна) > 104.500: 47.179 {count=233}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 104.500: 49.387 {count=563}
| | Відстань, км (загальна) ≤ 25.500
| | | Відстань, км (загальна) > 24.500: 59.813 {count=11}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 24.500: 51.758 {count=176}
| Обсяг вантажу, тон ≤ 24.075
| | Обсяг вантажу, тон > 8.825
| | | Відстань, км (загальна) > 24.500: 45.675 {count=442}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 24.500: 50.241 {count=90}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 8.825: 32.477 {count=11}
Транспортний засіб = DAF FT XF 105
| Обсяг вантажу, тон > 25.825
| | Відстань, км (загальна) > 76.500
| | | Відстань, км (загальна) > 121: 44.786 {count=479}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 121: 46.139 {count=426}
| | Відстань, км (загальна) ≤ 76.500
| | | Обсяг вантажу, тон > 27.185: 48.468 {count=777}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 27.185: 46.438 {count=515}
| Обсяг вантажу, тон ≤ 25.825
| | Обсяг вантажу, тон > 12.620
| | | Відстань, км (загальна) > 356.500: 41.116 {count=250}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 356.500: 43.971 {count=1688}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 12.620
| | | Обсяг вантажу, тон > 2.125: 29.433 {count=38}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 2.125: 20.786 {count=3}
Транспортний засіб = DAF FT XF 105.410
| Відстань, км (загальна) > 59.500: 48.600 {count=11}
| Відстань, км (загальна) ≤ 59.500
| | Обсяг вантажу, тон > 24.160
| | | Відстань, км (загальна) > 46: 51.879 {count=3}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 46: 50.712 {count=3}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 24.160: 48.550 {count=2}
Транспортний засіб = DAF FT XF 105.460
| Обсяг вантажу, тон > 26.840
| | Відстань, км (загальна) > 35
| | | Відстань, км (загальна) > 76.500: 47.485 {count=220}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 76.500: 50.715 {count=165}
| | Відстань, км (загальна) ≤ 35
| | | Обсяг вантажу, тон > 99.160: 35.964 {count=4}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 99.160: 56.671 {count=64}
| Обсяг вантажу, тон ≤ 26.840
| | Обсяг вантажу, тон > 20.135
| | | Відстань, км (загальна) > 68.500: 45.001 {count=424}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 68.500: 47.416 {count=390}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 20.135
| | | Обсяг вантажу, тон > 16.220: 39.287 {count=20}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 16.220: 34.698 {count=14}
Транспортний засіб = DAF FT95.430
| Обсяг вантажу, тон > 203.500
| | Відстань, км (загальна) > 11.500
| | | Обсяг вантажу, тон > 590: 58.401 {count=13}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 590: 61.600 {count=31}
| | Відстань, км (загальна) ≤ 11.500
| | | Відстань, км (загальна) > 9.500: 70.564 {count=11}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 9.500: 79.400 {count=3}
| Обсяг вантажу, тон ≤ 203.500
| | Відстань, км (загальна) > 4.500
| | | Відстань, км (загальна) > 473.500: 42.155 {count=4}

```

```

| | | Відстань, км (загальна) ≤ 473.500: 51.437 {count=76}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 4.500
| | | Обсяг вантажу, тон > 45: 55.438 {count=4}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 45: 63.371 {count=7}
Транспортний засіб = DAF XF 105.460
| | Обсяг вантажу, тон > 25.025
| | | Відстань, км (загальна) > 25
| | | | Обсяг вантажу, тон > 93.120: 48.674 {count=8}
| | | | Обсяг вантажу, тон ≤ 93.120: 55.684 {count=156}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 25
| | | | Відстань, км (загальна) > 21: 71.222 {count=10}
| | | | Відстань, км (загальна) ≤ 21: 57.432 {count=18}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 25.025
| | | Обсяг вантажу, тон > 18.865
| | | | Відстань, км (загальна) > 64.500: 48.876 {count=68}
| | | | Відстань, км (загальна) ≤ 64.500: 52.761 {count=84}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 18.865
| | | | Обсяг вантажу, тон > 9.350: 42.617 {count=13}
| | | | Обсяг вантажу, тон ≤ 9.350: 31.382 {count=5}
Транспортний засіб = DAF XF95.480
| | Обсяг вантажу, тон > 112.575
| | | Відстань, км (загальна) > 13.500
| | | | Обсяг вантажу, тон > 384.050: 74.633 {count=32}
| | | | Обсяг вантажу, тон ≤ 384.050: 64.063 {count=13}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 13.500
| | | | Обсяг вантажу, тон > 179.750: 85.062 {count=28}
| | | | Обсяг вантажу, тон ≤ 179.750: 74.511 {count=21}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 112.575
| | | Відстань, км (загальна) > 3.500
| | | | Обсяг вантажу, тон > 82.300: 64.999 {count=6}
| | | | Обсяг вантажу, тон ≤ 82.300: 50.600 {count=20}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 3.500
| | | | Обсяг вантажу, тон > 32.500: 75.841 {count=23}
| | | | Обсяг вантажу, тон ≤ 32.500: 48.221 {count=7}
Транспортний засіб = FREIGHTLINER
| | Обсяг вантажу, тон > 12.020
| | | Обсяг вантажу, тон > 58.685
| | | | Відстань, км (загальна) > 17: 64.388 {count=3}
| | | | Відстань, км (загальна) ≤ 17: 51.600 {count=2}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 58.685
| | | | Обсяг вантажу, тон > 30.105: 46.160 {count=12}
| | | | Обсяг вантажу, тон ≤ 30.105: 51.806 {count=32}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 12.020
| | | Відстань, км (загальна) > 24.500: 33.192 {count=3}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 24.500: 32.154 {count=2}
Транспортний засіб = КАМАЗ 45143-012-15
| | Обсяг вантажу, тон > 237.795: 33.494 {count=3}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 237.795
| | | Обсяг вантажу, тон > 24.355
| | | | Обсяг вантажу, тон > 34.360: 60.192 {count=91}
| | | | Обсяг вантажу, тон ≤ 34.360: 65.089 {count=33}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 24.355
| | | | Обсяг вантажу, тон > 20.675: 57.639 {count=94}
| | | | Обсяг вантажу, тон ≤ 20.675: 51.802 {count=27}
Транспортний засіб = МАЗ 543205-020
| | Обсяг вантажу, тон > 7.715
| | | Обсяг вантажу, тон > 41.555
| | | | Обсяг вантажу, тон > 71.460: 58.789 {count=6}
| | | | Обсяг вантажу, тон ≤ 71.460: 48.726 {count=30}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 41.555
| | | | Обсяг вантажу, тон > 26.260: 64.337 {count=6}
| | | | Обсяг вантажу, тон ≤ 26.260: 54.823 {count=67}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 7.715: 33.088 {count=3}

```

Модель RF (Random Forest) випадкового лісу №5

```

Відстань, км (загальна) > 48.500
|   Транспортний засіб = DAF 85.300
|   |   Обсяг вантажу, тон > 39.190: 57.307 {count=5}
|   |   Обсяг вантажу, тон ≤ 39.190
|   |   |   Обсяг вантажу, тон > 26.305: 46.377 {count=3}
|   |   |   Обсяг вантажу, тон ≤ 26.305: 56.368 {count=4}
|   Транспортний засіб = DAF 95.3800
|   |   Обсяг вантажу, тон > 27.005
|   |   |   Обсяг вантажу, тон > 42.085: 57.150 {count=2}
|   |   |   Обсяг вантажу, тон ≤ 42.085: 58.955 {count=4}
|   |   Обсяг вантажу, тон ≤ 27.005
|   |   |   Відстань, км (загальна) > 76: 48.075 {count=2}
|   |   |   Відстань, км (загальна) ≤ 76: 40.253 {count=2}
|   Транспортний засіб = DAF CF85
|   |   Обсяг вантажу, тон > 38.515
|   |   |   Відстань, км (загальна) > 94.500: 56.084 {count=9}
|   |   |   Відстань, км (загальна) ≤ 94.500: 64.326 {count=18}
|   |   Обсяг вантажу, тон ≤ 38.515
|   |   |   Відстань, км (загальна) > 93.500: 45.761 {count=8}
|   |   |   Відстань, км (загальна) ≤ 93.500: 53.351 {count=14}
|   Транспортний засіб = DAF CF85.410
|   |   Обсяг вантажу, тон > 51.645
|   |   |   Відстань, км (загальна) > 289: 45.205 {count=2}
|   |   |   Відстань, км (загальна) ≤ 289: 57.775 {count=19}
|   |   Обсяг вантажу, тон ≤ 51.645
|   |   |   Відстань, км (загальна) > 67: 48.070 {count=57}
|   |   |   Відстань, км (загальна) ≤ 67: 56.085 {count=12}
|   Транспортний засіб = DAF CF85.430
|   |   Обсяг вантажу, тон > 21.850
|   |   |   Відстань, км (загальна) > 164.500: 47.047 {count=6}
|   |   |   Відстань, км (загальна) ≤ 164.500: 51.975 {count=53}
|   |   Обсяг вантажу, тон ≤ 21.850: 36.222 {count=2}
|   Транспортний засіб = DAF FT CF 85.410
|   |   Обсяг вантажу, тон > 23.875
|   |   |   Відстань, км (загальна) > 104.500: 46.350 {count=220}
|   |   |   Відстань, км (загальна) ≤ 104.500: 49.391 {count=390}
|   |   Обсяг вантажу, тон ≤ 23.875
|   |   |   Обсяг вантажу, тон > 17.575: 45.327 {count=304}
|   |   |   Обсяг вантажу, тон ≤ 17.575: 36.743 {count=12}
|   Транспортний засіб = DAF FT XF 105
|   |   Обсяг вантажу, тон > 25.465
|   |   |   Відстань, км (загальна) > 118: 44.436 {count=491}
|   |   |   Відстань, км (загальна) ≤ 118: 46.460 {count=1356}
|   |   Обсяг вантажу, тон ≤ 25.465
|   |   |   Обсяг вантажу, тон > 17.990: 43.311 {count=1296}
|   |   |   Обсяг вантажу, тон ≤ 17.990: 31.893 {count=35}
|   Транспортний засіб = DAF FT XF 105.410: 50.120 {count=20}
|   Транспортний засіб = DAF FT XF 105.460
|   |   Обсяг вантажу, тон > 26.645
|   |   |   Відстань, км (загальна) > 81.500: 47.279 {count=254}
|   |   |   Відстань, км (загальна) ≤ 81.500: 51.435 {count=133}
|   |   Обсяг вантажу, тон ≤ 26.645
|   |   |   Відстань, км (загальна) > 74.500: 44.370 {count=328}
|   |   |   Відстань, км (загальна) ≤ 74.500: 47.032 {count=256}
|   Транспортний засіб = DAF FT95.430
|   |   Відстань, км (загальна) > 216
|   |   |   Обсяг вантажу, тон > 49.595: 48.294 {count=2}
|   |   |   Обсяг вантажу, тон ≤ 49.595: 43.623 {count=5}
|   |   Відстань, км (загальна) ≤ 216
|   |   |   Обсяг вантажу, тон > 25.035: 53.140 {count=14}
|   |   |   Обсяг вантажу, тон ≤ 25.035: 50.999 {count=16}
|   Транспортний засіб = DAF XF 105.460

```

```

| | | Обсяг вантажу, тон > 24.205
| | | | Відстань, км (загальна) > 81.500: 51.948 {count=75}
| | | | Відстань, км (загальна) ≤ 81.500: 55.581 {count=83}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 24.205
| | | | Відстань, км (загальна) > 336.500: 38.204 {count=6}
| | | | Відстань, км (загальна) ≤ 336.500: 49.249 {count=50}
| | Транспортний засіб = DAF XF95.480
| | | Відстань, км (загальна) > 68.500: 57.450 {count=2}
| | | Відстань, км (загальна) ≤ 68.500: 55.461 {count=4}
| | Транспортний засіб = FREIGHLINER
| | | Обсяг вантажу, тон > 24.150
| | | | Обсяг вантажу, тон > 30.430: 47.694 {count=10}
| | | | Обсяг вантажу, тон ≤ 30.430: 55.041 {count=17}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 24.150
| | | | Обсяг вантажу, тон > 23.655: 41.296 {count=4}
| | | | Обсяг вантажу, тон ≤ 23.655: 46.761 {count=3}
| | Транспортний засіб = Mercedes-Benz Atego818: 17.962 {count=3}
| | Транспортний засіб = КАМАЗ 45143-012-15
| | | Обсяг вантажу, тон > 277.380
| | | | Відстань, км (загальна) > 77: 31.879 {count=2}
| | | | Відстань, км (загальна) ≤ 77: 36.725 {count=3}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 277.380
| | | | Обсяг вантажу, тон > 23.610: 60.704 {count=76}
| | | | Обсяг вантажу, тон ≤ 23.610: 53.200 {count=50}
| | Транспортний засіб = МАЗ 543205-020
| | | Обсяг вантажу, тон > 105.150: 23.660 {count=2}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 105.150
| | | | Обсяг вантажу, тон > 9.265: 53.795 {count=34}
| | | | Обсяг вантажу, тон ≤ 9.265: 34.038 {count=3}
| Відстань, км (загальна) ≤ 48.500
| | Обсяг вантажу, тон > 136.615
| | | Обсяг вантажу, тон > 191.625
| | | | Відстань, км (загальна) > 8.500: 64.271 {count=156}
| | | | Відстань, км (загальна) ≤ 8.500: 87.756 {count=6}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 191.625
| | | | Обсяг вантажу, тон > 149.860: 52.257 {count=42}
| | | | Обсяг вантажу, тон ≤ 149.860: 72.473 {count=17}
| | Обсяг вантажу, тон ≤ 136.615
| | | Обсяг вантажу, тон > 12.360
| | | | Обсяг вантажу, тон > 26.995: 53.648 {count=905}
| | | | Обсяг вантажу, тон ≤ 26.995: 50.006 {count=1537}
| | | Обсяг вантажу, тон ≤ 12.360
| | | | Відстань, км (загальна) > 21.500: 30.810 {count=20}
| | | | Відстань, км (загальна) ≤ 21.500: 38.689 {count=20}

```

Додаток Д

Моделі RF (Random Forest) випадкового лісу №1 для прогнозування витрат палива окремими марками транспортних засобів під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора



Рисунок Д.1 – Модель RF (Random Forest) випадкового лісу для прогнозування витрат пального транспортними засобами DAF 85.300 під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора



Рисунок Д.2 – Модель RF (Random Forest) випадкового лісу для прогнозування витрат пального транспортними засобами DAF 95.380 під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора



Рисунок Д.3 – Модель RF (Random Forest) випадкового лісу для прогнозування витрат пального транспортними засобами DAF CF85 під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора



Рисунок Д.4 – Модель RF (Random Forest) випадкового лісу для прогнозування витрат пального транспортними засобами DAF CF85.410 під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора



Рисунок Д.5 – Модель RF (Random Forest) випадкового лісу для прогнозування витрат пального транспортними засобами DAF CF85.430 під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

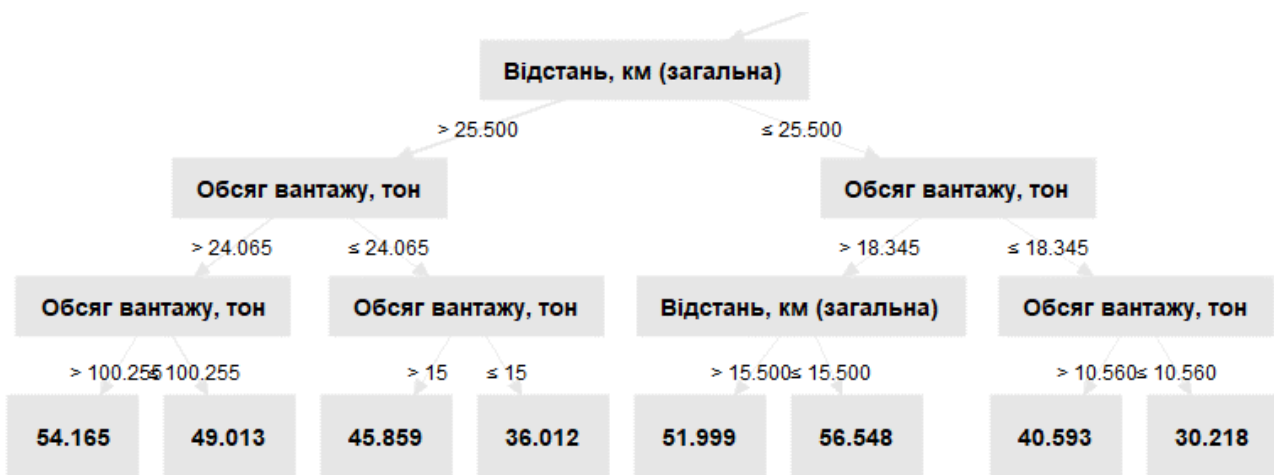


Рисунок Д.6 – Модель RF (Random Forest) випадкового лісу для прогнозування витрат пального транспортними засобами DAF FT CF 85.410 під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора



Рисунок Д.7 – Модель RF (Random Forest) випадкового лісу для прогнозування витрат пального транспортними засобами DAF FT XF 105 під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

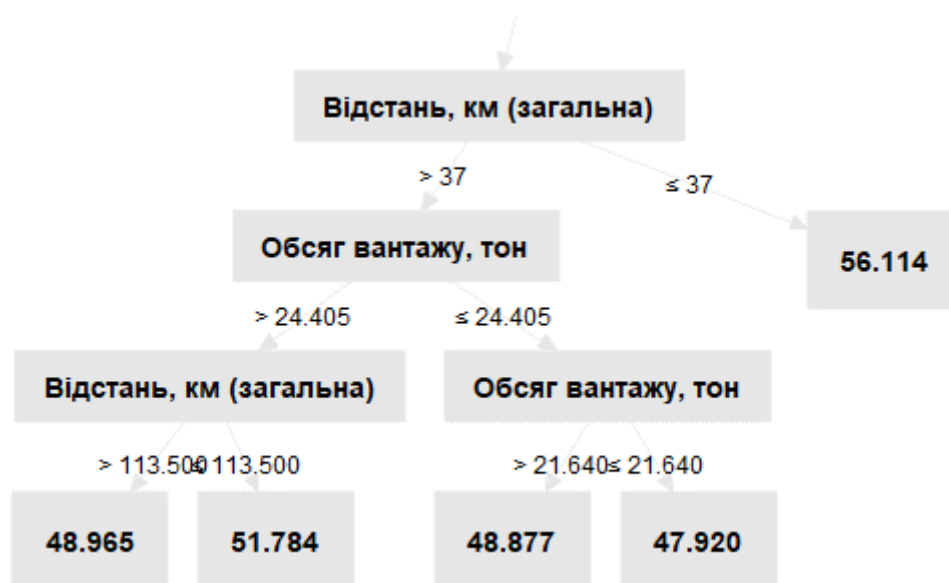


Рисунок Д.8 – Модель RF (Random Forest) випадкового лісу для прогнозування витрат пального транспортними засобами DAF FT XF 105.410 під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора



Рисунок Д.9 – Модель RF (Random Forest) випадкового лісу для прогнозування витрат пального транспортними засобами DAF FT XF 105.460 під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора



Рисунок Д.10 – Модель RF (Random Forest) випадкового лісу для прогнозування витрат пального транспортними засобами DAF FT95.430 під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

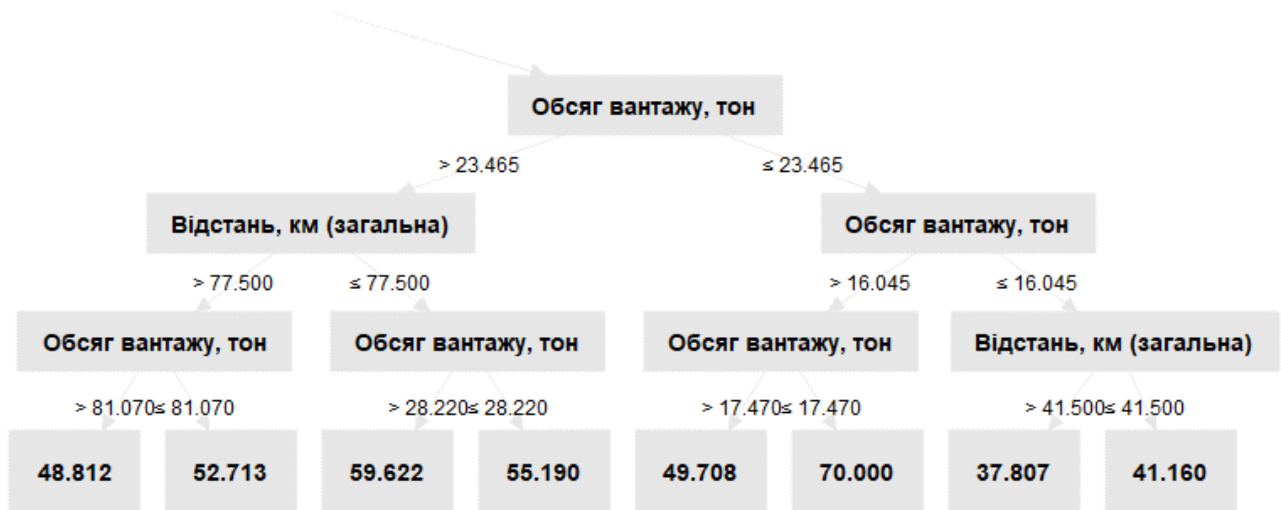


Рисунок Д.11 – Модель RF (Random Forest) випадкового лісу для прогнозування витрат пального транспортними засобами DAF XF 105.460 під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

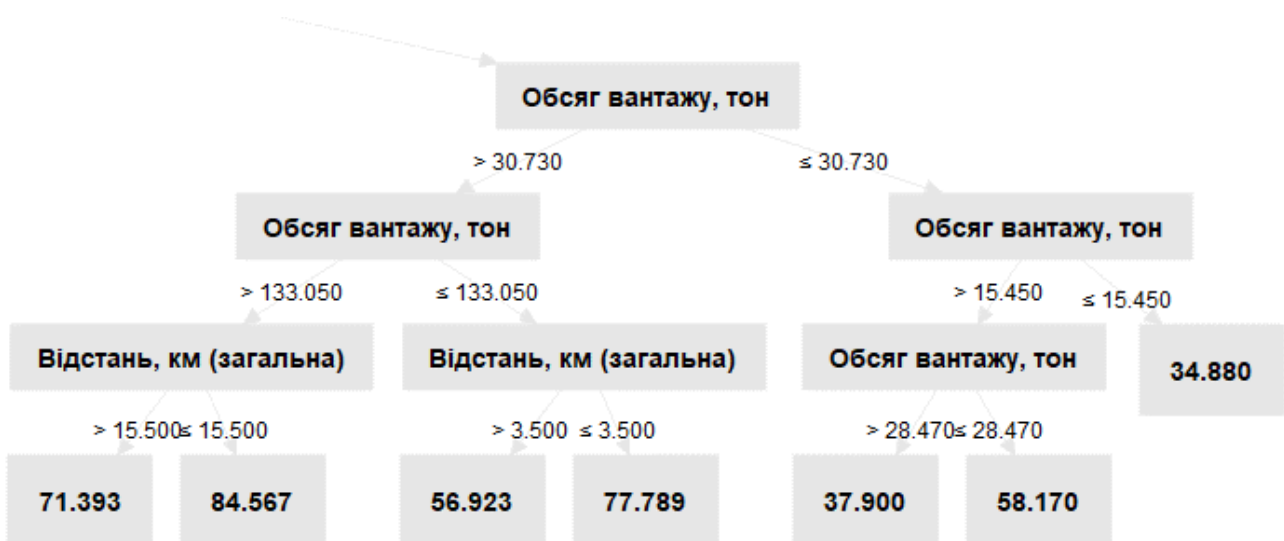


Рисунок Д.12 – Модель RF (Random Forest) випадкового лісу для прогнозування витрат пального транспортними засобами DAF XF95.480 під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

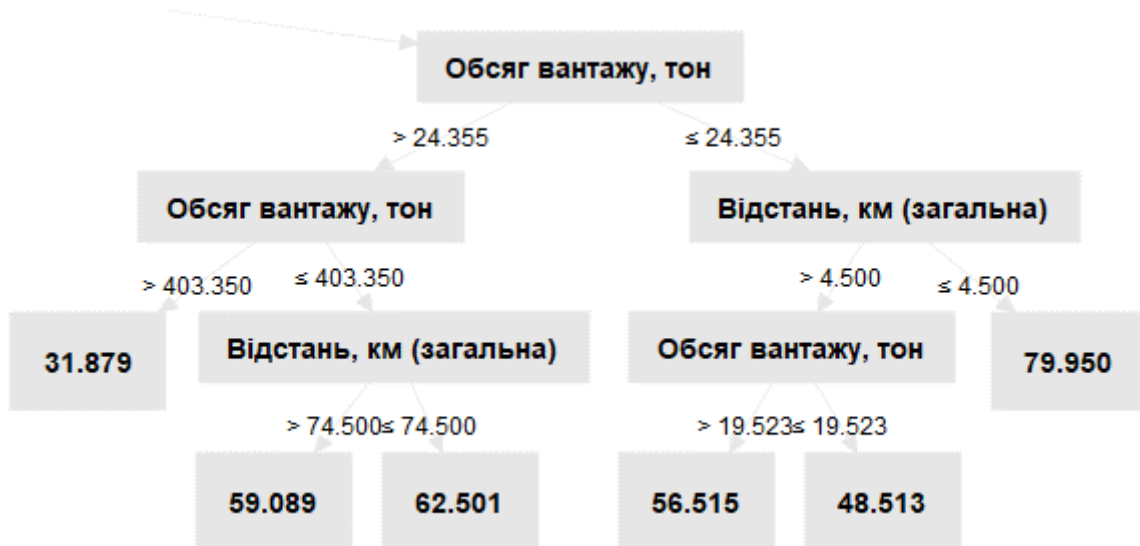


Рисунок Д.13 – Модель RF (Random Forest) випадкового лісу для прогнозування витрат пального транспортними засобами КАМАЗ 45143-012-15 під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

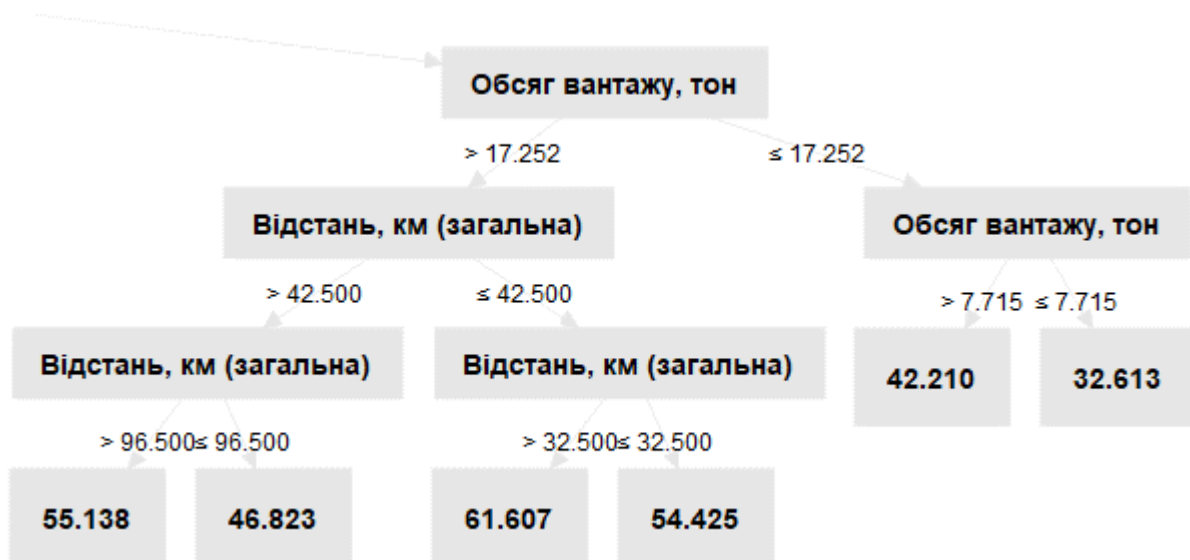


Рисунок Д.14 – Модель RF (Random Forest) випадкового лісу для прогнозування витрат пального транспортними засобами МАЗ 543205-020 під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Додаток Е

**Результати прогнозування витрат палива транспортними засобами під час
доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до
елеватора**

Таблиця Е.1 – Результати використання моделі Random Forest для прогнозування
витрат пального транспортними засобами DAF FT XF 105 під час доставки
зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Відстань, км (загальна)	Обсяг вантажу, тон	Витрати ДП, літрів/100км
1	2	3
1	1	27,26
1	10	30,95
1	20	44,06
1	30	49,76
1	40	49,76
1	50	49,76
1	100	49,76
1	150	49,48
1	200	56,58
1	250	56,58
1	300	56,58
1	350	56,58
1	400	56,58
1	450	56,58
1	500	56,58
50	1	25,9
50	10	29,59
50	20	42,72
50	30	47,45
50	40	47,45
50	50	47,45
50	100	47,45
50	150	47,45
50	200	47,45
50	250	47,45
50	300	47,45
50	350	47,45
50	400	47,45
50	450	47,45

Продовження таблиці Е.1

1	2	3
50	500	47,45
100	1	25,9
100	10	29,59
100	20	42,72
100	30	46,19
100	40	46,19
100	50	46,19
100	100	46,19
100	150	46,19
100	200	46,19
100	250	46,19
100	300	46,19
100	350	46,19
100	400	46,19
100	450	46,19
100	500	46,19
150	1	25,9
150	10	29,59
150	20	42,72
150	30	45,14
150	40	45,14
150	50	45,14
150	100	45,14
150	150	45,14
150	200	45,14
150	250	45,14
150	300	45,14
150	350	45,14
150	400	45,14
150	450	45,14
150	500	45,14
200	1	25,9
200	10	29,59
200	20	42,72
200	30	44,3
200	40	44,3
200	50	44,3
200	100	44,3
200	150	44,3
200	200	44,3
200	250	44,3

Продовження таблиці Е.1

1	2	3
200	300	44,3
200	350	44,3
200	400	44,3
200	450	44,3
200	500	44,3
250	1	25,9
250	10	29,59
250	20	42,72
250	30	44,3
250	40	44,3
250	50	44,3
250	100	44,3
250	150	44,3
250	200	44,3
250	250	44,3
250	300	44,3
250	350	44,3
250	400	44,3
250	450	44,3
250	500	44,3
300	1	25,9
300	10	29,59
300	20	42,16
300	30	44,3
300	40	44,3
300	50	44,3
300	100	44,3
300	150	44,3
300	200	44,3
300	250	44,3
300	300	44,3
300	350	44,3
300	400	44,3
300	450	44,3
300	500	44,3
350	1	25,9
350	10	29,59
350	20	42,16
350	30	44,3
350	40	44,3
350	50	44,3

Продовження таблиці Е.1

1	2	3
350	100	44,3
350	150	44,3
350	200	44,3
350	250	44,3
350	300	44,3
350	350	44,3
350	400	44,3
350	450	44,3
350	500	44,3
400	1	25,9
400	10	29,59
400	20	41,02
400	30	44,3
400	40	44,3
400	50	44,3
400	100	44,3
400	150	44,3
400	200	44,3
400	250	44,3
400	300	44,3
400	350	44,3
400	400	44,3
400	450	44,3
400	500	44,3
450	1	25,9
450	10	29,59
450	20	41,02
450	30	44,3
450	40	44,3
450	50	44,3
450	100	44,3
450	150	44,3
450	200	44,3
450	250	44,3
450	300	44,3
450	350	44,3
450	400	44,3
450	450	44,3
450	500	44,3
500	1	25,9
500	10	29,59

Продовження таблиці Е.1

1	2	3
500	20	41,03
500	30	44,3
500	40	44,3
500	50	44,3
500	100	44,3
500	150	44,3
500	200	44,3
500	250	44,3
500	300	44,3
500	350	44,3
500	400	44,3
500	450	44,3
500	500	44,3

Додаток Ж

Результати моделювання використання транспортних засобів під час виконання замовлень із доставки зернових культур

Таблиця Ж.1 – Результати моделювання для транспортного засобу DAF FT XF 105 під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

№	Agr_ (No.)	Vehicle (mark)	Distance (km)	Cargo_ volume (ton)	Cargo_ circulation (ton.km)	Spec_fuel (liters/100km)	Total_ fuel (liters)	Cost (UAH/ km)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	5	DAF_FT_XF_105	50	5	250	25,8	12,9	14,2
2	3	DAF_FT_XF_105	30	5	150	26,1	7,8	14,3
3	4	DAF_FT_XF_105	40	5	200	26,1	10,4	14,3
4	2	DAF_FT_XF_105	20	5	100	27,3	5,5	15,1
5	1	DAF_FT_XF_105	10	5	50	31,2	3,1	17
6	2	DAF_FT_XF_105	70	5	350	25,3	17,7	13,9
7	1	DAF_FT_XF_105	60	5	300	26	15,6	14,3
8	3	DAF_FT_XF_105	80	5	400	26	20,8	14,3
9	4	DAF_FT_XF_105	90	5	450	26	23,4	14,3
10	5	DAF_FT_XF_105	100	5	500	26	26	14,3
11	1	DAF_FT_XF_105	60	7,5	450	31,4	18,9	17,3
12	2	DAF_FT_XF_105	70	7,5	525	31,7	22,2	17,4
13	3	DAF_FT_XF_105	80	7,5	600	31,6	25,3	17,4
14	5	DAF_FT_XF_105	100	7,5	750	31,8	31,8	17,5
15	4	DAF_FT_XF_105	90	7,5	675	32,2	29	17,7
16	4	DAF_FT_XF_105	40	7,5	300	31,5	12,6	17,3
17	5	DAF_FT_XF_105	50	7,5	375	31,5	15,7	17,3
18	3	DAF_FT_XF_105	30	7,5	225	31,6	9,5	17,4
19	1	DAF_FT_XF_105	10	7,5	75	31,8	3,2	17,6
20	2	DAF_FT_XF_105	20	7,5	150	32,4	6,5	17,9
21	1	DAF_FT_XF_105	10	10	100	29,5	2,9	16
22	4	DAF_FT_XF_105	40	10	400	29,6	11,8	16,2
23	3	DAF_FT_XF_105	30	10	300	29,8	8,9	16,3
24	5	DAF_FT_XF_105	50	10	500	29,6	14,8	16,3
25	2	DAF_FT_XF_105	20	10	200	30,3	6,1	16,8
26	1	DAF_FT_XF_105	60	10	600	29,6	17,8	16,3
27	3	DAF_FT_XF_105	80	10	800	30,8	24,6	16,9
28	2	DAF_FT_XF_105	70	10	700	31	21,7	17
29	5	DAF_FT_XF_105	100	10	1000	31	31	17
30	4	DAF_FT_XF_105	90	10	900	31,9	28,7	17,5
31	5	DAF_FT_XF_105	50	12,5	625	37,7	18,9	20,8
32	3	DAF_FT_XF_105	30	12,5	375	39,3	11,8	21,6

Продовження таблиці Ж.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
33	1	DAF_FT_XF_105	10	12,5	125	39,7	4	22
34	2	DAF_FT_XF_105	20	12,5	250	40,8	8,2	22,5
35	4	DAF_FT_XF_105	40	12,5	500	41	16,4	22,5
36	5	DAF_FT_XF_105	100	12,5	1250	32,3	32,3	17,8
37	4	DAF_FT_XF_105	90	12,5	1125	33,1	29,8	18,2
38	3	DAF_FT_XF_105	80	12,5	1000	33,8	27	18,6
39	1	DAF_FT_XF_105	60	12,5	750	34	20,4	18,7
40	2	DAF_FT_XF_105	70	12,5	875	34,1	23,9	18,8
41	5	DAF_FT_XF_105	50	15	750	31,1	15,5	17
42	3	DAF_FT_XF_105	30	15	450	32,8	9,8	18
43	1	DAF_FT_XF_105	10	15	150	33,5	3,3	18,2
44	4	DAF_FT_XF_105	40	15	600	33,3	13,3	18,3
45	2	DAF_FT_XF_105	20	15	300	36,5	7,3	20,1
46	5	DAF_FT_XF_105	100	15	1500	33,2	33,2	18,3
47	1	DAF_FT_XF_105	60	15	900	34,2	20,5	18,8
48	4	DAF_FT_XF_105	90	15	1350	34,9	31,4	19,2
49	2	DAF_FT_XF_105	70	15	1050	35,5	24,8	19,5
50	3	DAF_FT_XF_105	80	15	1200	35,5	28,4	19,5
51	5	DAF_FT_XF_105	50	17,5	875	36,9	18,4	20,2
52	3	DAF_FT_XF_105	30	17,5	525	39,5	11,9	21,8
53	1	DAF_FT_XF_105	10	17,5	175	40,4	4	22
54	4	DAF_FT_XF_105	40	17,5	700	40,3	16,1	22,1
55	2	DAF_FT_XF_105	20	17,5	350	42	8,4	23,1
56	5	DAF_FT_XF_105	100	17,5	1750	34,1	34,1	18,8
57	4	DAF_FT_XF_105	90	17,5	1575	34,6	31,1	19
58	3	DAF_FT_XF_105	80	17,5	1400	36,8	29,4	20,2
59	2	DAF_FT_XF_105	70	17,5	1225	37	25,9	20,4
60	1	DAF_FT_XF_105	60	17,5	1050	38	22,8	20,9
61	1	DAF_FT_XF_105	10	20	200	39,7	4	22
62	5	DAF_FT_XF_105	50	20	1000	40,7	20,3	22,3
63	2	DAF_FT_XF_105	20	20	400	41	8,2	22,5
64	3	DAF_FT_XF_105	30	20	600	41,4	12,4	22,7
65	4	DAF_FT_XF_105	40	20	800	41,1	16,5	22,7
66	4	DAF_FT_XF_105	90	20	1800	39,1	35,2	21,5
67	3	DAF_FT_XF_105	80	20	1600	39,9	31,9	21,9
68	5	DAF_FT_XF_105	100	20	2000	39,8	39,8	21,9
69	2	DAF_FT_XF_105	70	20	1400	39,9	28	22
70	1	DAF_FT_XF_105	60	20	1200	41,3	24,8	22,7
71	5	DAF_FT_XF_105	50	22,5	1125	42,3	21,1	23,2
72	2	DAF_FT_XF_105	20	22,5	450	42,7	8,5	23,4
73	3	DAF_FT_XF_105	30	22,5	675	42,7	12,8	23,5
74	4	DAF_FT_XF_105	40	22,5	900	42,7	17,1	23,5
75	1	DAF_FT_XF_105	10	22,5	225	42,9	4,3	23,6
76	4	DAF_FT_XF_105	90	22,5	2025	40	36	22

Продовження таблиці Ж.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
77	3	DAF_FT_XF_105	80	22,5	1800	41,5	33,2	22,8
78	2	DAF_FT_XF_105	70	22,5	1575	43,1	30,1	23,6
79	5	DAF_FT_XF_105	100	22,5	2250	44,5	44,5	24,5
80	1	DAF_FT_XF_105	60	22,5	1350	49,6	29,8	27,3

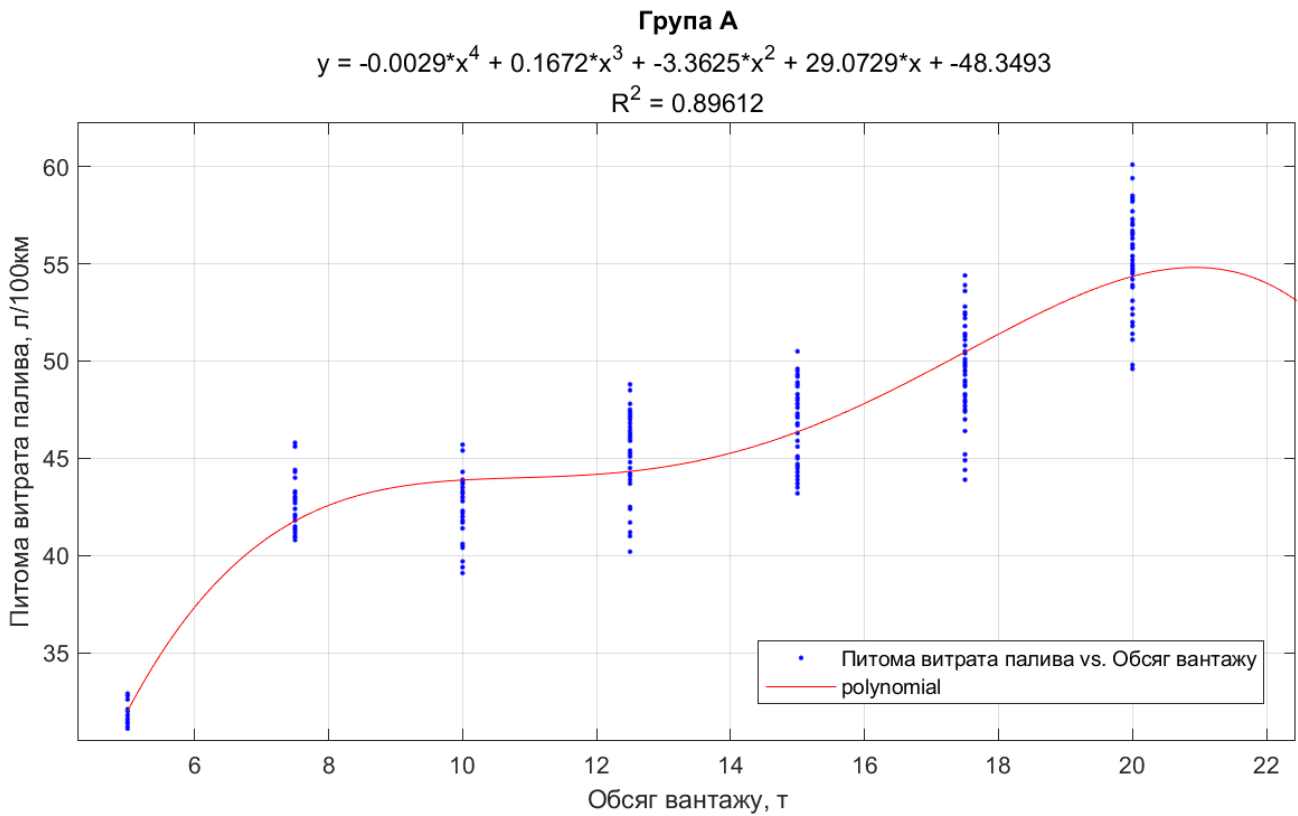


Рисунок Ж.1 – Залежність питомих витрат палива транспортними засобами групи А від обсягу вантажу під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

```

Linear model Poly4:
  f(x) = p1*x^4 + p2*x^3 + p3*x^2 + p4*x + p5
Coefficients (with 95% confidence bounds):
  p1 =   -0.002947  (-0.003331, -0.002563)
  p2 =    0.1672   (0.146, 0.1884)
  p3 =   -3.362   (-3.773, -2.952)
  p4 =    29.07   (25.8, 32.34)
  p5 =   -48.35  (-57.19, -39.5)
Goodness of fit:
  SSE: 2080
  R-square: 0.8961
  Adjusted R-square: 0.8951
  RMSE: 2.295

```

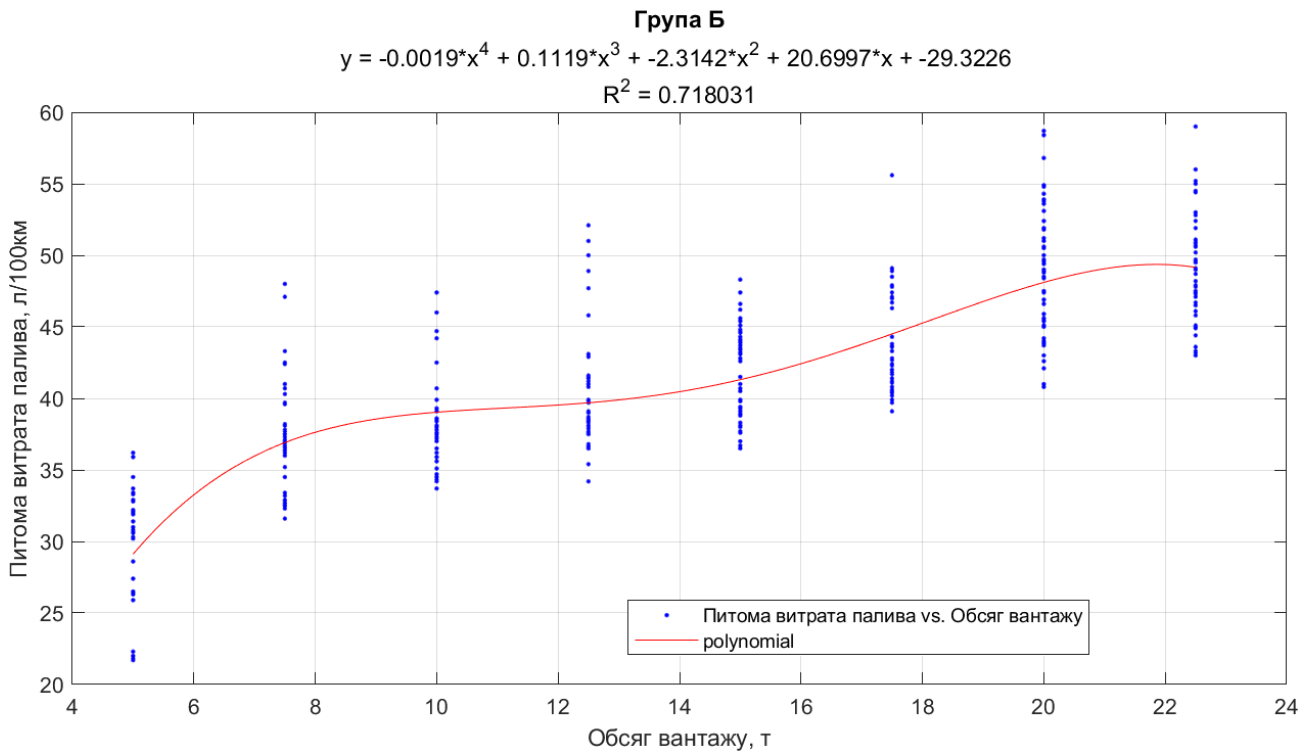


Рисунок Ж.2 – Залежність питомих витрат палива транспортними засобами групи Б від обсягу вантажу під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Linear model Poly4:

$$f(x) = p1*x^4 + p2*x^3 + p3*x^2 + p4*x + p5$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

p1 =	-0.001914	(-0.002552, -0.001275)
p2 =	0.1119	(0.07669, 0.1471)
p3 =	-2.314	(-2.997, -1.631)
p4 =	20.7	(15.26, 26.14)
p5 =	-29.32	(-44.03, -14.61)

Goodness of fit:

SSE: 5753

R-square: 0.718

Adjusted R-square: 0.7152

RMSE: 3.816

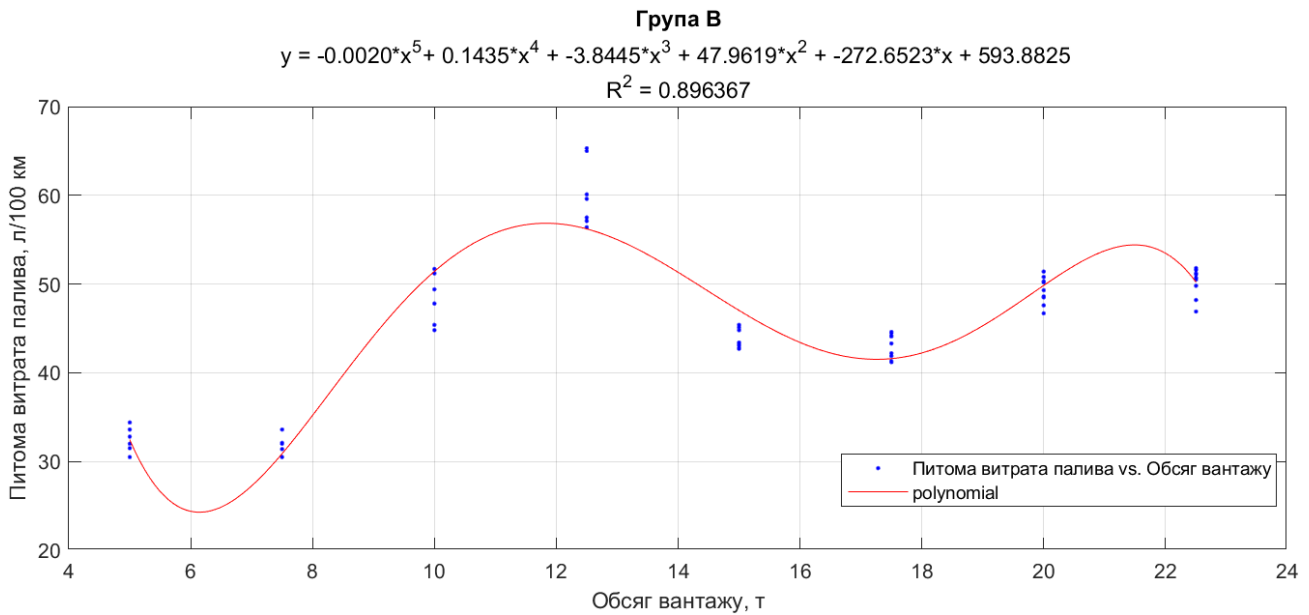


Рисунок Ж.3 – Залежність питомих витрат палива транспортними засобами групи В від обсягу вантажу під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Linear model Poly5:

$$f(x) = p1*x^5 + p2*x^4 + p3*x^3 + p4*x^2 + p5*x + p6$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

p1 =	-0.002024	(-0.002317, -0.00173)
p2 =	0.1435	(0.1233, 0.1637)
p3 =	-3.845	(-4.374, -3.315)
p4 =	47.96	(41.42, 54.51)
p5 =	-272.7	(-310.5, -234.9)
p6 =	593.9	(513.3, 674.5)

Goodness of fit:

SSE: 682

R-square: 0.8964

Adjusted R-square: 0.8894

RMSE: 3.036

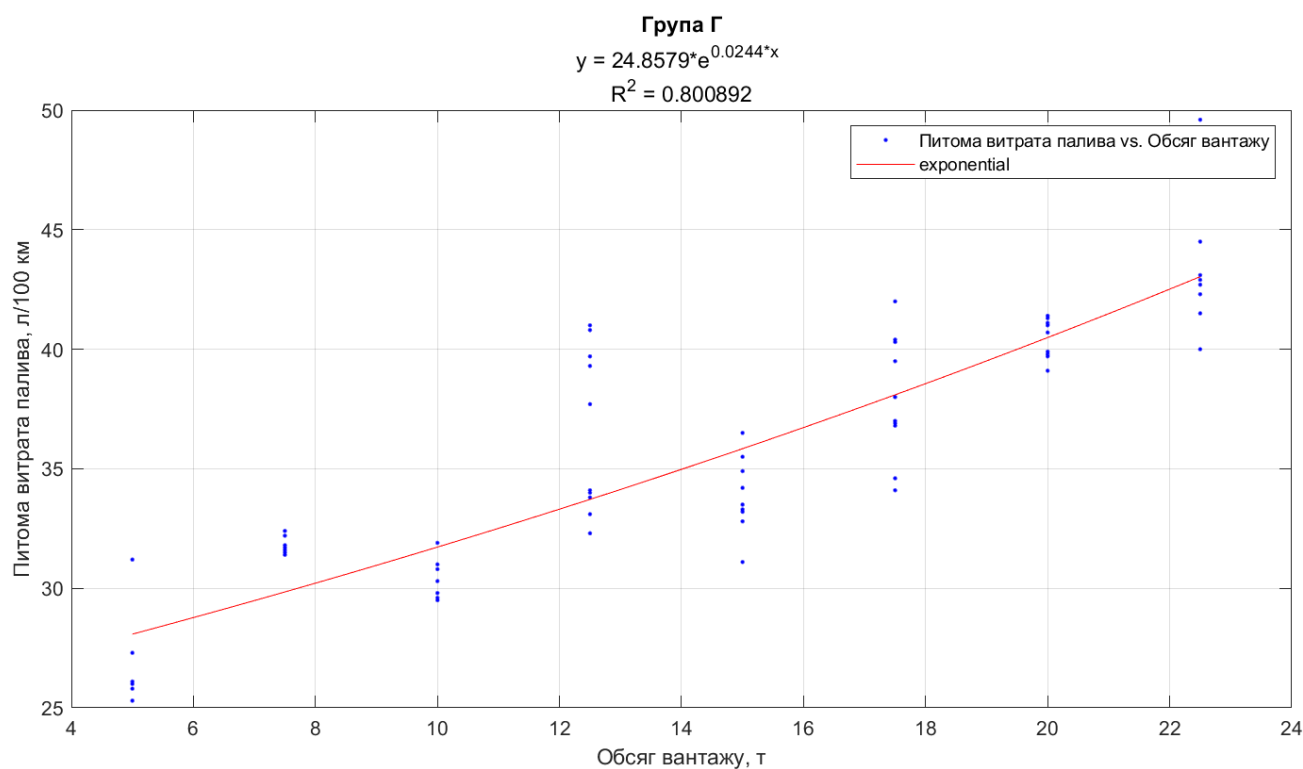


Рисунок Ж.4 – Залежність питомих витрат палива транспортними засобами групи Г від обсягу вантажу під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

General model Expl:

$$f(x) = a * \exp(b * x)$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

a = 24.86 (23.73, 25.99)

b = 0.02439 (0.02161, 0.02717)

Goodness of fit:

SSE: 478.6

R-square: 0.8009

Adjusted R-square: 0.7983

RMSE: 2.477

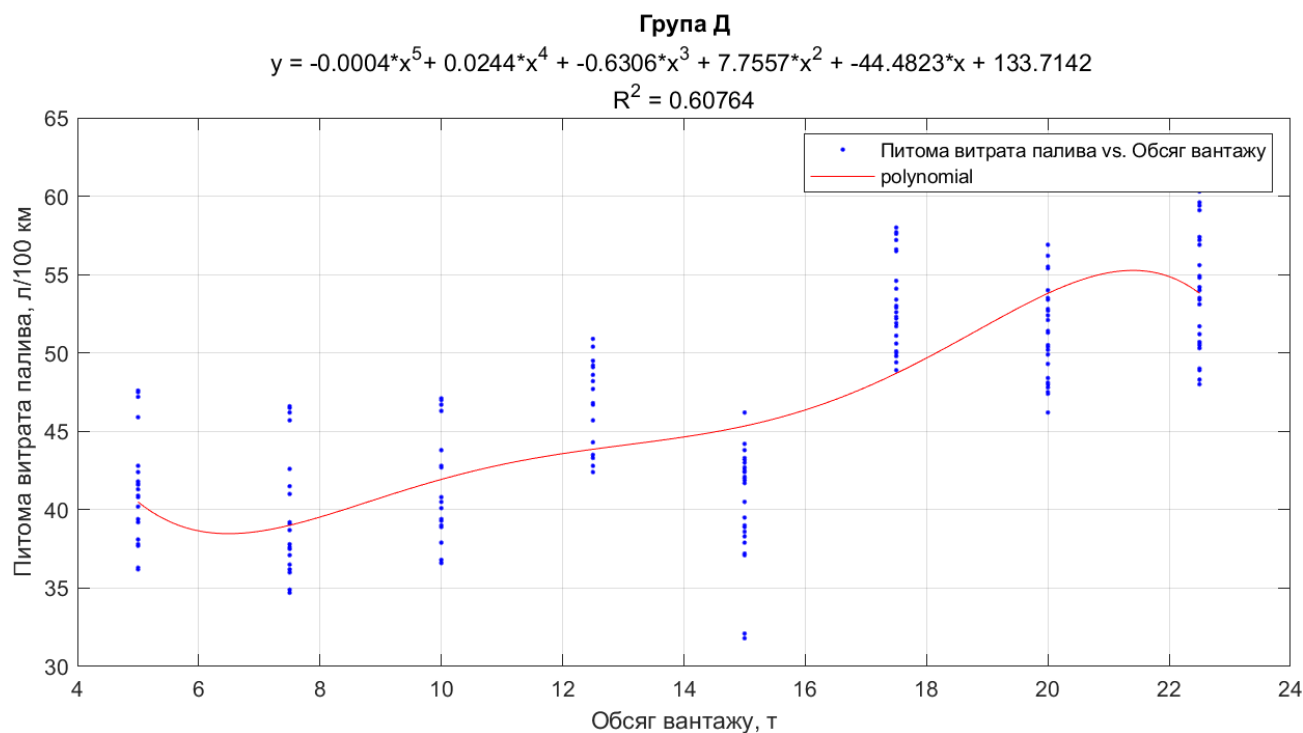


Рисунок Ж.5 – Залежність питомих витрат палива транспортними засобами групи Д від обсягу вантажу під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Linear model Poly5:

$$f(x) = p1*x^5 + p2*x^4 + p3*x^3 + p4*x^2 + p5*x + p6$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$p1 = -0.0003606 \quad (-0.0006011, -0.0001201)$$

$$p2 = 0.02441 \quad (0.007851, 0.04097)$$

$$p3 = -0.6306 \quad (-1.065, -0.1966)$$

$$p4 = 7.756 \quad (2.389, 13.12)$$

$$p5 = -44.48 \quad (-75.47, -13.5)$$

$$p6 = 133.7 \quad (67.66, 199.8)$$

Goodness of fit:

SSE: 4447

R-square: 0.6076

Adjusted R-square: 0.5993

RMSE: 4.359

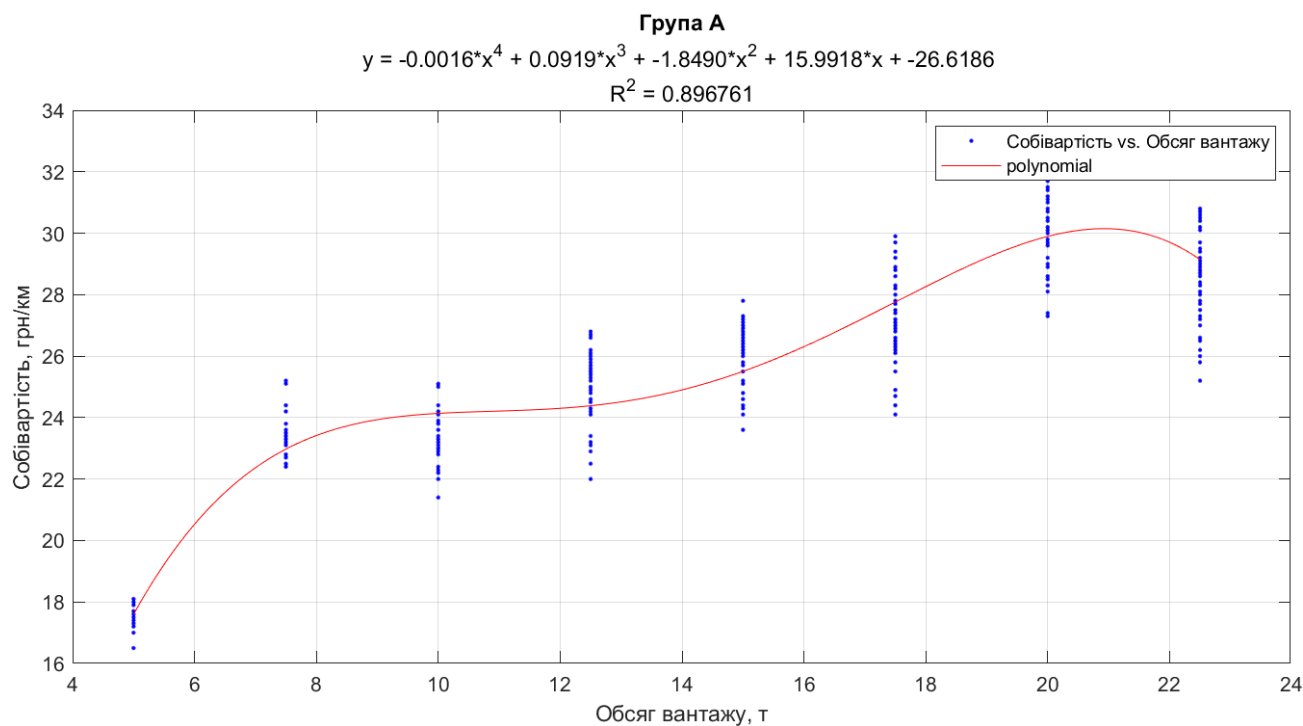


Рисунок Ж.6 – Залежність собівартості 1 км виконаного замовлення транспортними засобами групи А від обсягу вантажу під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Linear model Poly4:

$$f(x) = p1*x^4 + p2*x^3 + p3*x^2 + p4*x + p5$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

p1 =	-0.00162	(-0.001831, -0.00141)
p2 =	0.09194	(0.08032, 0.1036)
p3 =	-1.849	(-2.074, -1.624)
p4 =	15.99	(14.2, 17.79)
p5 =	-26.62	(-31.47, -21.77)

Goodness of fit:

SSE: 626.2

R-square: 0.8968

Adjusted R-square: 0.8957

RMSE: 1.259

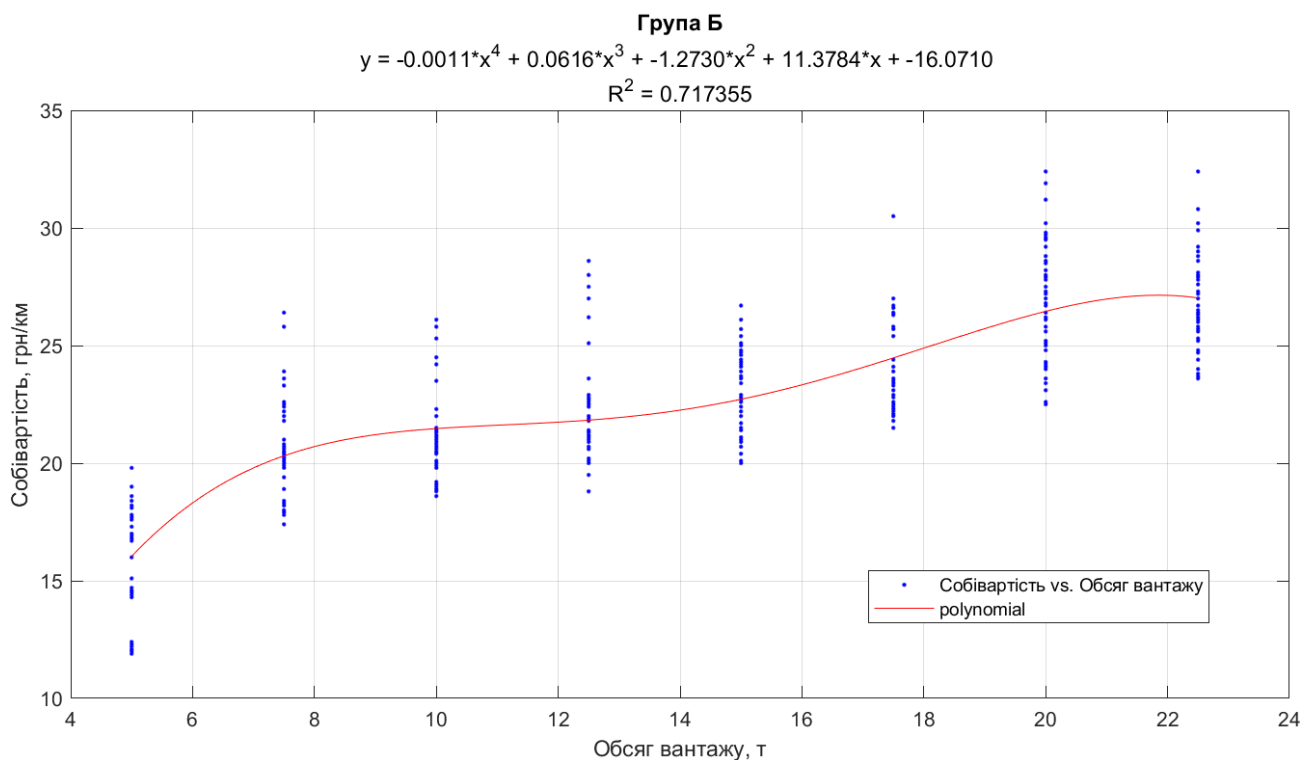


Рисунок Ж.7 – Залежність собівартості 1 км виконаного замовлення транспортними засобами групи Б від обсягу вантажу під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Linear model Poly4:

$$f(x) = p1*x^4 + p2*x^3 + p3*x^2 + p4*x + p5$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

p1 =	-0.001054	(-0.001405, -0.0007032)
p2 =	0.0616	(0.04225, 0.08094)
p3 =	-1.273	(-1.648, -0.8978)
p4 =	11.38	(8.392, 14.36)
p5 =	-16.07	(-24.15, -7.991)

Goodness of fit:

SSE: 1736

R-square: 0.7174

Adjusted R-square: 0.7145

RMSE: 2.096

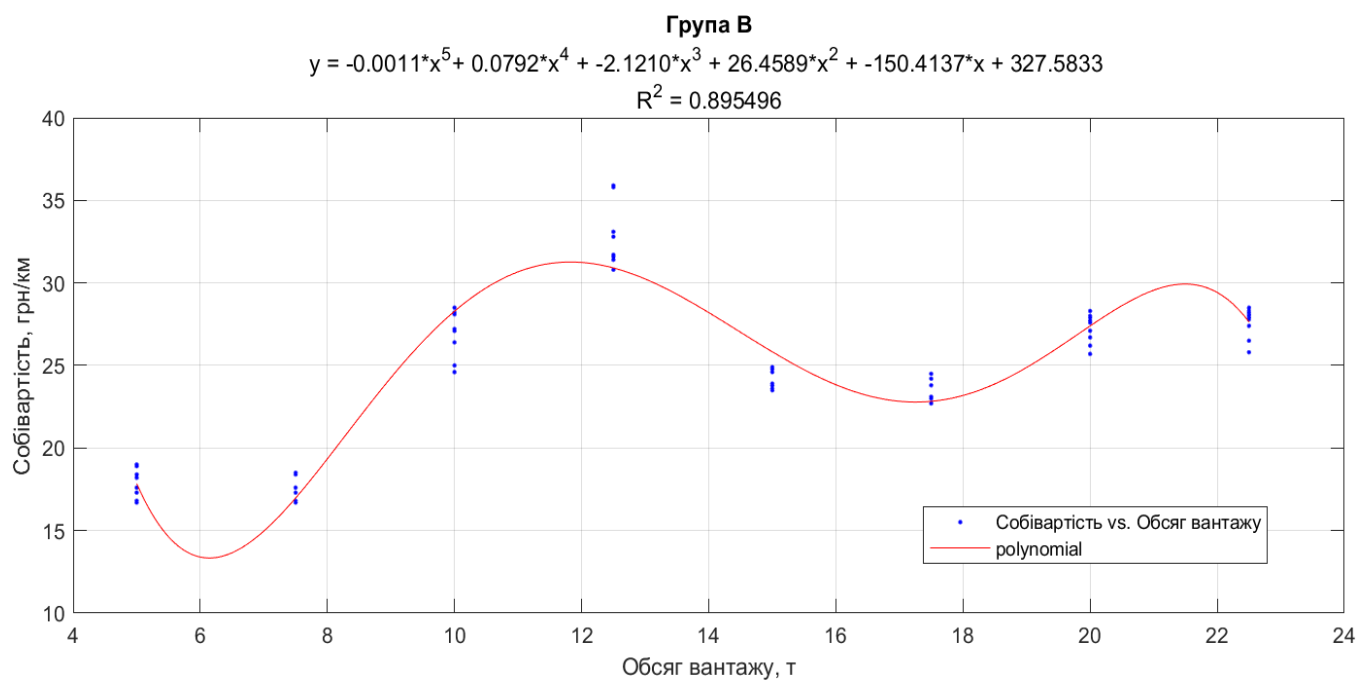


Рисунок Ж.8 – Залежність собівартості 1 км виконаного замовлення транспортними засобами групи В від обсягу вантажу під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Linear model Poly5:

$$f(x) = p1*x^5 + p2*x^4 + p3*x^3 + p4*x^2 + p5*x + p6$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

p1 =	-0.001116	(-0.001279, -0.0009543)
p2 =	0.07916	(0.06798, 0.09033)
p3 =	-2.121	(-2.414, -1.828)
p4 =	26.46	(22.84, 30.08)
p5 =	-150.4	(-171.3, -129.5)
p6 =	327.6	(283, 372.1)

Goodness of fit:

SSE: 208.5

R-square: 0.8955

Adjusted R-square: 0.8884

RMSE: 1.679

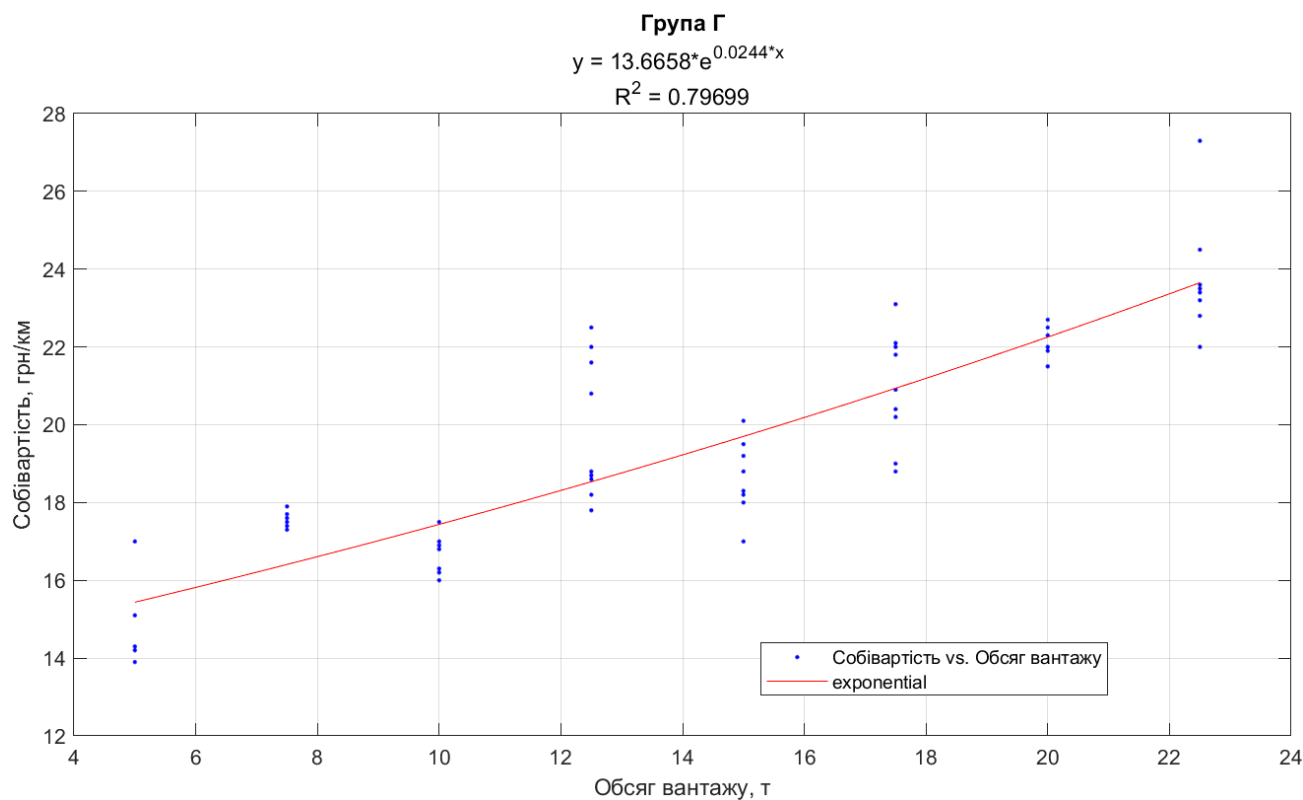


Рисунок Ж.9 – Залежність собівартості 1 км виконаного замовлення транспортними засобами групи Г від обсягу вантажу під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

General model Exp1:
 $f(x) = a * \exp(b * x)$
Coefficients (with 95% confidence bounds):
a = 13.67 (13.04, 14.29)
b = 0.02438 (0.02157, 0.0272)

Goodness of fit:
SSE: 148
R-square: 0.797
Adjusted R-square: 0.7944
RMSE: 1.378

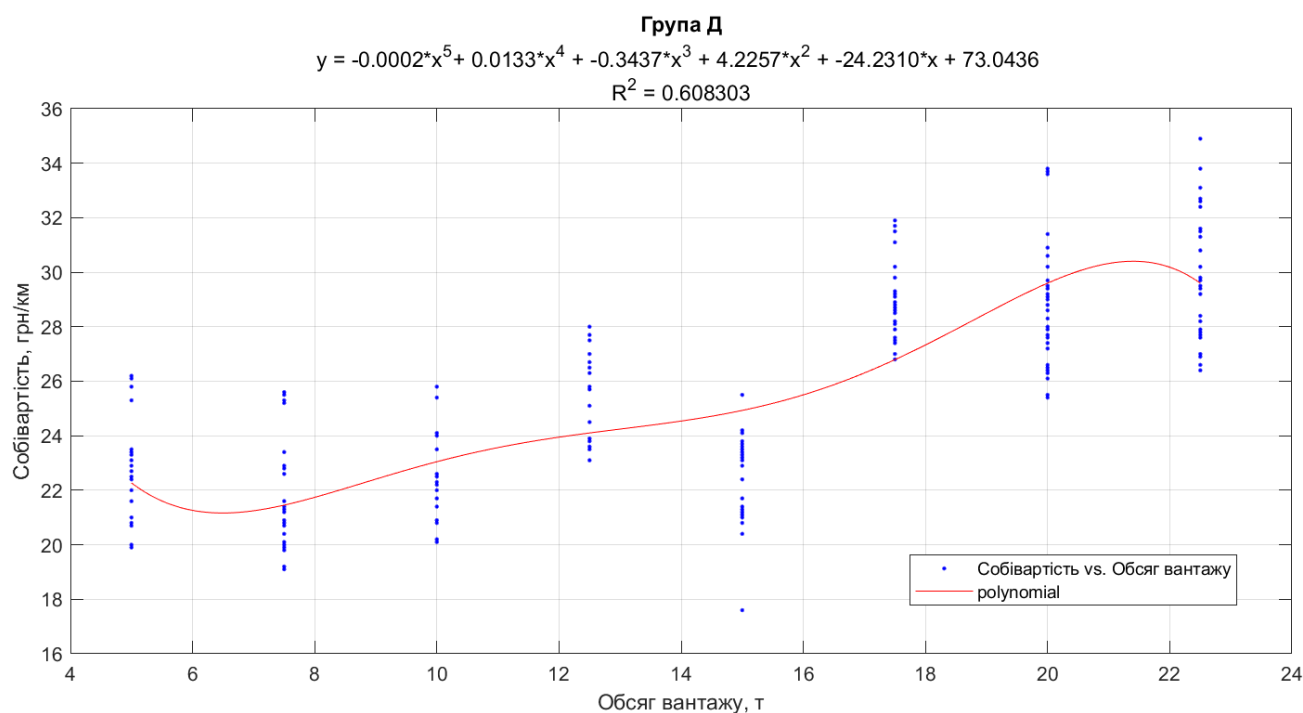


Рисунок Ж.10 – Залежність собівартості 1 км виконаного замовлення транспортними засобами групи Д від обсягу вантажу під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Linear model Poly5:

$$f(x) = p1*x^5 + p2*x^4 + p3*x^3 + p4*x^2 + p5*x + p6$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

p1 =	-0.0001968	(-0.0003292, -6.445e-05)
p2 =	0.01332	(0.004201, 0.02243)
p3 =	-0.3437	(-0.5826, -0.1048)
p4 =	4.226	(1.272, 7.179)
p5 =	-24.23	(-41.28, -7.178)
p6 =	73.04	(36.69, 109.4)

Goodness of fit:

SSE: 1347

R-square: 0.6083

Adjusted R-square: 0.5999

RMSE: 2.399

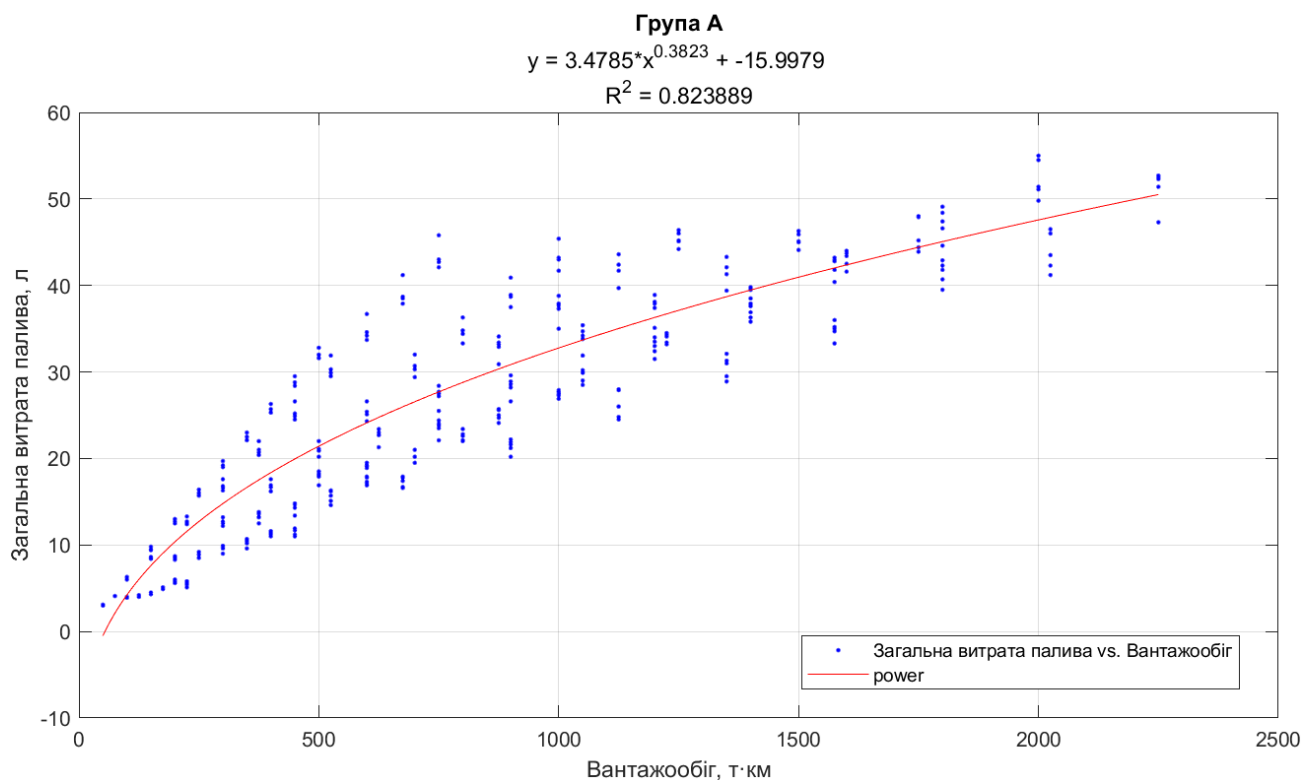


Рисунок Ж.11 – Залежність загальних витрат палива транспортними засобами групи А від вантажообігу під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

General model Power2:

$$f(x) = a \cdot x^b + c$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

a =	3.479	(0.3033, 6.654)
b =	0.3823	(0.2809, 0.4836)
c =	-16	(-26.25, -5.744)

Goodness of fit:

SSE: 1.273e+04

R-square: 0.8239

Adjusted R-square: 0.823

RMSE: 5.662

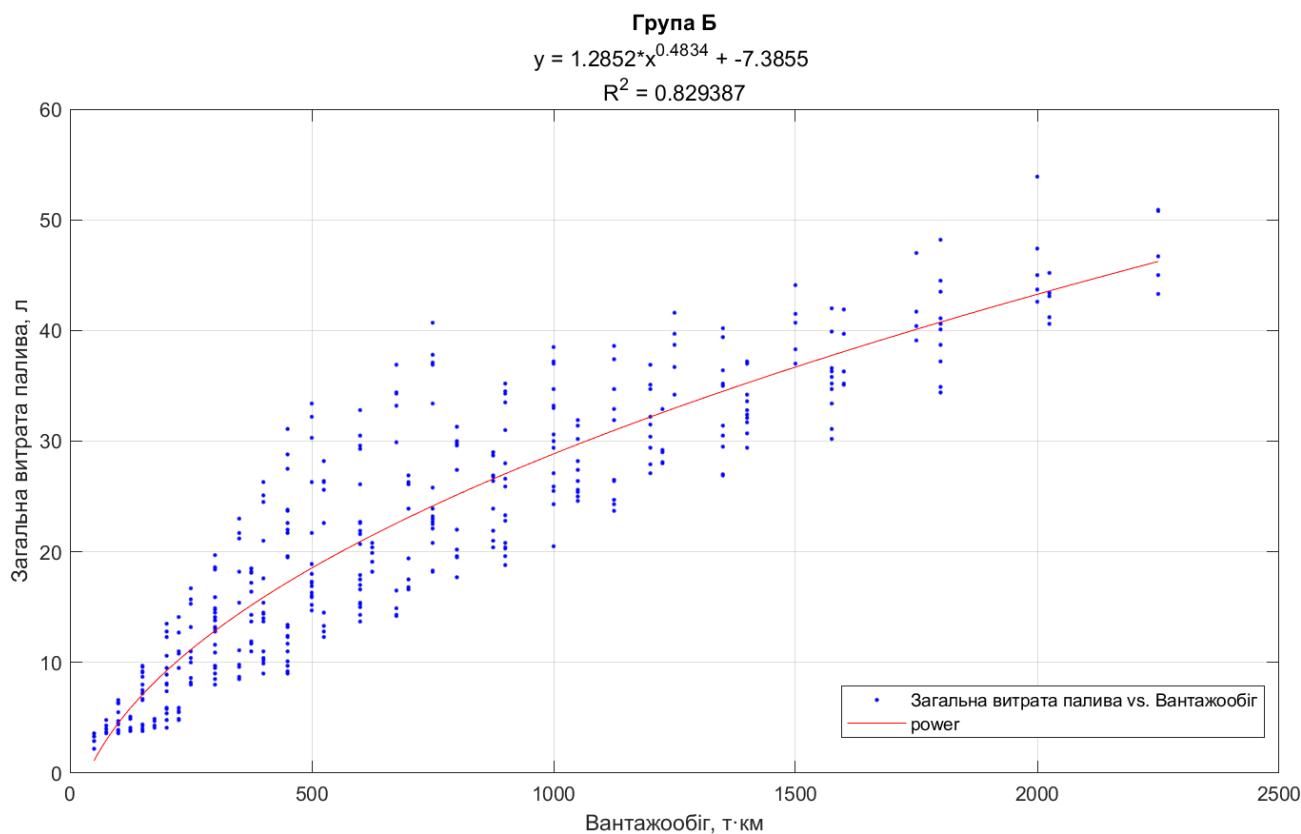


Рисунок Ж.12 – Залежність загальних витрат палива транспортними засобами групи Б від вантажообігу під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

General model Power2:

$$f(x) = a \cdot x^b + c$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

a =	1.285	(0.1533, 2.417)
b =	0.4834	(0.3801, 0.5866)
c =	-7.385	(-13.31, -1.458)

Goodness of fit:

SSE: 9781

R-square: 0.8294

Adjusted R-square: 0.8285

RMSE: 4.964

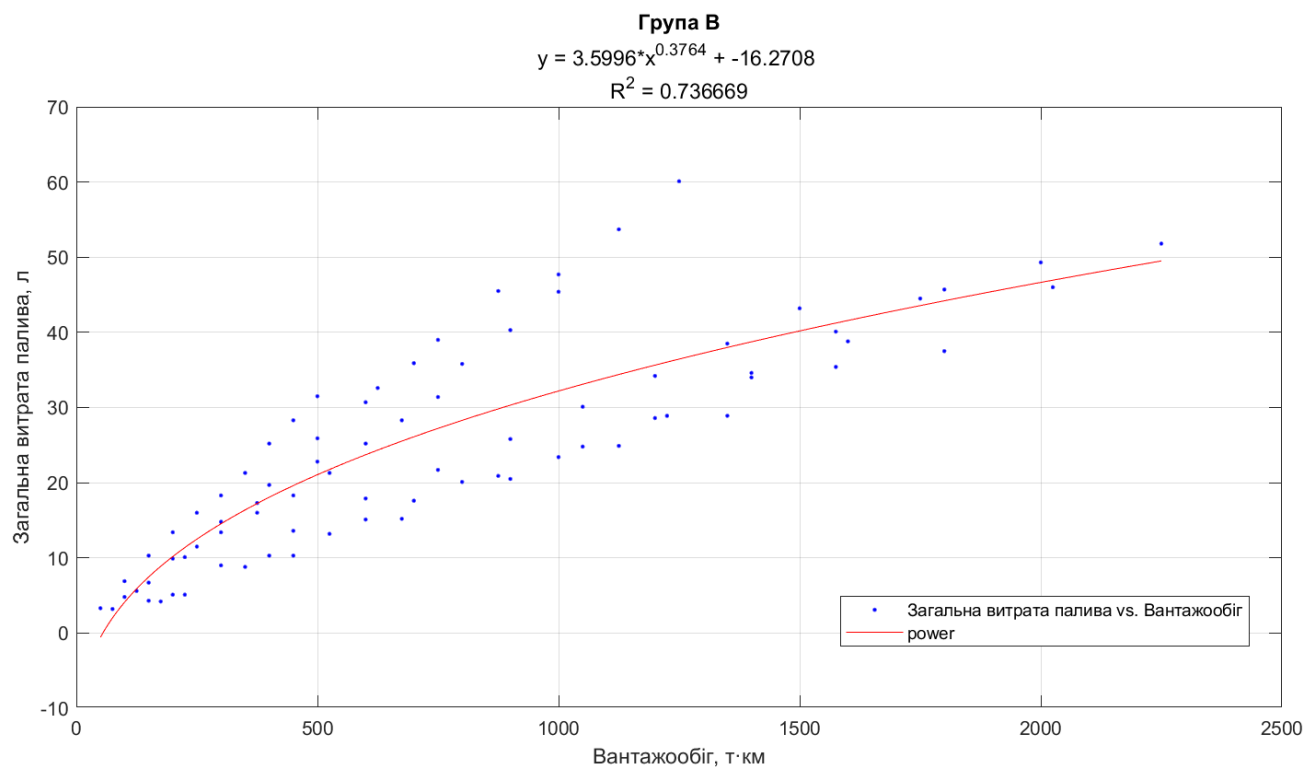


Рисунок Ж.13 – Залежність загальних витрат палива транспортними засобами групи В від вантажообігу під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

General model Power2:

$$f(x) = a * x^b + c$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

a =	3.6	(-6.191, 13.39)
b =	0.3764	(0.07564, 0.6772)
c =	-16.27	(-47.06, 14.51)

Goodness of fit:

SSE: 4101

R-square: 0.7367

Adjusted R-square: 0.7298

RMSE: 7.298

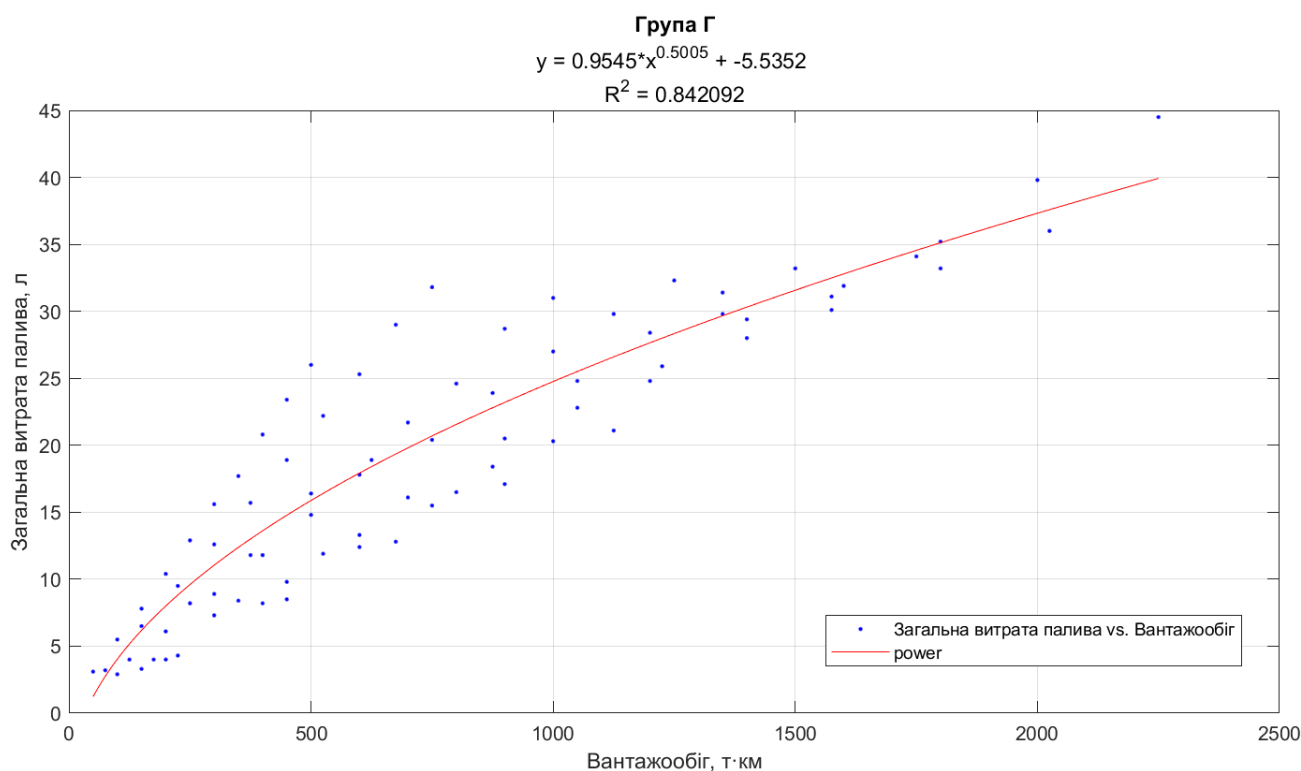


Рисунок Ж.14 – Залежність загальних витрат палива транспортними засобами групи Г від вантажообігу під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

General model Power2:

$$f(x) = a \cdot x^b + c$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

a =	0.9545	(-0.8906, 2.8)
b =	0.5005	(0.2723, 0.7288)
c =	-5.535	(-16.06, 4.99)

Goodness of fit:

SSE: 1316

R-square: 0.8421

Adjusted R-square: 0.838

RMSE: 4.134

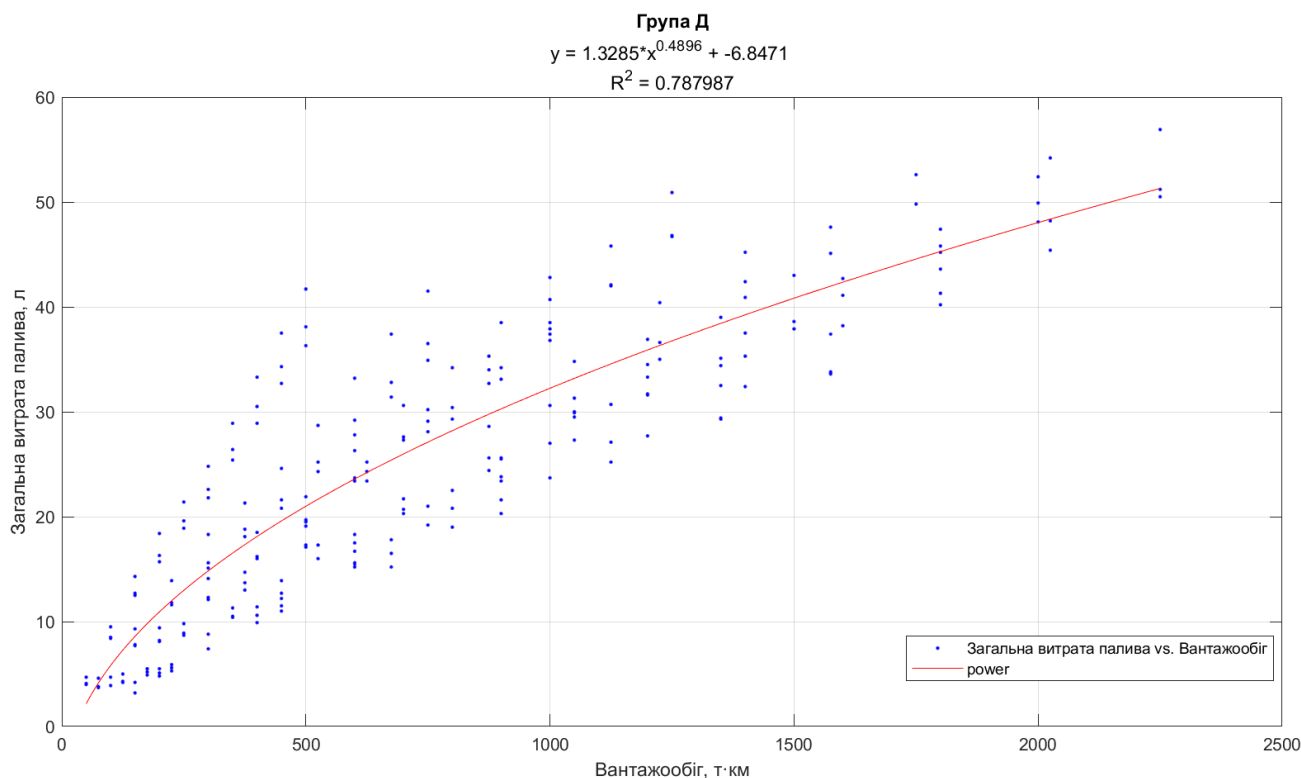


Рисунок Ж.15 – Залежність загальних витрат палива транспортними засобами групи Д від вантажообігу під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

General model Power2:

$$f(x) = a \cdot x^b + c$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

a =	1.328	(-0.4066, 3.064)
b =	0.4896	(0.336, 0.6431)
c =	-6.847	(-16.22, 2.522)

Goodness of fit:

SSE: 9113

R-square: 0.788

Adjusted R-square: 0.7862

RMSE: 6.201

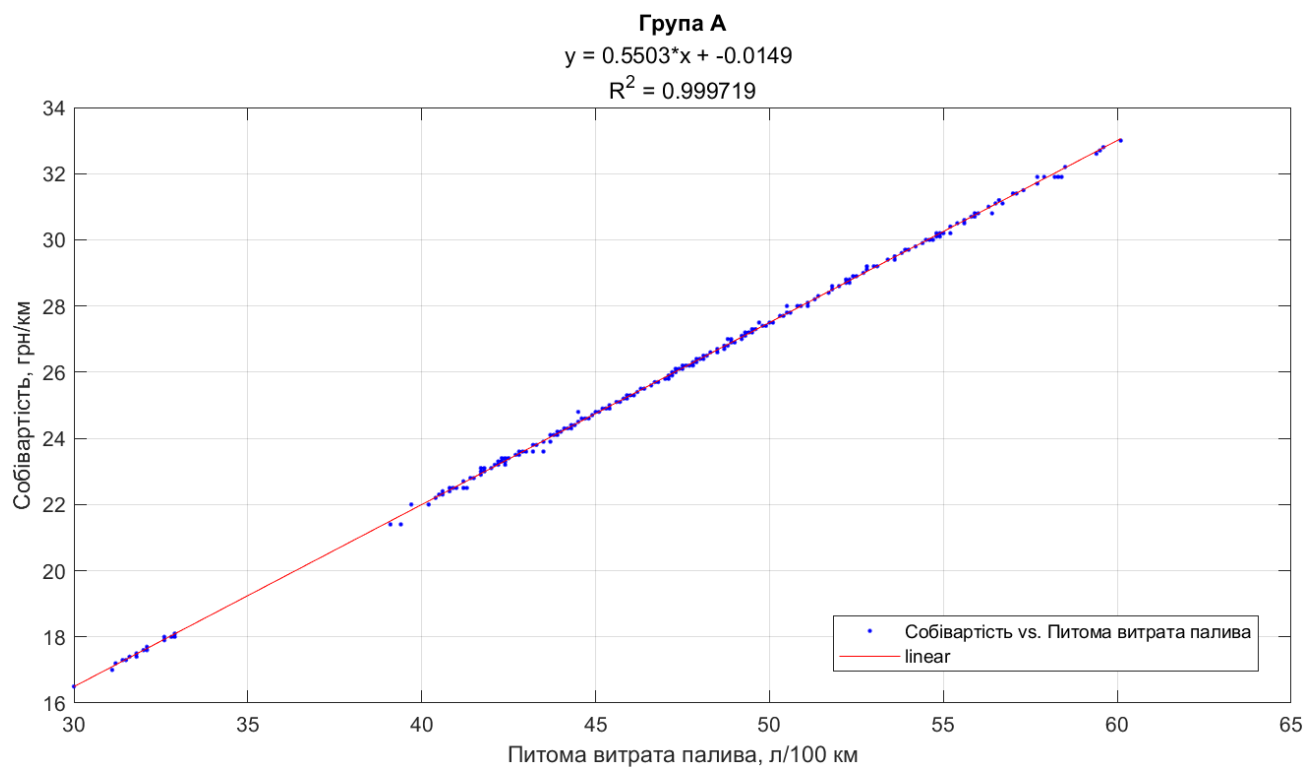


Рисунок Ж.16 – Залежність собівартості 1 км виконаного замовлення від питомих витрат палива транспортними засобами групи А під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

```
Linear model Poly1:
  f(x) = p1*x + p2
Coefficients (with 95% confidence bounds):
  p1 =      0.5503 (0.5494, 0.5512)
  p2 =     -0.01488 (-0.05701, 0.02726)
```

```
Goodness of fit:
SSE: 1.706
R-square: 0.9997
Adjusted R-square: 0.9997
RMSE: 0.06548
```

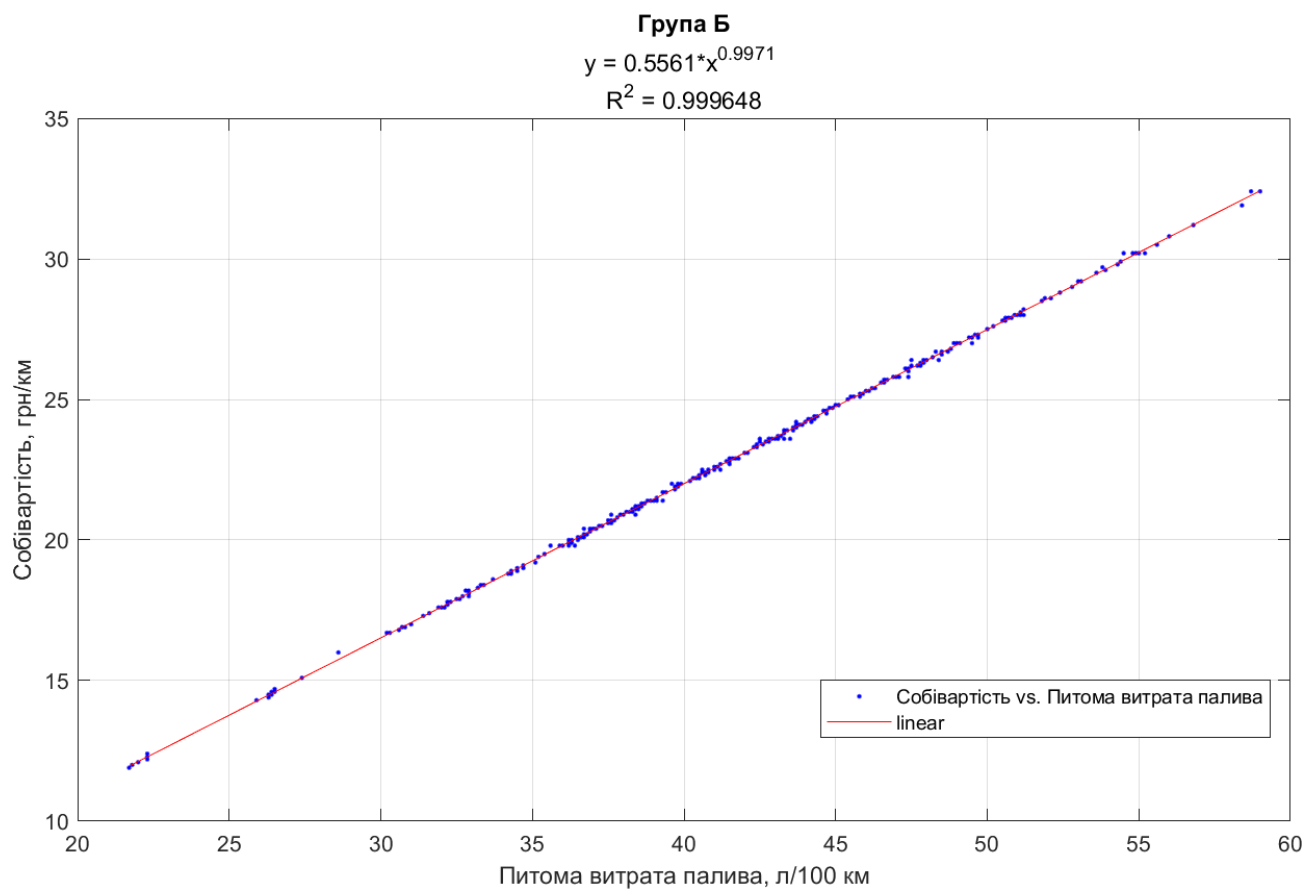


Рисунок Ж.17 – Залежність собівартості 1 км виконаного замовлення від питомих витрат палива транспортними засобами групи Б під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

General model Power1:

$$f(x) = a * x^b$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

a = 0.5561 (0.552, 0.5602)

b = 0.9971 (0.9951, 0.999)

Goodness of fit:

SSE: 2.161

R-square: 0.9996

Adjusted R-square: 0.9996

RMSE: 0.07369

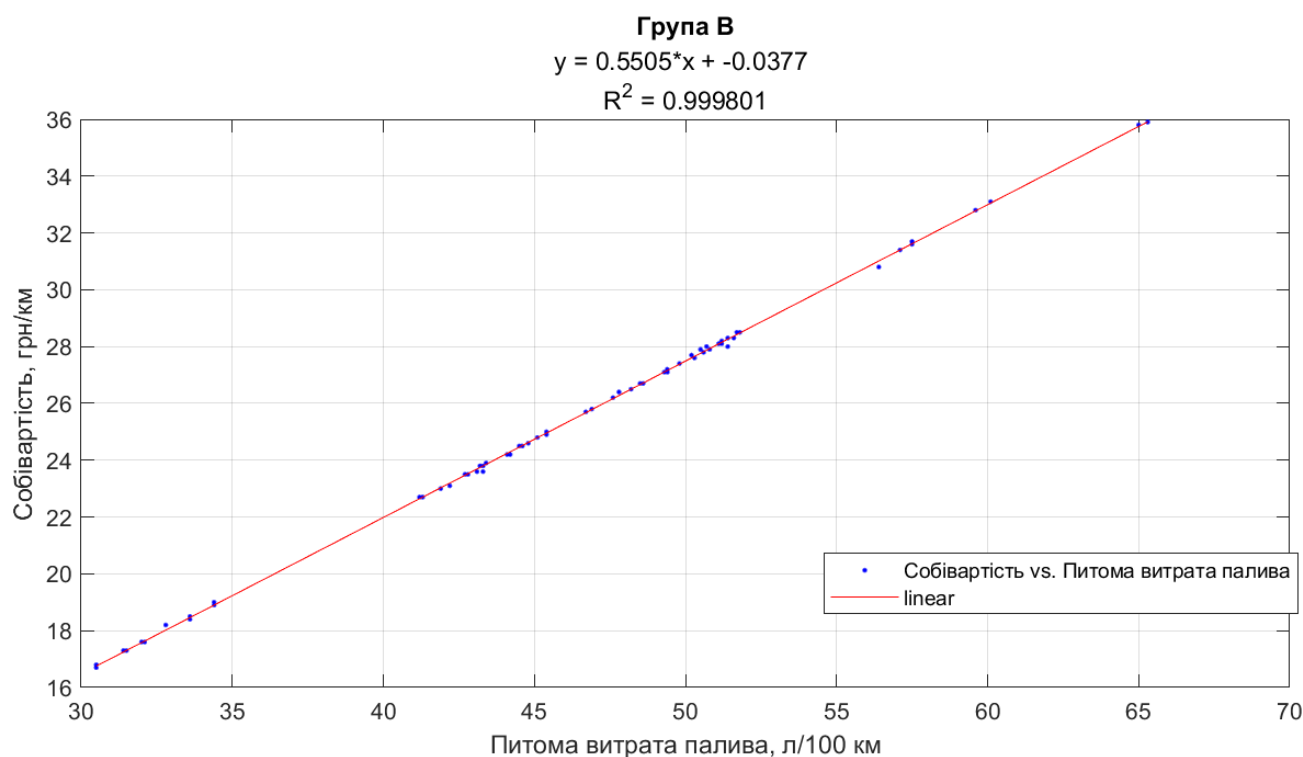


Рисунок Ж.18 – Залежність собівартості 1 км виконаного замовлення від питомих витрат палива транспортними засобами групи В під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

```
Linear model Poly1:
  f(x) = p1*x + p2
Coefficients (with 95% confidence bounds):
  p1 =      0.5505  (0.5488, 0.5523)
  p2 =     -0.03766 (-0.1181, 0.04273)
```

```
Goodness of fit:
SSE: 0.398
R-square: 0.9998
Adjusted R-square: 0.9998
RMSE: 0.07143
```

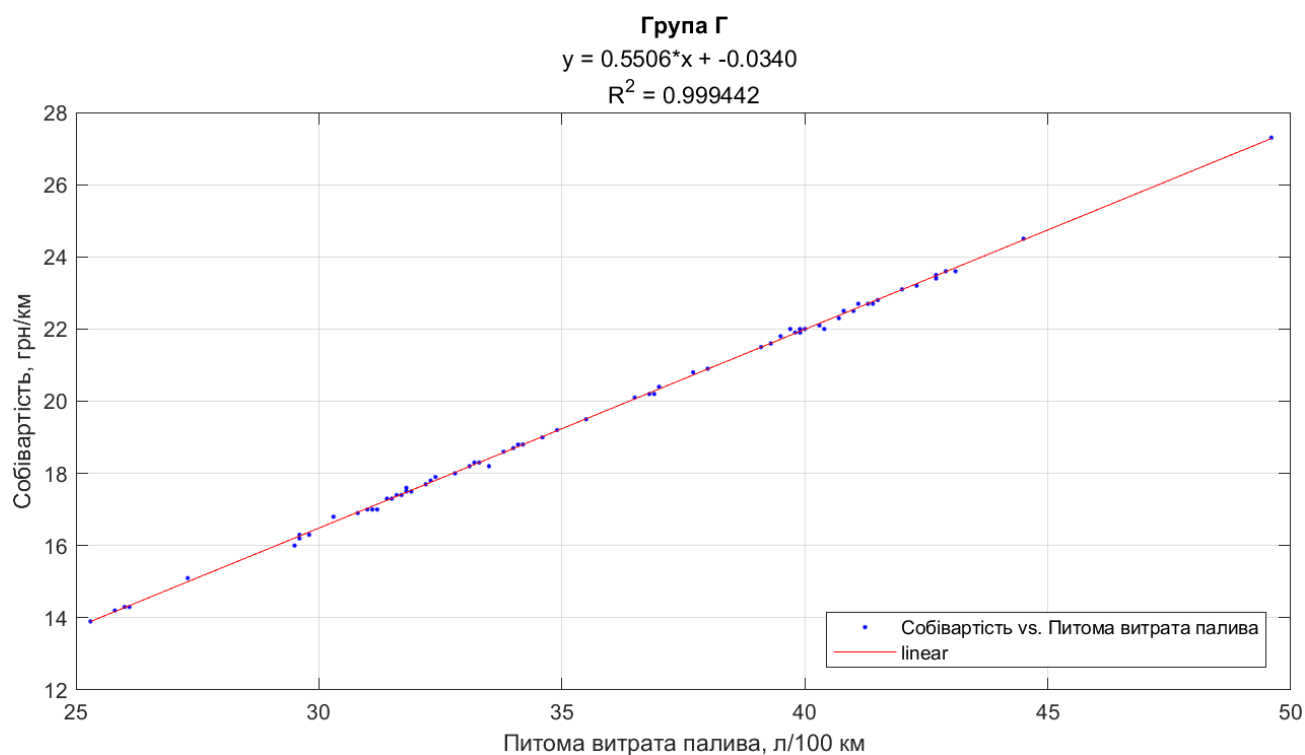


Рисунок Ж.19 – Залежність собівартості 1 км виконаного замовлення від питомих витрат палива транспортними засобами групи Г під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Linear model Poly1:
 $f(x) = p1 \cdot x + p2$
Coefficients (with 95% confidence bounds):
p1 = 0.5506 (0.5477, 0.5536)
p2 = -0.03399 (-0.1382, 0.07021)

Goodness of fit:
SSE: 0.4069
R-square: 0.9994
Adjusted R-square: 0.9994
RMSE: 0.07223

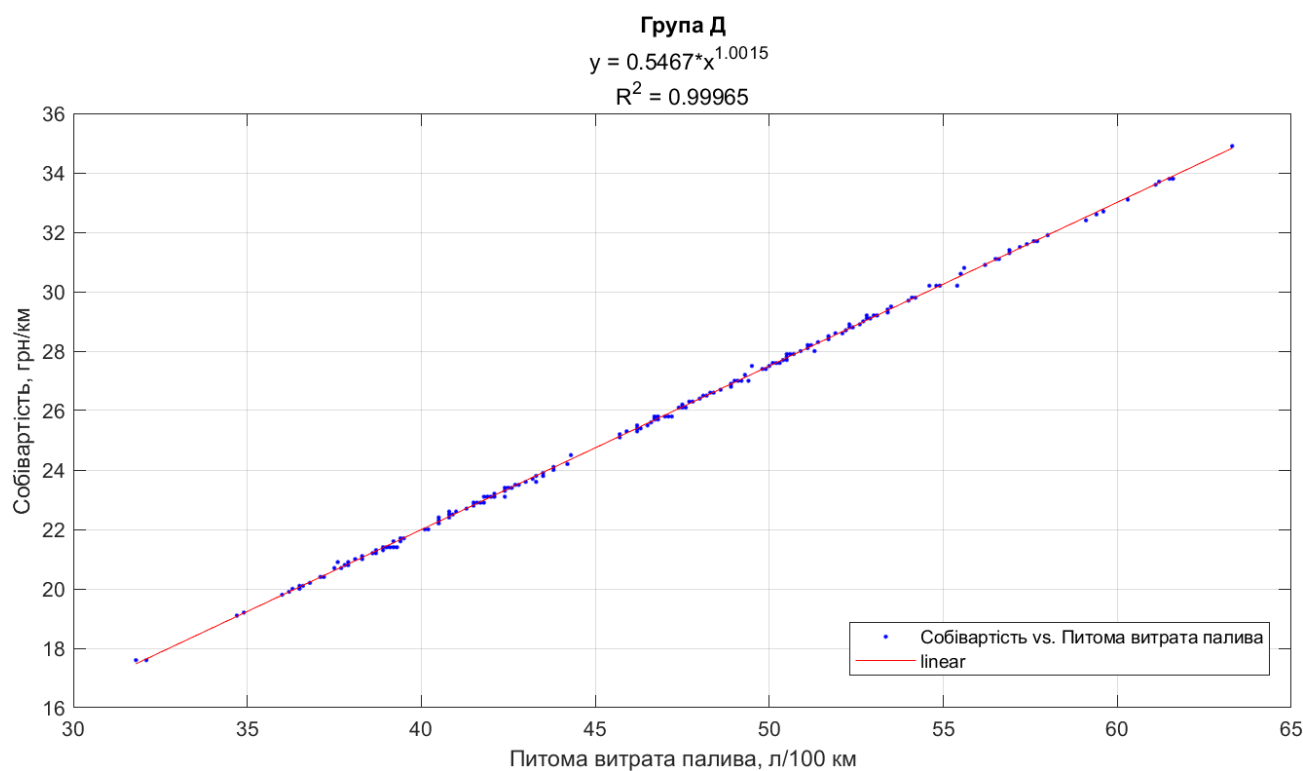


Рисунок Ж.20 – Залежність собівартості 1 км виконаного замовлення від питомих витрат палива транспортними засобами групи Д під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

General model Power1:

$$f(x) = a * x^b$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 0.5467 \quad (0.5416, 0.5518)$$

$$b = 1.002 \quad (0.9991, 1.004)$$

Goodness of fit:

SSE: 1.203

R-square: 0.9997

Adjusted R-square: 0.9996

RMSE: 0.07109

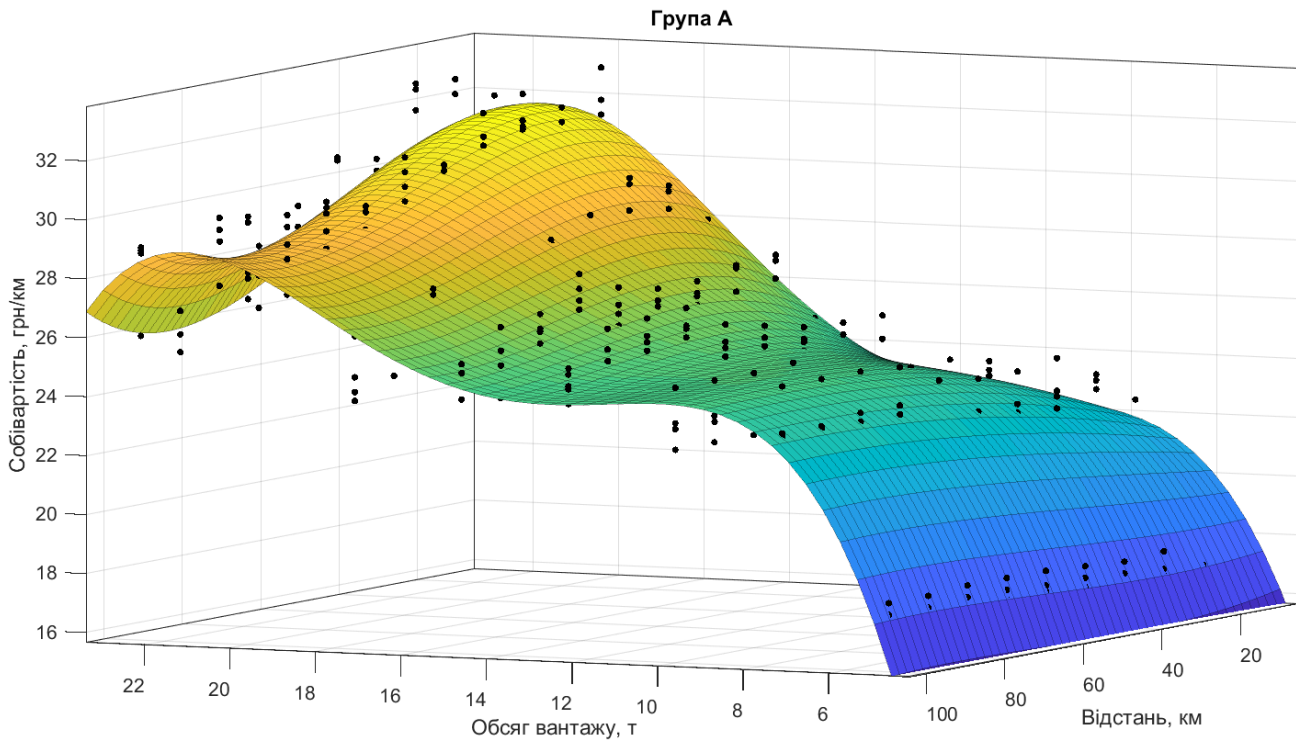


Рисунок Ж.21 – Графік поверхні моделі $S_{км} = f(Q_i, L_i)$, розрахованої за моделлю множинної поліноміальної регресії для транспортних засобів групи А

Linear model Poly43:

$$f(x,y) = p00 + p10*x + p01*y + p20*x^2 + p11*x*y + p02*y^2 + p30*x^3 + p21*x^2*y + p12*x*y^2 + p03*y^3 + p40*x^4 + p31*x^3*y + p22*x^2*y^2 + p13*x*y^3$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

p00 =	-18.73	(-23.9, -13.57)
p10 =	13.8	(12.19, 15.41)
p01 =	-0.268	(-0.4174, -0.1187)
p20 =	-1.708	(-1.894, -1.522)
p11 =	0.06441	(0.04358, 0.08524)
p02 =	0.002492	(-1.19e-05, 0.004996)
p30 =	0.08946	(0.08025, 0.09868)
p21 =	-0.003204	(-0.004366, -0.002043)
p12 =	-0.0004513	(-0.000657, -0.0002456)
p03 =	-9.05e-06	(-2.341e-05, 5.314e-06)
p40 =	-0.00162	(-0.001786, -0.001455)
p31 =	4.504e-05	(1.993e-05, 7.014e-05)
p22 =	9.239e-06	(4.574e-06, 1.39e-05)
p13 =	1.287e-06	(3.23e-07, 2.252e-06)

Goodness of fit:

SSE: 376.4
 R-square: 0.9379
 Adjusted R-square: 0.9359
 RMSE: 0.9875

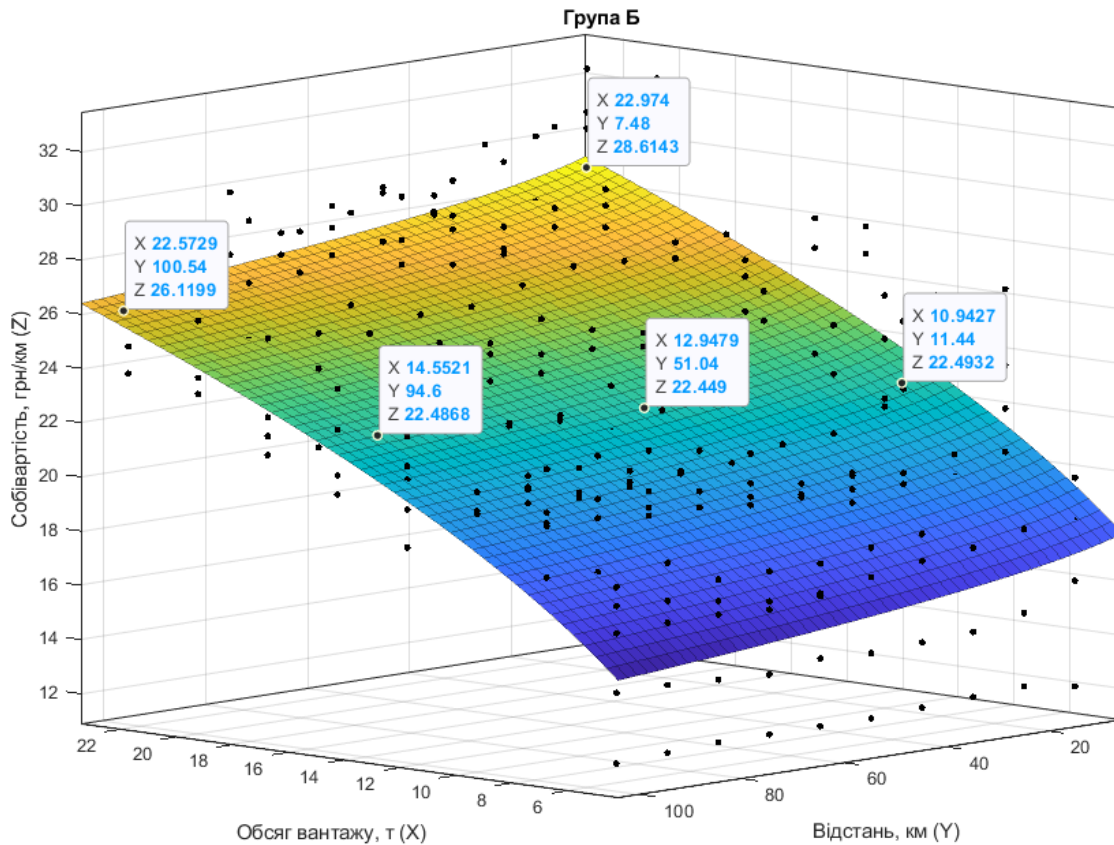


Рисунок Ж.22 – Графік поверхні моделі $S_{км} = f(Q_i, L_i)$, розрахованої за моделлю множинної нелінійної регресії для транспортних засобів групи Б

General model:

$$f(x, y) = a + b \cdot \sqrt{x} + c \cdot \sqrt{y}$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

a =	10.4	(9.224, 11.57)
b =	3.982	(3.727, 4.238)
c =	-0.3191	(-0.4168, -0.2215)

Goodness of fit:

SSE: 1771

R-square: 0.7116

Adjusted R-square: 0.7101

RMSE: 2.112

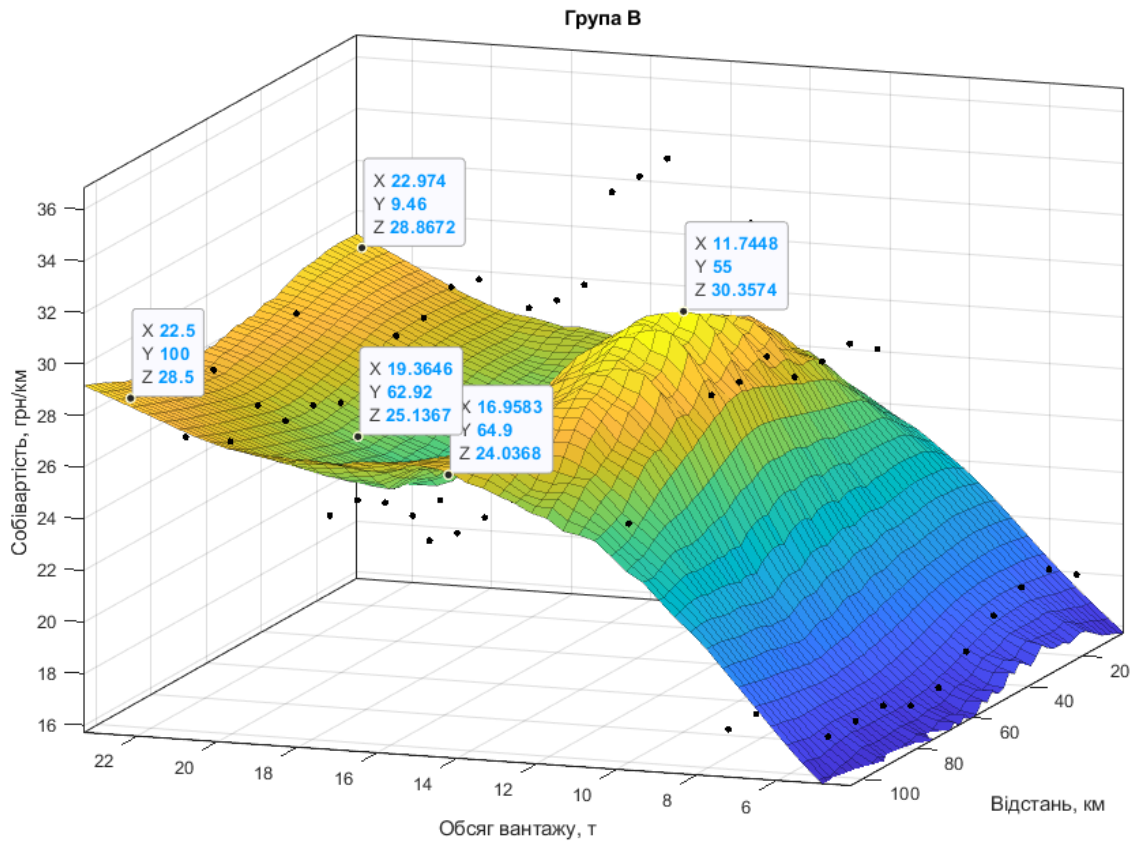


Рисунок Ж.23– Графік поверхні моделі $S_{км} = f(Q_i, L_i)$, розрахованої за моделлю множинної локально зваженої регресії для транспортних засобів групи В

Locally weighted smoothing linear regression:

$f(x,y)$ = lowess (linear) smoothing regression computed from p
 where x is normalized by mean 13.75 and std 5.764
 and where y is normalized by mean 55 and std 28.9

Coefficients:

p = coefficient structure

Goodness of fit:

SSE: 478.2

R-square: 0.7603

Adjusted R-square: 0.7295

RMSE: 2.614

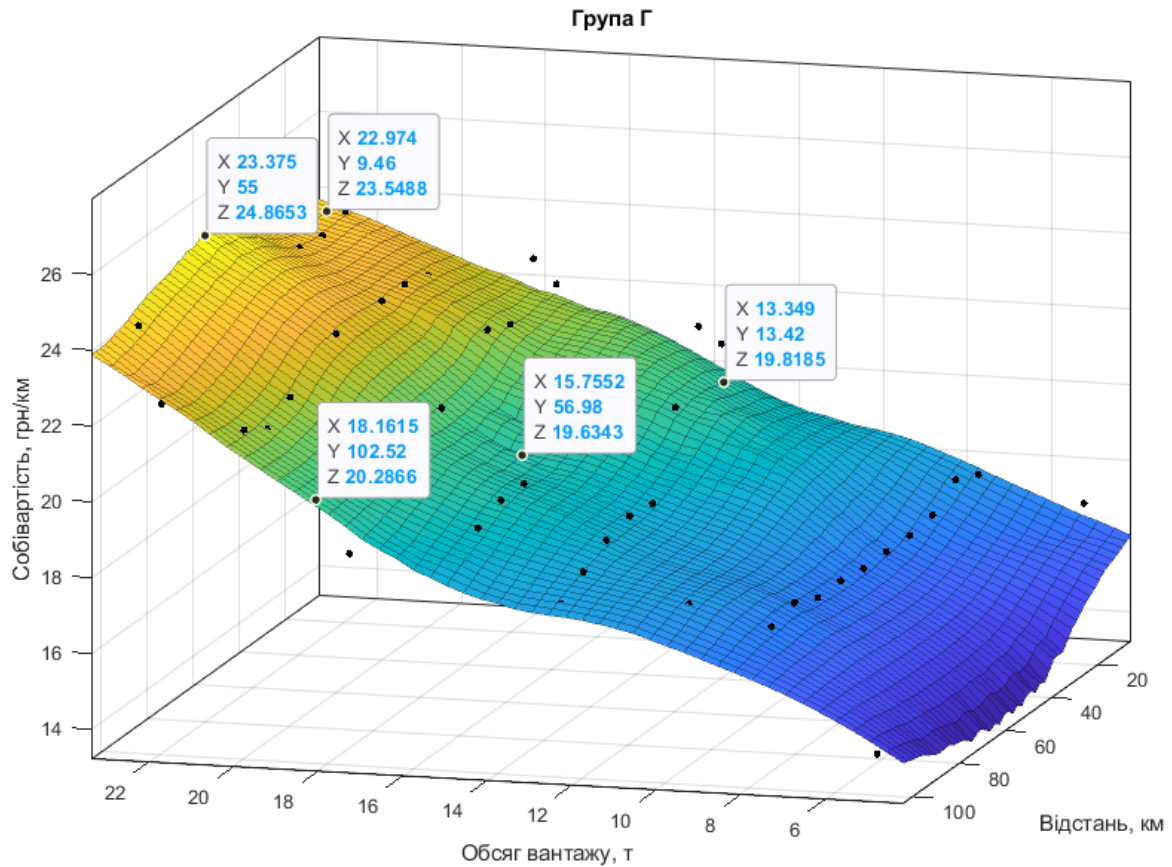


Рисунок Ж.24 – Графік поверхні моделі $S_{км} = f(Q_i, L_i)$, розрахованої за моделлю множинної локально зваженої регресії для транспортних засобів групи Г

Locally weighted smoothing linear regression:

$f(x, y) = \text{lowess (linear) smoothing regression computed from } p$
 where x is normalized by mean 13.75 and std 5.764
 and where y is normalized by mean 55 and std 28.9

Coefficients:

$p = \text{coefficient structure}$

Goodness of fit:

SSE: 116.7

R-square: 0.84

Adjusted R-square: 0.8194

RMSE: 1.291

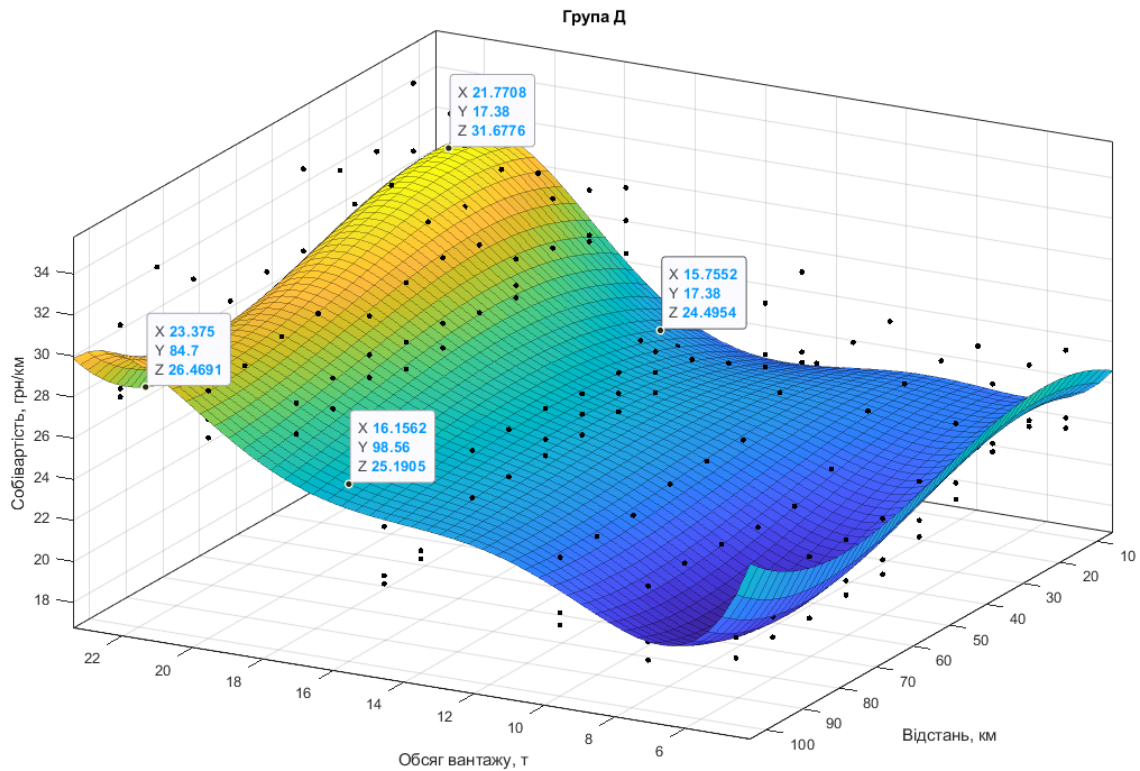


Рисунок Ж.25– Графік поверхні моделі $S_{км} = f(Q_i, L_i)$, розрахованої за моделлю множинної поліноміальної регресії для транспортних засобів групи Д

Linear model Poly53:

$$f(x, y) = p00 + p10*x + p01*y + p20*x^2 + p11*x*y + p02*y^2 + p30*x^3 + p21*x^2*y + p12*x*y^2 + p03*y^3 + p40*x^4 + p31*x^3*y + p22*x^2*y^2 + p13*x*y^3 + p50*x^5 + p41*x^4*y + p32*x^3*y^2 + p23*x^2*y^3$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

p00 =	55.06	(10.68, 99.44)
p10 =	-16.83	(-35.6, 1.932)
p01 =	0.718	(-0.3712, 1.807)
p20 =	3.263	(0.2184, 6.307)
p11 =	-0.2095	(-0.4702, 0.05119)
p02 =	-0.01003	(-0.02777, 0.007723)
p30 =	-0.296	(-0.5328, -0.05925)
p21 =	0.02293	(-0.0006904, 0.04655)
p12 =	0.001651	(-0.001479, 0.004781)
p03 =	5.65e-05	(-4.482e-05, 0.0001578)
p40 =	0.01252	(0.003668, 0.02138)
p31 =	-0.0009852	(-0.002004, 3.338e-05)
p22 =	-9.822e-05	(-0.0002562, 5.977e-05)
p13 =	-7.368e-06	(-2.373e-05, 8.993e-06)
p50 =	-0.0001968	(-0.0003246, -6.9e-05)
p41 =	1.444e-05	(-3.019e-06, 3.19e-05)
p32 =	1.684e-06	(-1.328e-06, 4.696e-06)
p23 =	2.645e-07	(-3.208e-07, 8.498e-07)

Goodness of fit:

SSE: 1191
R-square: 0.6537
Adjusted R-square: 0.6272
RMSE: 2.316

Додаток И**Акти впровадження результатів дослідження**



ТзОВ «Волинь-зерно-продукт»
45606, Україна, Волинська область,
Луцький р-н, с. Рованці,
вул. Промислова, 5А.
ЄДРПОУ 31496816

тел.: +38 (0332) 70-17-07
e-mail: office@vzp.com.ua
www.vzp.com.ua

ЗАТВЕРДЖУЮ

Керівник департаменту
вантажного транспорту
ТОВ «Волинь-Зерно-Продукт»

Тарас БОРТНИК
«23» Вересня 2022 р.

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи
Котенко Вікторії Ігорівни
на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
на тему: «Удосконалення організації транспортного процесу доставки
зернових культур методами машинного навчання»

Результати дисертаційної роботи здобувача Котенко Вікторії Ігорівни є актуальними та становлять практичний інтерес. Запропонований метод та комп'ютерна програма вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора є доцільними для цільового використання.

Економічний ефект від впровадження методу вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора ТОВ «Волинь-Зерно-Продукт» у двотижневий піковий період виконання замовлень становив 121,53 тис. грн.

Наукові результати, отримані особисто Котенко В.І. реалізовані для вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора на підприємстві.

Тарас БОРТНИК



ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з науково-педагогічної роботи
та організації освітнього процесу
Вінницького національного технічного
університету



[Signature] Олександр ПЕТРОВ
« 5 » _____ 09 _____ 2022 р.

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи
«Удосконалення організації транспортного процесу доставки зернових культур методами машинного навчання»
Котенко Вікторії Ігорівни

Отримані наукові результати в дисертаційній роботі Котенко В.І. мають наукову новизну і практичну цінність, вони апробовані та використовуються в освітньому процесі Вінницького національного технічного університету.

Так, при проведенні навчального процесу зі студентами спеціальності 275 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» з дисциплін «Вантажні перевезення» та «Основи теорії транспортних процесів і систем» на кафедрі автомобілів та транспортного менеджменту розглядаються теоретичні та прикладні аспекти удосконалення організації транспортного процесу доставки зернових культур за рахунок розробки та впровадження методу і програмного забезпечення для вибору раціональних транспортних засобів при виконанні замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора.

Використання результатів дисертаційного дослідження Котенко В.І. сприяють покращенню та подальшому удосконаленню освітнього процесу кафедри автомобілів і транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету.

Декан факультету
машинобудування та транспорту
к.т.н., доцент

[Signature]
Сергій СУХОРУКОВ

Завідувач кафедри автомобілів
та транспортного менеджменту
к.т.н., доцент

[Signature]
Сергій ЦИМБАЛ



[Signature]
ПОСВІДЧУЮ

Зав. канцелярією

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з педагогічної роботи
та досліджень

Луцького національного
технічного університету

Олег ЗАБОЛОТНИЙ

«*Вересня*» 2022 р.

**АКТ**

про впровадження у навчальний процес матеріалів
дисертаційної роботи здобувача наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 275 –транспортні технології
(на автомобільному транспорті)

**«Удосконалення організації транспортного процесу доставки зернових
культур методами машинного навчання»**

Котенко Вікторії Ігорівни

Результати, представлені в дисертаційній роботі Котенко В.І., впроваджені у навчальному процесі Луцького національного технічного університету для студентів спеціальності 275 «Транспортні технології(на автомобільному транспорті)», а саме: метод вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, а також методика застосування методів та моделей машинного навчання для прогнозування показників у процесах доставки вантажів.

Зокрема, результати використовуються у лекціях, практичних заняттях з дисциплін «Сучасні транспортні технології» та «Управління ланцюгом постачань», а також при виконанні магістерських кваліфікаційних робіт.

Впровадження результатів Котенко В.І. дозволило збільшити науковий та методичний рівень вказаних курсів та сприяло удосконаленню навчального процесу.

Декан факультету
транспорту та механічної інженерії

Ігор МУРОВАНІЙ

Завідувач кафедри
автомобілів і транспортних технологій

Василь ОНИЦУК

Додаток I

Список публікацій здобувача

Статті у фахових виданнях України:

- [1] В. Біліченко, В. Котенко, «Підходи до моделювання попиту на вантажні перевезення у зерновій логістиці», *Вісник машинобудування та транспорту*, № 2, С.4-9, 2019. DOI: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2019-10-2-4-9>.
- [2] В. Котенко, «Особливості формування попиту у моделюванні ланцюгів поставок зернових культур», *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. Том 2, №15, С.35-41, 2020. DOI: <https://doi.org/10.36910/automash.v2i15.390>.
- [3] V. Kotenko, «Development of the grain crops supply chain model», *Вісник машинобудування та транспорту*, 14(2), С.33-37, 2021. DOI: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2021-14-2-33-37>.
- [4] В. Котенко, «Алгоритмічні моделі машинного навчання для прогнозування витрат пального транспортними засобами під час доставки зернових культур», *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*, Вип. 6 (37), ч. 1, С.173-182, 2022. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).1.173-182](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).1.173-182)
- [5] В. Котенко, «Факторний аналіз функціональних та вартісних показників транспортного процесу доставки зернових культур», *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*, Том 2, №19, С.89-96, 2022. DOI: <https://doi.org/10.36910/automash.v2i19.907>
- [6] V. Kotenko, «Application of algorithmic models of machine learning to the freight transportation process», *Transport Technologies*, Volume 3, Number 2, P.10-21, 2022.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

- [7] В. Мялковська, «Аналіз критеріїв ефективності вантажовласників при плануванні діяльності», *Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (2019)*, Вінниця, 2019. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2019/paper/view/7756>

- [8] В. Біліченко, та В. Мялковська, «Аналіз показників оцінки попиту на транспортне обслуговування вантажовласників при плануванні діяльності транспортних підприємств», *Матеріали I Міжнародної науково-технічної конференції “Перспективи розвитку машинобудування та транспорту – 2019” 13 – 15 травня 2019 р.): Збірник доповідей*, Вінниця: ВНТУ, 2019. С.159-160.
- [9] В. Біліченко, та В. Мялковська, «Аналіз моделей попиту на вантажні перевезення у зерновій логістиці», *Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» 21-23 жовтня 2019.: Збірник доповідей*, Вінниця, 2019. С.13-16.
- [10] В. І. Котенко, «Особливості побудови моделей ланцюгів поставок зернових культур», *Тези Всеукраїнської науково-практичної on-line конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, присвяченої Дню науки 11-15 травня 2020 р.* Житомир, 2020, С.45.
- [11] В. І. Котенко, «Фактори, що впливають на структуру логістичного ланцюга постачання зернових культур», *Матеріали I Науково-технічної конференції факультету машинобудування та транспорту*, Вінниця, 2021. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2021/paper/view/12326>
- [12] В. І. Котенко, «Моделювання логістичних процесів при транспортуванні зернових культур», *Матеріали Четвертої Всеукраїнської науково-теоретичної конференції «Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв’язання», 25 – 26 березня 2021 року: Тези доповідей*, Львів, 2021, С. 88-89.
- [13] В.І. Котенко, «Формування моделі ланцюга постачання зернових культур», *Матеріали XIV міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 25-27 жовтня 2021 року*, Вінниця, ВНТУ, 2021, С.117-119.

- [14] В.І. Котенко, «Обґрунтування доцільності застосування штучних нейронних мереж для моделювання транспортного процесу постачання сільськогосподарської продукції», *Матеріали X-ої міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту», 14-15 квітня 2022 року: збірник наукових праць*, Вінниця, 2022, С.172-174.
- [15] В. Котенко, «Розробка моделі штучної нейронної мережі для транспортування сільськогосподарської продукції». в *НТКП ВНТУ. Факультет машинобудування та транспорту. Матеріали LI Науково-технічної конференції факультету машинобудування та транспорту*, 31 травня 2022 року, Вінниця, С.2472-2474. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2022/paper/view/16138>
- [16] В. Котенко, «Підвищення ефективності організації транспортного процесу доставки сільськогосподарської продукції», *Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей: матеріали VII міжнарод. наук.-прак. конф*, Луцьк, 2022, С. 40-42.