

Котенко В.І.

*Луцький національний технічний університет***ФАКТОРНИЙ АНАЛІЗ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ТА ВАРТІСНИХ ПОКАЗНИКІВ
ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ ДОСТАВКИ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР**

У дослідженні виявлено взаємозв'язки між функціональними та вартісними показниками транспортного процесу доставки зернових культур, які дозволили сформувавши рекомендації щодо використання доступних транспортних засобів підприємством для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора. Проведено моделювання транспортного процесу доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора раніше розробленим методом вибору раціонального транспортного засобу. Імітаційне моделювання було проведено для кожного із п'ятнадцяти транспортних засобів підприємства вантажністю понад 20,8 т. Значення відстані доставки варіювалися у межах 10 ... 100 км, а обсягу замовлень 5,0 ... 22,5 т.

За результатами моделювання виявлено спільні ознаки використання транспортних, що дозволили згрупувати транспортні засоби підприємства методом ієрархічного кластерного аналізу у 5 груп.

Для кожної із 5 груп транспортних засобів підприємства проведено факторний аналіз, на основі якого встановлено тісноту зв'язку та сформовано 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. Отримані значення коефіцієнтів кореляції свідчать про наявність тісного зв'язку для досліджуваних залежностей.

За результатами моделювання процесу доставки зернових культур транспортними засобами виявлено співвідношення «обсягу вантажу—відстань транспортування» та надано рекомендації за яких буде досягнута оптимальна собівартість виконання 1 км замовлення для кожної із груп транспортних засобів підприємства. Результати досліджень призначені для використання менеджерами автотранспортних підприємств, які організовують доставку зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора.

Ключові слова: факторний аналіз, транспортний процес, процес доставки, раціональний транспортний засіб, зернові культури.

ВСТУП

Під час організації транспортних процесів із доставки окремих видів вантажів до споживачів автомобільним транспортом важливе значення має вибір доступних транспортних засобів. При цьому доставка вантажів від їх відправників до отримувачів можлива за декількома сценаріями залучення транспортних засобів, кількість яких залежить як кількості та маркового складу доступних автомобілів, так і від характеристик замовлень на вантажні перевезення. Кожен із можливих сценаріїв можна оцінити за низкою критеріїв, які описують особливості використання транспортних засобів. 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 підприємства, що займаються доставкою зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, є вибір раціональних транспортних засобів для виконання існуючих замовлень. Для прийняття зваженого рішення після отримання замовлення менеджером підприємства необхідні рекомендації щодо підбору економічно вигідного транспортного засобу для його виконання.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Аналіз досліджень транспортного процесу доставки швидкокопсувних вантажів, до яких належить сільськогосподарська сировина та готова продукція, показав наявність розроблених як загальних концепцій, так і методів та моделей узгодження параметрів транспортних засобів для їх доставки [1-5]. Що стосується вибору транспортних засобів та їх оптимальних параметрів для виконання замовлень із доставки зернових культур то з цього питання є декілька публікацій [2-5], які розкривають особливості виконання зазначених транспортних процесів. Існуючі дослідження дозволяють оцінити витрати при доставці дрібнопартійних вантажів [2], встановити раціональну вантажопідйомність автомобілів [3], визначити кількість транспортних засобів на етапі збору зернових культур [4;5]. Проте не враховують значення окремих факторів, таких як марка та модель транспортного засобу, обсяг та відстань замовлення, для кожного окремого транспортного процесу доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора. Проведення факторного аналізу дозволить встановити вплив цих факторів на окремі функціональні та вартісні показники транспортного процесу [5;6].

Отже, існує потреба проведення факторного аналізу за результатами якого буде розроблено рекомендацій щодо вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є виявлення взаємозв'язків між функціональними та вартісними показниками транспортного процесу доставки зернових культур, що дозволять сформулювати рекомендацій щодо використання доступних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Сформулювати вихідні дані для моделювання транспортного процесу доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора.
2. Провести моделювання транспортного процесу доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора.
3. Провести факторний аналіз функціональних та вартісних показників транспортного процесу доставки зернових культур.
4. Сформулювати практичні рекомендації щодо використання транспортних засобів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проведено для автотранспортного підприємства, що здійснює доставку зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора. З метою пришвидшення розрахунків показників транспортного процесу доставки зернових культур застосовано метод вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора. Для даного методу розроблено відповідний алгоритм та комп'ютерну модель. Вони базуються на моделі RF випадкового лісу для прогнозування витрат палива (SFC_{T_i}) r -ми транспортними засобами, представлений у роботі [7], що є складовою методу вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора (Рис. 1). Цей метод забезпечує врахування як виробничих умов, так і особливостей кожного замовлення 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. 1) передбачає виконання 12 кроків. Даний алгоритм реалізовано у комп'ютерній моделі, яка насамперед передбачає формування користувачами бази із історичними даними виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора. 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, 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 багаж, ячмінь); загальна відстань доставки, км; фактичні витрати палива, літрів; питомі витрати палива, літрів/100км; 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_{T_i}). За даними автотранспортного підприємства отримуються характеристики (M_{T_i}) транспортних засобів доступних для доставки зернових культур. Після цього із використанням інтернет сервісів (OpenStreetMap [8] або Google Maps [9]) 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_i^1 та їх кількість, а також характеристики (I_{T_i}) i -х замовлень на доставку зернових культур.

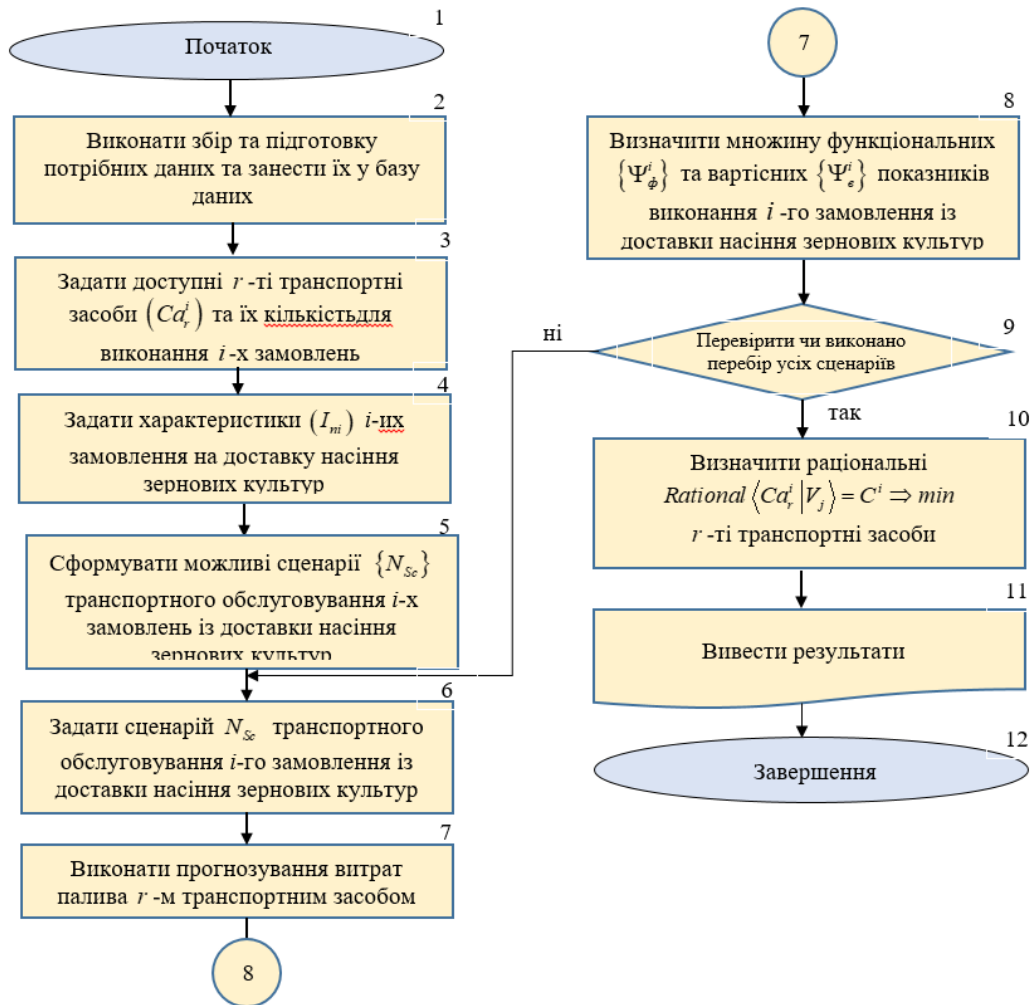


Рисунок 1 – Алгоритм вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Реалізація алгоритму вибору раціональних транспортних засобів передбачає розрахунок функціональних та вартісних показників для кожного сценарію виконання замовлень.

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

$$\{\Psi_{\phi}^i\} := (L_i, Q_i, W_i, \xi_{ni}) \quad (1)$$

де 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; ξ_{ni} – витрата палива під час виконання i -го замовлення із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, літрів.

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

$$\{\Psi_{\epsilon}^i\} := (\{E^i\} \rightarrow C^i) \quad (2)$$

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:

$$C^i = \frac{\{E^i\}}{W^i \cdot V \cdot Q^i} = \frac{C_3^i + C_{пм}^i + C_a^i + C_{мор}^i + C_{ш}^i + C_n^i}{W^i \cdot V \cdot Q^i}, \quad (3)$$

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

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

Agricultural enterprise No.	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

Results:

Agr. (No.)	Vehicle (mark)	Distance (km)	Cargo volume (ton)	Cargo circulation (ton.km)	Spec. fuel (liters/100km)	Total fuel (liters)	Cost (UAH/km)
1	DAF_FT_XF_105	25.0	10.0	250.0	30.2	7.5	16.5
4	DAF_FT_XF_105	32.0	12.0	384.0	39.1	12.5	21.5
3	DAF_XF_105_460	53.0	20.0	1060.0	46.5	24.7	25.6
2	MA3_543205_020	46.0	22.0	1012.0	52.4	24.1	28.8
5	MA3_543205_020	62.0	20.0	1240.0	56.6	35.1	31.1

CARS INFORMATION **CALCULATE** **RESET** **EXIT**

Рисунок 2 – Вікно комп'ютерної моделі вибору раціональних транспортних засобів для виконання замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

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

- 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 W_i під час виконання i -го замовлення із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, літрів;
- собівартість C^i виконання i -х замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, грн/т (грн/т.км, грн/км);

Для дослідження закономірностей та отримання додаткової інформації про використання транспортних засобів під час виконання замовлень із доставки зернових культур було проведено моделювання транспортного процесу.

Імітаційні експерименти проведені за допомогою розробленої комп'ютерної моделі (Рис.2), що здійснює розрахунок функціональних та вартісних показників для конкретних замовлень з доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора.

Для вхідних параметрів були встановлені рівні варіювання наведені у Табл. 1.

Таблиця 1 – 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

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 даного підприємства не перевищують 100 км загальної віддалі. Обсяг транспортованого вантажу варіюється з врахуванням норми габаритно-вагового контролю транспортних засобів в Україні [10]. Усього проведено 1200 дослідів, по 80 для кожного транспортного засобу.

З метою аналізу та виявлення спільних ознак у досліджуваних об'єктах, було застосовано метод ієрархічного кластерного аналізу. Результатом застосування методу є побудова дендрограми, що дозволила графічно представити послідовність об'єднання досліджуваних об'єктів (транспортних засобів) 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 [11].

Ієрархічний кластерний аналіз марок транспортних засобів підприємства було проведено з використанням програмного пакету для статистичного аналізу Statistica 14.0.0 [12]. Виявлені зв'язки в середині масиву даних дозволили згрупувати моделі транспортних засобів підприємства. В результаті проведеної кластеризації було сформовано 5 кластерів (груп), які мають найбільш типову для кластера зміну питомих витрат палива за заданих умов (Рис. 3). Отримані групи транспортних засобів слугували основою для подальшого факторного аналізу.

Застосування кореляційно-регресійного аналізу до змодельованих даних дозволяє підвищити ступінь точності аналізу та виявити можливі недоліки попереднього аналізу [13]. 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;
 - с) загальними витратами палива транспортними засобами від та вантажообігом;
- 2) виявити та кількісно виміряти ступінь впливу обсягу вантажу, відстані замовлення та їх комплексу на величину собівартості 1 км виконаного замовлення;
- 3) сформулювати 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.

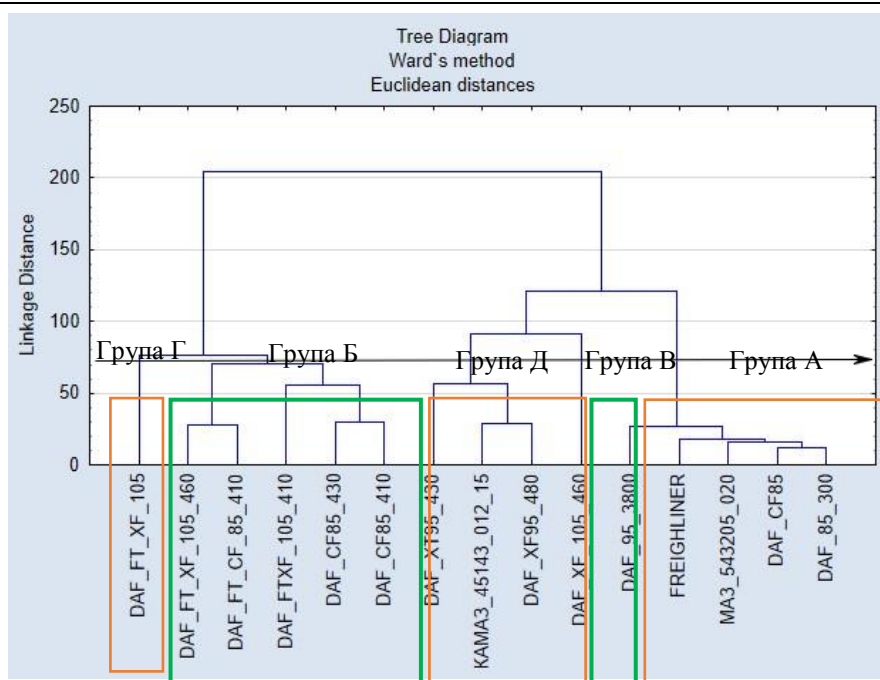


Рисунок 3 – Дендрограма об'єднання кластерів методом Уорда

Аналіз встановленої залежності (Табл. 2) 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) 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 не змінною 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. 3). Графічно отриману залежність для транспортних засобів групи А представлено на Рис. 5. Для автомобілів даної групи є характерною зростання собівартості 1 км виконаного замовлення при доставці вантажу обсягом до 8т, а також від 14 до 21 т, при повному завантаженні спостерігаємо зниження витрат. Для обсягу вантажу 8 – 13т витрати на транспортування залишаються на рівні 14 грн/км.

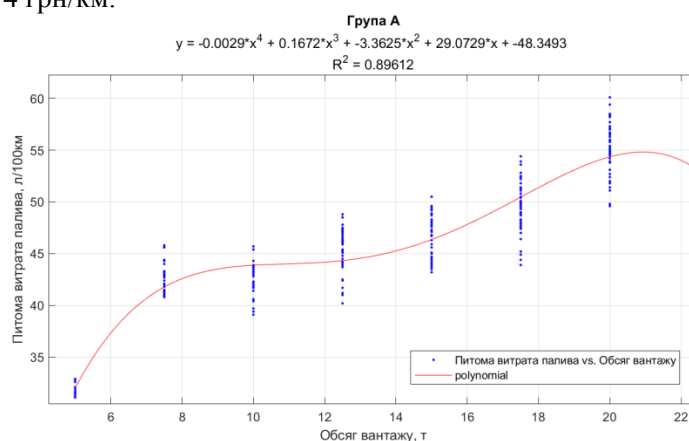


Рисунок 4 – Залежність питомих витрат палива транспортними засобами групи А від обсягу вантажу під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Таблиця 2 – 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	Поліноміальна $f(x) = -0.0029 \cdot x^4 + 0.1672 \cdot x^3 - 3.3625 \cdot x^2 + 29.0729 \cdot x - 48.3493$	0.8951	0.9466	2.295
Б	Поліноміальна $f(x) = -0.0019 \cdot x^4 + 0.1119 \cdot x^3 - 2.3142 \cdot x^2 + 20.6997 \cdot x - 23.3226$	0.7152	0.8473	3.816
В	Поліноміальна $f(x) = -0.0020 \cdot x^5 + 0.1435 \cdot x^4 - 3.8445 \cdot x^3 + 47.9619 \cdot x^2 - 272.6523 \cdot x + 593.8825$	0.8894	0.9468	3.036
Г	Експоненціальна $f(x) = 24.8579 \cdot e^{0.0244 \cdot x}$	0.7983	0.8949	2.477
Д	Поліноміальна $f(x) = -0.0004 \cdot x^5 + 0.0244 \cdot x^4 - 0.6306 \cdot x^3 + 7.7557 \cdot x^2 - 44.4823 \cdot x + 133.7142$	0.5993	0.7795	4.359

Таблиця 3 – 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-квадратична помилка
А	Поліноміальна $f(x) = -0.0016 \cdot x^4 + 0.0919 \cdot x^3 - 1.8490 \cdot x^2 + 15.9918 \cdot x - 26.6186$	0.8957	0.9470	1.259
Б	Поліноміальна $f(x) = -0.0011 \cdot x^4 + 0.0616 \cdot x^3 - 1.2730 \cdot x^2 + 11.3784 \cdot x - 16.0710$	0.7145	0.8470	2.096
В	Поліноміальна $f(x) = -0.0011 \cdot x^5 + 0.0792 \cdot x^4 - 2.1210 \cdot x^3 + 26.46 \cdot x^2 - 150.4137 \cdot x + 327.5833$	0.8884	0.9463	1.679
Г	Експоненціальна $f(x) = 13.6658 \cdot e^{0.244 \cdot x}$	0.7944	0.8927	1.378
Д	Поліноміальна $f(x) = -0.0002 \cdot x^5 + 0.0133 \cdot x^4 - 0.3437 \cdot x^3 + 4.2257 \cdot x^2 - 24.2310 \cdot x + 73.0436$	0.5999	0.7799	2.399

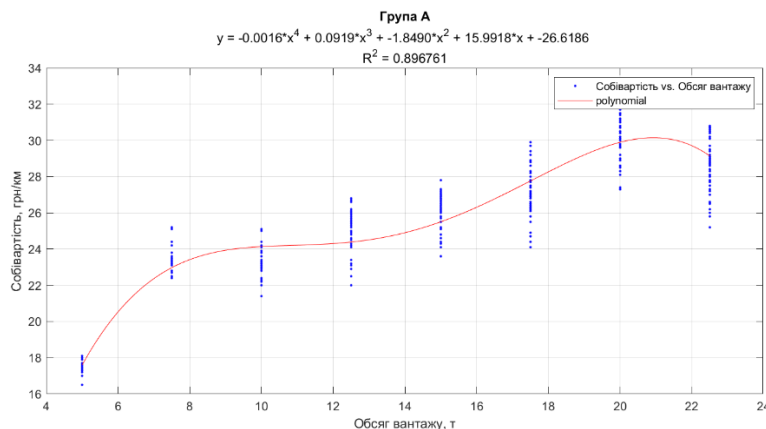


Рисунок 5 – Залежність собівартості 1 км виконаного замовлення транспортними засобами групи А від обсягу вантажу під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

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). До того ж, як свідчить аналіз закономірностей (Рис. 6), максимальні загальні витрати палива відповідають максимальному вантажообігу.

Таблиця 4 – 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 $f(x) = 3.4785 \cdot x^{0.3823} - 15.9979$	0.823	0.9077	5.662
Б	Степенева $f(x) = 1.2852 \cdot x^{0.4834} - 7.3855$	0.8285	0.9107	4.964
В	Степенева $f(x) = 3.5996 \cdot x^{0.3764} - 16.2708$	0.7298	0.8583	7.298
Г	Степенева $f(x) = 0.9545 \cdot x^{0.5005} - 5.5352$	0.838	0.9177	4.134
Д	Степенева $f(x) = 1.3285 \cdot x^{0.4896} - 6.8471$	0.7862	0.8877	6.201

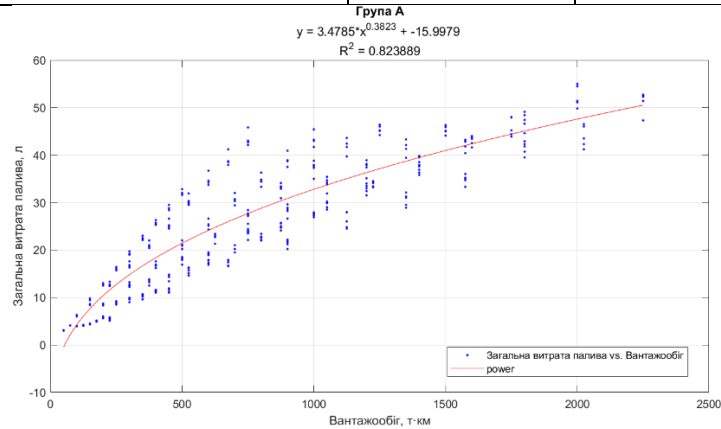


Рисунок 6 – Залежність загальних витрат палива транспортними засобами групи А від вантажообігу під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

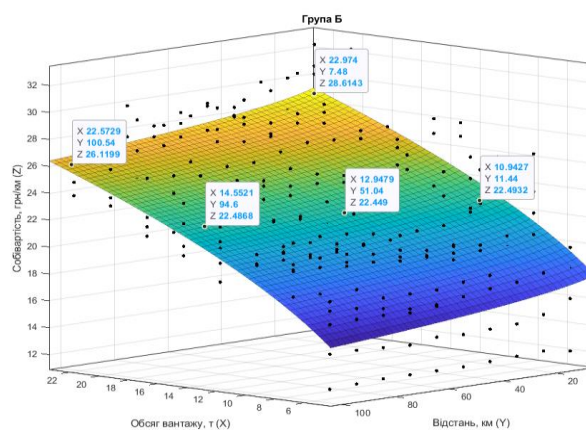
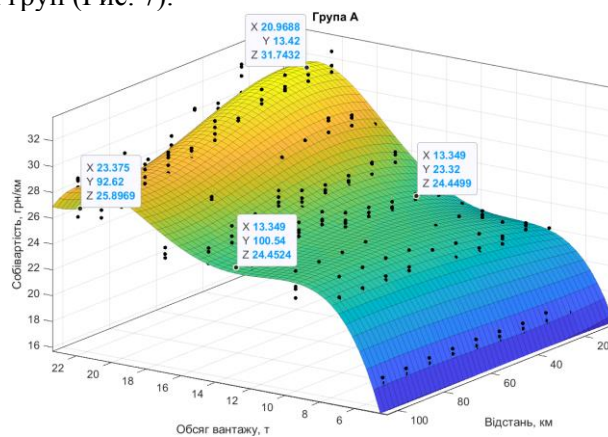
На наступному етапі дослідження було проведено двофакторний аналіз для виявлення залежності собівартості 1 км виконаного замовлення транспортними засобами від обсягу вантажу та відстані замовлення під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора у розрізі груп. Виявлення залежностей проведено з використанням додатку Curve Fitting Toolbox до пакету MATLAB [14]. За результатами проведеного моделювання обчислено параметри апроксимуючих функцій (Табл. 5) та побудовано їх поверхні (Рис. 7). 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 5 – Математичні залежності собівартості 1 км виконаного замовлення від обсягу вантажу (x) та відстані замовлення (y) транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора у розрізі груп

Назва групи	Вид моделі	Коефіцієнт детермінації	Коефіцієнт множинної кореляції	Середньо-квадратична помилка
А	Множинна поліноміальна регресія $f(x,y) = -18.73 + 13.8 \cdot x - 0.268 \cdot y - 1.708 \cdot x^2 + 0.06441 \cdot x \cdot y + 0.002492 \cdot y^2 + 0.08946 \cdot x^3 - 0.003204 \cdot x^2 \cdot y - 0.0004513 \cdot x \cdot y^2 - 9.05e-06 \cdot y^3 - 0.00162 \cdot x^4 + 4.504e-$	0.9359	0.9685	0.9875

	$05 \cdot x^3 \cdot y + 9.239e-06 \cdot x^2 \cdot y^2 + 1.287e-06 \cdot x \cdot y^3$			
Б	Множинна нелінійна регресія $f(x,y) = 10.4 + 3.982\sqrt{x} - 0.3191\sqrt{y}$	0.7101	0.8436	2.112
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

За допомогою апроксимуючих функцій (Табл. 5) встановлено закономірності зміни собівартості 1 км виконаного замовлення від обсягу вантажу та відстані транспортування для транспортних засобів усіх груп (Рис. 7).



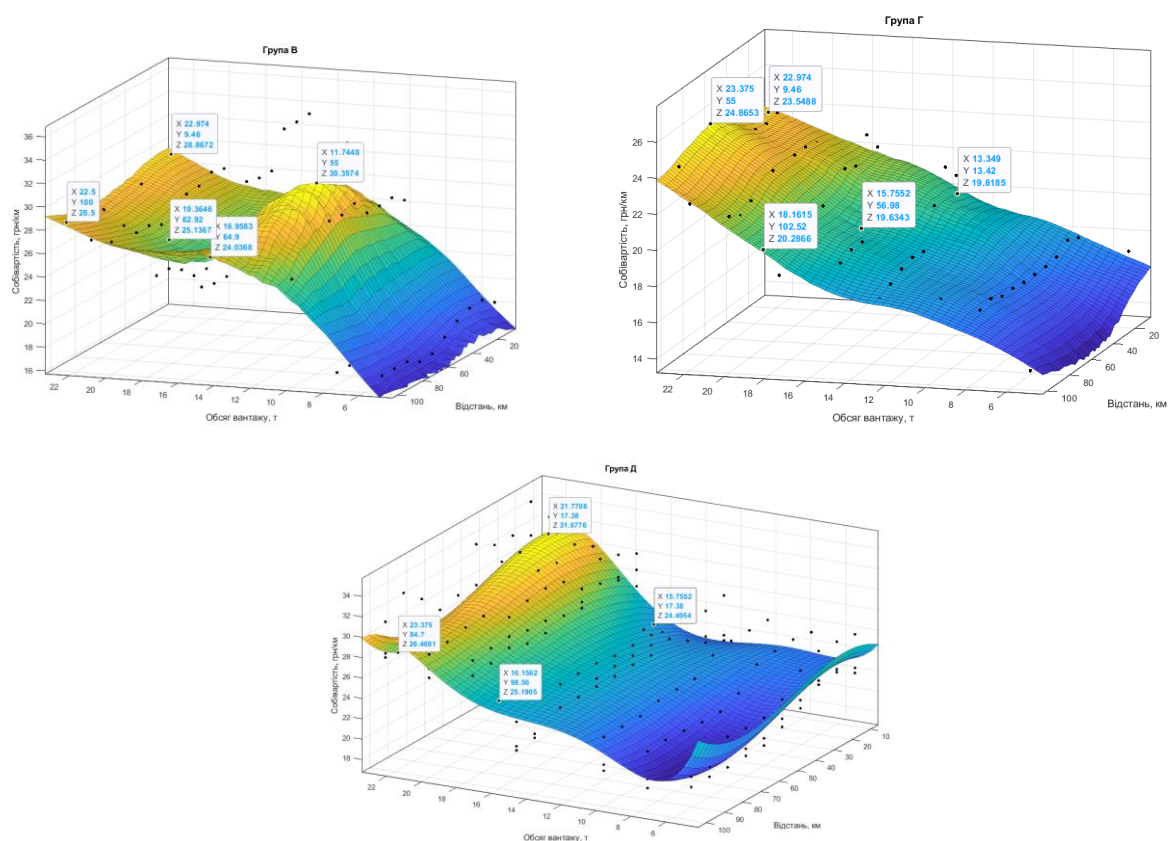


Рисунок 7 – Графік поверхні моделі $S_{km} = f(Q, L_i)$, розрахованої за регресійними моделями для транспортних засобів різних груп

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

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 та відстанню до 20 км групами Б, Д та В, максимально завантаженими автомобілями групи Д та відстанню 40-70 км, виконання замовлень на відстані до 20 км групою А при завантаженні 18 т та замовлень обсягом 12 т і відстанню 20-70 км групою В;
- 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 групи Д, а також обсягом 16-20 т 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.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз досліджень показав, що на сьогодні відсутні публікації, які враховують значення окремих факторів, таких як: марка та модель транспортного засобу, обсяг та відстань для кожного окремого замовлення із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора. Це сприяло проведенню моделювання транспортного процесу доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора раніше розробленим методом вибору раціонального транспортного засобу.

2.Проведене моделювання транспортних процесів доставки зернових культур дозволило виявити спільні ознаки використання транспортних засобів та дало змогу здійснити групування транспортних засобів методом ієрархічного кластерного аналізу у 5 груп.

3.Для кожної із 5 груп транспортних засобів підприємства проведено факторний аналіз, що дозволив встановити тісноту зв'язку та сформувати 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. Отримані значення коефіцієнтів кореляції свідчать про наявність тісного зв'язку для досліджуваних залежностей.

4. За результатами моделювання процесу доставки зернових культур транспортними засобами виявлено такі співвідношення обсягу вантажу та відстані транспортування за яких буде досягнута оптимальна собівартість виконання 1 км замовлення для кожної із груп транспортних засобів підприємства. Отримані результати досліджень призначені для використання менеджерами автотранспортних підприємств, які організують доставку зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1.Бережна Н.Г., Біляєва О.С., Войтов В.А., Горяїнов О.М., Карнаух М.В., Кравцов А.Г., Кутя О.В., Музильов Д.О., Шраменко Н.Ю. Проблеми транспортно-логістичного забезпечення в аграрній галузі. Монографія. – Харків: Міськдрук, 2019. – 180 с.

2.Шраменко Н. Ю. Оценка затрат по обслуживанию потребителей при оперативном планировании процесса поставки зерновых грузов / Н. Ю. Шраменко // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. - 2018. - № 12. - С. 302-309. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/tcalk_2018_12_43.

3.Музильов Д. О., Шраменко Н. Ю. Визначення середньої вантажності автомобілів при доставці швидкокопсувних сільськогосподарських вантажів в ланцюгах постачань. Український журнал прикладної економіки та техніки. 2021. Том 6. № 4. С. 280 – 286.

4.Музильов Д. О. Методика визначення кількості одиниць техніки збирально-транспортного комплексу для різних технологій доставки зернових культур / Д. О. Музильов, О. Є. Стебаков // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. - 2014. - № 2. - С. 128-140. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/tcalk_2014_2_19

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

6.Shyriaieva S. V., Svirin D. O. (2020) Factor Research of Prime Cost of International Road Transportation of Party Cargo. World Science. 7(59). DOI: 10.31435/rsglobal_ws/30092020/7205

7.Котенко В. Алгоритмічні моделі машинного навчання для прогнозування витрат пального транспортними засобами під час доставки зернових культур // Центральнотрапнський науковий вісник. Технічні науки. 2022. Вип. 6(37), ч. 1. С.173-182. DOI: 10.32515/2664-262X.2022.6(37).1.173-182

8. OpenStreetMap. - Режим доступу: <https://www.openstreetmap.org/#map=14/50.0456/24.9593> (дата звернення 16.03.2022).

9.Google Maps. - Режим доступу: www.google.com.ua/maps (дата звернення 11.02.2021).

10. Про заходи щодо збереження автомобільних доріг загального користування: Постанова Кабінету Міністрів України від 27 червня 2007 року № 879 . - Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/npas/84351094>.

11.Основи теорії систем і системного аналізу / Б. М.Четверухін, П. Р. Левковець, О. І. Мельниченко, О. Б. Четверухіна. – Київ: НТУ, 2004. – 272 с.

12. TIBCO Statistica. - Режим доступу: <https://docs.tibco.com/products/tibco-statistica-14-0-0>

13.Статистика (модульний варіант з програмованою формою контролю знань) навчальний посібник / Опря А. Т., Дорогань-Писаренко Л. О., Єгорова О. В., Кононенко Ж. А.– (2-ге вид.). – К. : «Центр учбової літератури», 2014. – 536 с.

14.MATLAB.- Режим доступу: <https://nl.mathworks.com/products/matlab.html>

REFERENCES

1. Berezna, N.H., Biliaieva, O.S., Voitov, V.A., Horiainov, O.M., Karnaukh, M.V., Kravtsov, A.H., Kutia, O.V., Muzylov, D.O., & Shramenko, N.Iu. (2019). *Problemy transportno-lohistychnoho zabezpechennia v aharnii haluzi. Monohrafiia [Problems of transport and logistics support in the agricultural industry. Monograph]*. Kharkiv, Miskdruk. 180 s. (in Ukrainian).
2. Shramenko, N. Yu. (2018). Otsenka zatrat po obsluzhyvaniu potrebytelei pry operatyvnomu planyrovanniu protsessa postavky zernovykh hruzov [Estimation of costs for servicing consumers in the operational planning of the process of supplying grain cargo]. *Tekhnichniy servis ahropromyslovoho, lisovoho ta transportnogo kompleksiv [Technical service of agricultural, forestry and transport complexes]*. № 12. S. 302-309. (in Ukrainian).
3. Muzylov, D. O., & Shramenko, N. Yu. (2021). Vyznachennia serednoi vantazhnosti avtomobiliv pry dostavtsi shvydkopsuvnykh silskohospodarskykh vantazhiv v lantsiuhakh postachan [Determining the average load of cars during the delivery of perishable agricultural goods in supply chains]. *Ukrainskyi zhurnal prykladnoi ekonomiky ta tekhniky [Ukrainian Journal of Applied Economics and Technology]*. Tom 6. № 4. S. 280 – 286. (in Ukrainian).
4. Muzylov, D. O., & Stebakov, Ye. (2014). Metodyka vyznachennia kilkosti odynyts tekhniky zbyralno-transportnogo kompleksu dlia riznykh tekhnolohii dostavky zernovykh kultur [The method of determining the number of units of equipment of the collection and transport complex for various technologies of delivery of grain crops]. *Tekhnichniy servis ahropromyslovoho, lisovoho ta transportnogo kompleksiv [Technical service of agro-industrial, forestry and transport complexes]*. № 2. S. 128-140. (in Ukrainian).
5. Medvediev, Ye.P. (2016). Faktornyi analiz orhanizatsii transportnogo zabezpechennia pry zbyranni vrozhaiu zernovykh kultur v Ukraini [Factor analysis of the organization of transport support during the harvesting of grain crops in Ukraine]. *Upravlinnia proektamy, systemnyi analiz i lohistyka, Naukovyi zhurnal [Project management, system analysis and logistics, Scientific journal]*. Vypusk 18, Chastyna 1: Seriia «Tekhnichni nauky». S.86-93. (in Ukrainian).
6. Shyriaieva S. V., & Svirin D. O. (2020) Factor Research of Prime Cost of International Road Transportation of Party Cargo. *World Science*. 7(59). DOI: 10.31435/rsglobal_ws/30092020/7205 (in Ukrainian).
7. Kotenko, V. (2022). Alhorytmichni modeli mashynnoho navchannia dlia prohnozuvannia vytrat palnogo transportnykh zasobamy pid chas dostavky zernovykh kultur [Machine Learning Algorithmic Models for Forecasting Fuel Consumption by Vehicles of the Grain Crops Delivery]. *Tsentralkoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky [Central Ukrainian scientific bulletin. Technical sciences]*. Vyp. 6(37), ch. 1. S.173-182. DOI: 10.32515/2664-262X.2022.6(37).1.173-182. (in Ukrainian).
8. OpenStreetMap. Retrieved from: <https://www.openstreetmap.org/#map=14/50.0456/24.9593>. (in English).
9. Google Maps. Retrieved from: www.google.com.ua/maps. (in English).
10. Pro zakhody shchodo zberezhenia avtomobilnykh dorih zahalnoho korystuvannia. Postanova Kabinetu Ministriv vid 27 chervnia 2007 roku № 879 [About measures to preserve public highways. Resolution No. 879 of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated June 27, 2007]. Retrieved from: <https://www.kmu.gov.ua/npas/84351094>. (in Ukrainian).
11. Chetverukhin, B. M., Levkovets, P. R., Melnychenko, O. I., & Chetverukhina O. B. (2004). *Osnovy teorii system i systemnoho analizu [Basics of systems theory and system analysis]*. Kyiv: NTU, 2004. 272 s. (in Ukrainian).
12. TIBCO Statistica. Retrieved from: <https://docs.tibco.com/products/tibco-statistica-14-0-0> (in English).
13. Opria, A. T., Dorohan-Pysarenko, L. O., Yehorova, O. V., & Kononenko, Zh. A. (2014). *Statystyka (modulnyi variant z prohramovanoiu formoiu kontroliu znan) navchalnyi posibnyk [Statistics (modular version with a programmable form of knowledge control) study guide]*. Kyiv, Tsentr uchbovoi literatury. 2-ed. 536 s. (in Ukrainian).
14. MATLAB. Retrieved from: <https://nl.mathworks.com/products/matlab.html> (in English).

V. Kotenko. Factor research of functional and value indicators of the grain crops delivery process

The research has been revealed interrelationships between the functional and cost indicators of the grain crops transport process of delivery that made it possible to formulate recommendations on the use of available means of transport by the enterprise to fulfill orders for the grain crops delivery from agricultural enterprises to the elevator. Modeling of the transport process of the grain crops delivery from agricultural enterprises to the elevator using the previously developed method of choosing a rational vehicle has been carried out. Simulation modeling has been carried out for each of the company's fifteen vehicles with a load of more than 20.8 tons. The values of the delivery distance varied within 10 ... 100 km, and the volume of orders was 5.0 ... 22.5 tons.

On the basis of the simulation results, common signs of the use of vehicles were revealed, which made it possible to group the company's vehicles into 5 groups using the method of hierarchical cluster analysis.

For each of the 5 groups of the company's vehicles, a factor analysis was conducted, on the basis of which the closeness of the connection was established and approximating functions were formed for the dependencies between the specific fuel consumption of vehicles and the volume of cargo; the cost of 1 km of the completed order by means of transport and the volume of cargo; total fuel consumption by vehicles and freight traffic. The obtained values of the correlation coefficients indicate the existence of a close relationship for the studied dependencies.

Based on the results of the simulation of the process of grain crop delivery by means of transport, the ratio "cargo volume - distance of transportation" was identified and recommendations were made that would achieve the optimal cost of fulfilling a 1 km order for each of the company's vehicle groups. The obtained results of the researches are intended for use by managers that choose transport for the grain crops delivery from agricultural enterprises to the elevator.

Keywords: factor analysis, transportation process, delivery process, rational vehicle, grain crops.

КОТЕНКО Вікторія Ігорівна, асистент кафедри автомобілів та транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, e-mail: mialkovska.viktoria@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-0033-3302>

Viktoriia KOTENKO, assistant of the Automobiles and Transport Technology Department, Lutsk National Technical University, e-mail: mialkovska.viktoria@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-0033-3302>

DOI 10.36910/automash.v2i19.907