

ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ДОСТАВКИ ВАНТАЖНИХ ВІДПРАВЛЕНЬ НА ОСНОВІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

В.В. Аулін, *д-р. техн. наук, проф.*,
А.В. Гриньків, *канд. техн. наук*,
Д.В. Голуб, *канд. техн. наук, доц.*,
С.В. Лисенко, *канд. техн. наук, доц.*,
А.О. Головатий, *асп.*

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Використано метод математичного планування експерименту, основна мета якого є досягнення максимальної точності вимірювань при мінімальній кількості проведених дослідів і збереженні статистичної достовірності результатів.

Метод планування експерименту дозволяє мінімізувати число необхідних випробувань, встановити раціональний порядок і умови проведення досліджень залежно від їх вигляду і необхідної точності результатів. Якщо ж по яких-небудь причинах число випробувань вже обмежене, то метод дає оцінку точності, з якою в цьому випадку будуть отримані результати. При цьому враховується випадковий характер розсіювання властивостей випробовуваних об'єктів. Вони базуються на методах теорії ймовірності і математичної статистики.

Для визначення раціональної схеми доставки вантажних відправлень обрано методику, яка складається з п'яти етапів:

- побудова альтернативних схем доставки вантажів;
- визначення значень вхідних параметрів моделі та часу виконання окремих операцій;
- побудова моделі схеми доставки збірних вантажів;
- визначення значень оціночного показника;
- вибір раціональної схеми доставки вантажів за визначеним критерієм.

Натурні дослідження проводилися на ТОВ "Автомаг-Україна". У якості вихідних даних використовувався потік замовлень. У якості змінних виступають наступні параметри потоку замовлень: обсяг замовлення вантажу, відстань перевезення вантажу територією України, інтенсивність надходження замовлень та відстань перевезення вантажу територією іноземних держав. Для одержання найбільш достовірних даних про зміну значень параметрів технологічного процесу перевезення визначали необхідну кількість спостережень за формулою:

$$n' = \frac{\sigma^2 \cdot t_{\beta}^2}{\varepsilon^2 + t_{\beta}^2 \cdot \frac{\sigma^2}{N}}, \quad (1)$$

де n' – обсяг вибірки;

t_{β} – показник вірогідності для заданого рівня довірчої ймовірності; при рівні $\beta_0 = 0,95$ $t_{\beta} = 1,96$; – середньоквадратичне відхилення результатів спостережень;

N – загальна кількість спостережень, $N = 100$ од.

ε – похибка розрахунків:

$$\varepsilon = \mu \cdot (1 - P_d), \quad (2)$$

де μ – математичне очікування;

P_d – рівень довірчої ймовірності при $P_d = 0,95$, $t_{\beta} = 1,96$.

Середньоквадратичне відхилення результатів спостережень:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}, \quad (3)$$

де x_i – середнє значення показника для i -го спостереження;
 μ – математичне очікування:

$$\mu = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i. \quad (4)$$

Результати розрахунків наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунків статистичних показників обсягу вибірки

Показники	Обсяг замовлення вантажу, т.	Відстань перевезення вантажу територією України, км.	Інтенсивність надходження замовлень, т/год.	Відстань перевезення вантажу територією іноземних держав, км.
Математичне очікування	5,05	555	8	415
Середньоквадратичне відхилення	1,65	181,67	2,33	21,67
Похибка розрахунків	0,2525	27,75	0,4	20,75
Обсяг вибірки	51	79	60	42

Для перевірки значущості зв'язку між двома змінними використовуємо критерій χ^2 -квадрат (критерій Пірсона), який дозволяє порівнювати розподіли частот незалежно від того, розподілені вони нормально або ні.

Під частотою розуміють кількість появ якої-небудь події. Використовуючи програму Statistica, здійснюємо розрахунки по виявленню законів розподілу визначених параметрів вхідного потоку замовлень.

Розраховані чисельні значення критерію Пірсона порівнювали із табличним значенням. При виконанні умови:

$$\chi_{розр}^2 \leq \chi_{табл}^2, \quad (5)$$

де $\chi_{розр}^2$ – критерій Пірсона розрахунковий;

$\chi_{табл}^2$ – критерій Пірсона табличний.

Вважається, що в даних умовах прийнята гіпотеза щодо моделі розподілу випадкової величини, яка не заперечує спостереженням і її можна використовувати в подальших розрахунках. Приймаємо, що для вхідних параметрів має місце нормальний закон розподілення випадкових величин. Результати отриманих розподілів представлено на рисунках 1–4.

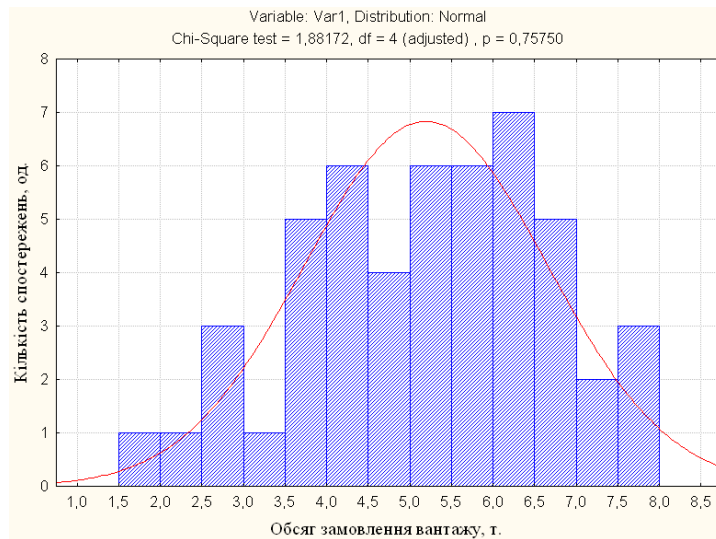


Рисунок 1 – Гістограма розподілу значень обсягу замовлення вантажу за нормальним законом розподілу

За допомогою програми MS Excel та функції ХІ2ОБР визначаємо табличне значення χ^2 для обсягу замовлення вантажу, яке склало 1,96. Оскільки розрахункове значення χ^2 становить 1,88, то умова $\chi^2_{розр} \leq \chi^2_{табл}$ виконується, тобто $1,88 < 1,96$. При проведенні експериментальних досліджень на автомобільному транспорті, рівень довірчої ймовірності повинен складати не менше 5 %. У нашому випадку вона склала 76 %. Таким чином, гіпотеза про розподіл підтверджується.

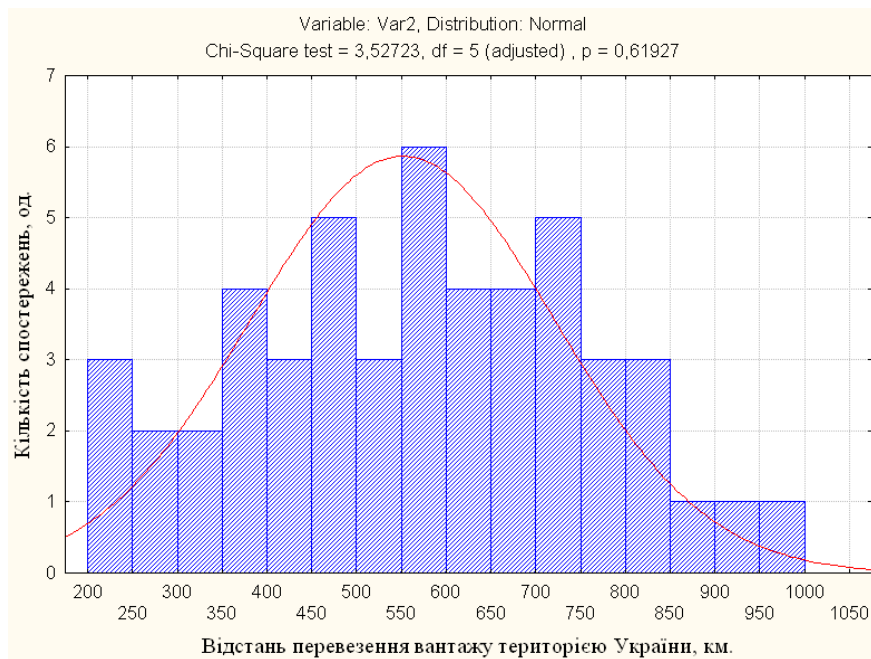


Рисунок 2 – Гістограма розподілу значень відстані перевезення вантажу територією України за нормальним законом розподілу

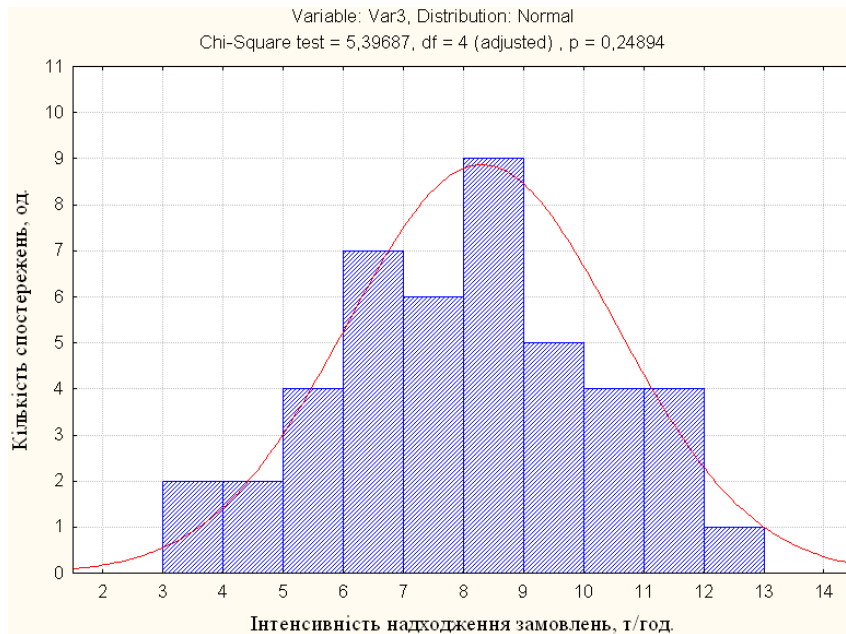


Рисунок 3 – Гістограма розподілу значень інтенсивності надходження замовлень за нормальним законом розподілу

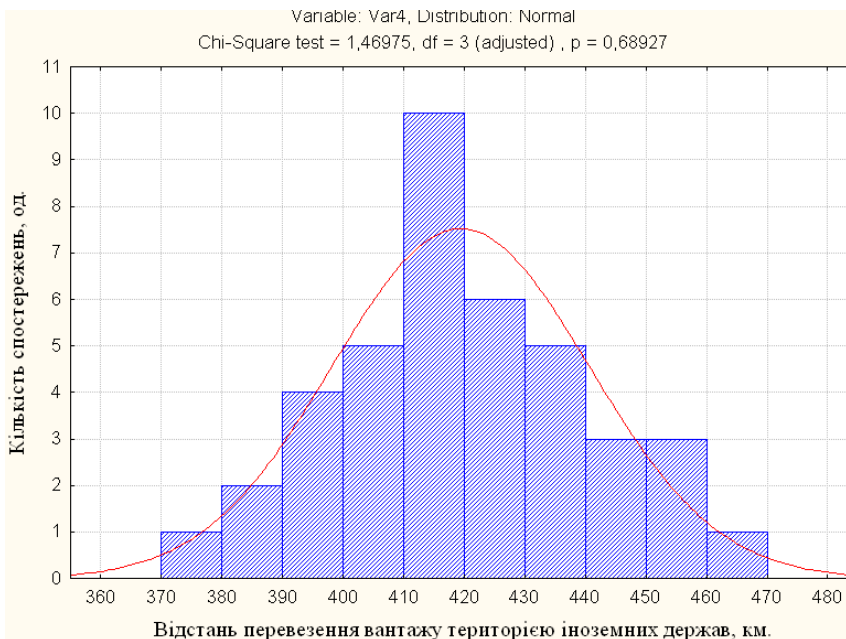


Рисунок 4 – Гістограма розподілу значень відстані перевезення територією іноземної держави за нормальним законом розподілу

При розрахунках табличне значення χ^2 для значень відстані перевезення вантажу територією України склало 3,74, тобто $3,52 < 3,74$, а, отже, умова виконується. Оскільки рівень довірчої ймовірності $62\% > 5\%$, то гіпотеза про розподіл підтверджується.

При розрахунках значення χ^2 для значень інтенсивності надходження замовлень склало 6,44, тобто $6,44 < 5,39$, а, отже, умова виконується. Оскільки рівень довірчої ймовірності $25\% > 5\%$, то гіпотеза про розподіл підтверджується.

При розрахунках значення χ^2 для значень відстані перевезення територією іноземної держави склало 1,54, тобто $1,54 < 1,46$, а, отже, умова виконується. Оскільки рівень довірчої ймовірності $68,92\% > 5\%$, то гіпотеза про розподіл підтверджується.

У таблиці 2 надано вихідні дані, які використовували при розрахунках витрат на доставку за двома схемами. Час навантаження та розвантаження однієї тони, значення якого

змінюються від 1 т/год. та 3 т/год., час відповідних робіт з однією тонною вантажу на терміналі – від 0,5 до 3 т/год., час знаходження однієї тонни вантажу в митниці – 1 т/год. та 4 т/год. – приймаємо середні значення (було здійснені генерація 40 значень за нормальним законом розподілу в MS Excel та визначені середні значення). В розрахунках не враховується режим роботи водія.

Таблиця 2 – Вихідні данні для розрахунків

Назва показника	Значення
Вартість подачі транспортного засобу (ТЗ) до ВВ, грн/км	50
Відстань перевезення з ТП до ВВ, км	15
Вартість перевезення вантажу по території України від ВВ до терміналу регіону відправлення, грн/ткм	2
Вартість перевезення вантажу по території України (від терміналу до митниці), грн/т.км	2,5
Відстань перевезення по території України (від ВВ до терміналу), км	35
Вартість однієї години роботи навантажувача для навантаження вантажу у ВВ, грн/год.	100
Вартість обробки однієї тонни вантажу на терміналі регіону відправлення, грн/т.	200
Вартість митних процедур на українській митниці, грн/год.	100
Вартість митних процедур на іноземній митниці, грн/год.	150
Вартість перевезення вантажу по території іноземної держави, грн/ткм	5
Вартість однієї години роботи навантажувача для розвантаження вантажу у ВВ, грн/год.	600
Вартість подачі транспортного засобу (ТЗ) ТП міжнародного призначення до першого ВВ, грн/км	70
Відстань подачі ТЗ від ТП міжнародного призначення до першого ВВ, км	15
Вартість обробки однієї тонни вантажу на терміналі призначення, грн/т.	350
Вартість перевезення вантажу по території іноземної держави від терміналу призначення до ВО, грн/ткм	10
Відстань перевезення по території іноземної держави від терміналу призначення до ВО	15

Дослідження є експериментом, якщо вхідні змінні змінюються дослідником в умовах, які точно враховуються, дозволяючи управляти ходом дослідів і відтворювати їх результати кожного разу при повторенні з точністю до випадкових помилок.

Початком планування експерименту являється збір, вивчення і аналіз наявних даних про об'єкт. В результаті цього визначають вихідний параметр y і вхідні – x_i . Вихідний параметр (змінна стану об'єкту) повинен мати кількісну характеристику, тобто вимірюватися з достатнім ступенем точності і однозначно характеризувати об'єкт дослідження, що забезпечує коректну постановку задачі.

Однофакторний експеримент використовується у випадку, коли функція мети залежить лише від одного фактора. Спочатку встановлюється нижнє або верхнє значення фактора, тобто один з його граничних рівнів, і потім послідовно знизу нагору, або навпаки, змінюються значення фактора стрибками, відповідно до прийнятого інтервалу варіювання.

Якщо є два, три і більше керуючі фактори, то експеримент називається багатофакторним. Планування багатофакторного експерименту полягає в тому, що всі незалежні змінні (фактори), що беруть участь у експерименті, крім одного, мають постійне і стабілізоване значення на якомусь визначеному рівні, а одна змінна змінюється у всьому діапазоні своїх значень із прийнятими інтервалами. У результаті експерименту отримують цільову функцію однієї незалежної змінної при постійних рівнях інших змінних. Потім

варіюють інший фактор, інші стабілізують, у результаті цільову отримують функцію мети в залежності від іншого фактора, при постійних рівнях решти факторів.

Таким чином, класичний план багатофакторного експерименту, є сумою послідовних однофакторних експериментів. Цей план може бути частковим і повним. Експеримент, у якому реалізуються всі можливі сполучення рівнів факторів, називається повним факторним експериментом (ПФЕ).

Загальна кількість дослідів для повного факторного експерименту з n змінюваними факторами кожний з яких встановлюється на q рівнях буде

$$N = q^n. \quad (5)$$

Найбільше розповсюдження отримали плани експериментів типу 2^n . Зі збільшенням n різко збільшується кількість дослідів, тому якщо $q > 2$, плани ПФЕ рідко використовуються.

В результаті отриманих даних теоретичних досліджень, складено план експерименту для чотирьох параметрів, який складається з 16 серій.

Найбільш прийнятно варіювання факторів тільки на двох рівнях – верхньому – "плюс" і нижньому – "мінус", які є межею діапазонів варіювання відповідних змінних. Побудуємо такий план з кодованими факторами, позначаючи знаками "плюс" і "мінус" одне із двох натуральних значень кожного з факторів.

На основі розробленого плану експерименту представлено таблицю 3, згідно зі зазначенням максимального та мінімального значень аргументів.

Таблиця 3 – План експерименту

Серія дослідів	Рівні варіювання			
	Обсяг замовлення вантажу, т	Відстань перевезення вантажу територією України, км	Інтенсивність надходження замовлень, т/год.	Відстань перевезення вантажу територією іноземних держав, км
1	–	–	–	–
2	–	–	–	+
3	–	–	+	+
4	–	+	+	+
5	+	+	+	+
6	+	–	–	–
7	+	–	–	+
8	+	–	+	+
9	+	+	–	+
10	+	–	+	–
11	–	+	–	–
12	+	+	–	–
13	–	–	+	–
14	+	+	+	–
15	–	+	–	+
16	–	+	+	–

Користуючись даними моделі встановлені 4 фактори, які впливають на ефективність перевезення: обсяг замовлення вантажу (q_i); відстань перевезення вантажу територією України ($L_{пер.ТУ}$); інтенсивність надходження замовлень (I_3); відстань перевезення вантажу територією іноземних держав ($L_{пер.ІД}$).

Для розробки плану експерименту визначаємо мінімальні та максимальні значення, для отриманих параметрів розподілення. Для обсягу замовлення вантажу, що розподіляється за нормальним законом, мінімальне значення дорівнює 0,1 т та максимальне значення дорівнює 10 т. Для відстані перевезення вантажу територією України, розподіленою за нормальним законом, мінімальне значення дорівнює 10 км, а максимальне – 1100 км. Для відстань перевезення вантажу територією іноземних держав, розподіленою за нормальним законом, мінімальне значення дорівнює 350 км, а максимальне – 480 км. Для інтенсивності

надходження замовлень, розподіленою за нормальним законом розподілу, мінімальне значення дорівнює 1 т/год, а максимальне – 15 т/год. (таблиця 4).

Таблиця 4 – План експерименту з результатами отриманих даних

Серія дослідів	Рівні варіювання			
	Обсяг замовлення вантажу, т	Відстань перевезення вантажу територією України, км	Інтенсивність надходження замовлень, т/год.	Відстань перевезення вантажу територією іноземних держав, км
1	0,1	10	1	350
2	10	10	1	350
3	10	1100	1	350
4	10	1100	15	350
5	10	1100	15	480
6	0,1	1100	1	480
7	10	10	15	350
8	0,1	10	15	480
9	10	10	1	480
10	0,1	10	15	350
11	10	1100	1	480
12	10	10	15	480
13	0,1	10	1	480
14	0,1	1100	1	350
15	0,1	1100	15	350
16	0,1	1100	15	480

На прикладі взаємодії учасників доставки збірних вантажних відправлень за участю терміналу регіону відправлення, для першої серії проведемо розрахунки витрат на доставку вантажів у міжнародному сполученні. Спочатку визначали витрати на рух автомобіля з транспортного підприємства (ТП) до ВВ, перевезення вантажу від ВВ до терміналу та по території України, витрати на навантаження у ВВ, обробку вантажу на терміналі відправлення, здійснення митних операцій на митницях, перевезення вантажу по території іноземної держави і на розвантаження у вантажоодержувачів.

Твким чином у підсумку витрати на доставку збірних відправлень у міжнародному сполученні при використанні складу укрупнення складуть: 10924, 68 грн.

Результати розрахунків по іншим серіям для цієї схеми наведено у таблицях 5 і 6.

Таблиця 5 – Результати проведення розрахунків для даної схеми

Серія дослідів	Витрати на доставку, грн.
1	1024,68
2	28217,86
3	55467,86
4	71467,86
5	77967,86
6	1362,18
7	44217,86
8	1249,68
9	34717,86
10	1184,68
11	61967,86
12	50717,86
13	1089,68
14	1297,18
15	1457,18
16	1522,18

Таблиця 6 – Результати проведення розрахунків для альтернативної схеми

Серія дослідів	Витрати на доставку, грн.
1	1255,42
2	33091,67
3	60341,67
4	66175,00
5	72675,00
6	1707,92
7	38925,00
8	1493,75
9	39591,67
10	1428,75
11	66841,67
12	45425,00
13	1435,42
14	1642,92
15	1701,25
16	1766,25

Для альтернативної схеми доставки визначали тільки ті складові, які характерні для цієї схеми, а інші брали раніше розраховані, тобто розраховували витрати на рух автомобіля з транспортного підприємства (ТП) до ВВ, перевезення по території України, на навантаження у ВВ, обробку вантажу на терміналі призначення, перевезення вантажу по території іноземної держави від терміналу до ВО.

У підсумку витрати на доставку збірних вантажних відправлень у міжнародному сполученні за альтернативною схемою складуть: 1255,42 грн.

Список літератури

1. Аулін В.В., Жулай О.Ю., Лівіцький О.М. Транспортні засоби в агропромисловому комплексі та система діагностичного моніторингу їх технічного стану / Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин // Загальнодерж. міжвідомчий наук.-техн. зб. - Кіровоград: КНТУ. - 2007р. Вип.37. С. 146-154.
2. Аулін В.В., Голуб Д.В. Нормативно-правове забезпечення надійності функціонування транспортних систем в Україні // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія технічні науки. – 2016. – №2 (77). – С.28-35.
3. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В. Ступінь забезпечення надійності та якості пасажирських і вантажних автомобільних перевезень в Україні національними та міжнародними стандартами // Вісник інж. академії України. – 2016. – №3. – С.156-162.
4. Аулін В.В., Голуб Д.В., Губка А.Б. Логістичний підхід в дослідженні процесів вантажних перевезень у фермерських господарствах агропромислового комплексу України // Вісник інж. академії України. – 2016. – №4. – С. 61-66.
5. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем: монографія під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. – Кропивницький: Видавництво ТОВ "КОД", 2017. – 370 с.
6. Aulin V., Velykodnyi D., Dyachenko V. Concept of development and formation of transport-logistic systems in the agroindustrial complex / Modern Management: Logistics and Education. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, 2018. - P.165-169.
7. Aulin V., Pavlenko O., Velikodnyy D., Kalinichenko O. et al. Methodological approach to estimation of efficiency of the facing of the stock complex of transport and logistic centers in Ukraine ICCPT 2019: Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference, May 28-29, 2019, Ternopil, Ukraine. – С.120-134.
8. Аулін В.В., Голуб Д.В., Великодний Д.О., Дьяченко В.О. Розв'язання проблеми надійності технологічних процесів вантажних перевезень підприємствами агропромислового виробництва // Центрально-український науковий вісник. Технічні науки. Вип. 1(32). Кропивницький: ЦНТУ, 2019. С.36-45.
9. Aulin V., Hrynkiv A., Rogovskii I., Lysenko S. et al. Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters for a cylinder-piston group in the diesel engine during operation // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. - 2020. Vol. 3 (5 - 105). - P. 19-29.
10. Аулін В.В., Голуб Д.В., Біліченко В.В., Замуренко А.С. Формування показників оцінки ефективності транспортного процесу перевезень // Вісник машинобудування та транспорту №1(11), 2020. С.5-10.