

УДК 656.135.4

П.Ф. Горбачов, О.В. Макарічев, Т.В. Немна, С.В. Свічинський

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНУ РОЗПОДІЛУ КРИТЕРІЮ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ

Наведені результати дослідження впливу випадкових складових на закономірності розподілу питомого прибутку автотранспортного підприємства за оборотний рейс при здійсненні міжнародних перевезень за разовими замовленнями. Визначений вид функції та щільності розподілу даного прибутку. Вказано шляхи використання отриманих закономірностей.

Ключові слова: закон розподілу, прибуток, оборотний рейс, разова заявка, міжнародні перевезення.

Постановка проблеми

Отримання прибутку є основною метою функціонування практично будь-якого підприємства, в т.ч. і автотранспортного. Загальновідома класична залежність для визначення прибутку підприємства потребує наявності інформації про величину доходів і витрат, які в діяльності автотранспортних підприємств (АТП) не завжди легко прогнозовані, особливо в умовах прийняття рішення про виконання міжнародного перевезення. Подібний прогноз набуває додаткової складності, якщо перевезення здійснюються за разовими (нерегулярними) замовленнями. Така ситуація зумовлена великою кількістю факторів, що можуть суттєво вплинути на величину прибутку і багато з них є випадковими величинами. Врахування закономірностей у випадкових складових транспортного процесу з виконання разового міжнародного перевезення при визначенні його прибутковості є вельми складною задачею, рішення якої може бути отримане за наявності закону розподілу величини прибутку. Це вказує на актуальність вирішення задачі пошуку аналітичних виразів, за допомогою яких можна буде оцінювати ймовірність отримання того чи іншого прибутку за визначених в разовому замовленні умов виконання перевезення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Ефективність виконання перевезень вантажів у міжнародному сполученні можна оцінити багатьма критеріями [1-7], але найбільш цікавими з точки зору керівництва АТП залишаються економічні. В той же час слід зазначити, що вибір будь-якого критерію залежить від задачі, що вирішується, і тому доцільним буде аналіз економічних критеріїв ефективності.

Собівартість перевезень характеризує питомі витрати АТП на 1 тону перевезеного вантажу або 1 тоно-кілометр виконаної транспортної роботи [8, 9]:

$$S_m = \frac{B}{P}, \quad (1)$$

де B – абсолютне значення витрат АТП на виконання перевезення, грн;

P – обсяг перевезеного вантажу т.

Прибуток від перевезень є основою розвитку підприємства і може бути розрахований як

$$\Pi = (d - S_m) \cdot P, \quad (2)$$

де d – доходна ставка, прийнята на АТП, грн/т;

S_m – собівартість перевезення однієї тони вантажу, грн/т.

Рідше використовуваними критеріями є вартість вантажної маси, що перебуває в дорозі, а також фінансові витрати від пошкодження, незбереження або природних втрат вантажу в процесі транспортування [8].

Також як критерій ефективності перевізного процесу може бути використана вартість або наведена вартість доставки. Вартість доставки визначається як сума витрат на виконання окремих операцій перевізного процесу.

Наведена вартість доставки є інтегральною оцінкою вартості власне вантажу та його доставки з урахуванням фактору часу:

$$B_{нав} = (B_{вант} + B_{\delta}) \cdot (1 + \Theta)^t, \quad t = T_{\delta} / 365, \quad (3)$$

де $B_{вант}$ – закупівельна вартість вантажу, грн.;

B_{δ} – вартість доставки, грн.;

$(1 + \Theta)^t$ – множник нарощування відсотків по процентній ставці Θ за період t [1].

У роботі [6] описуються можливі варіанти оцінки економічної ефективності транспортного процесу з доставки вантажів у міжнародному сполученні з точки зору різних сторін доставки. Так, з точки зору експортера вантажу ефективність доставки повинна визначатись з урахуванням

ринкової ціни вантажу в пункті призначення, прибутку від експорту, логістичних витрат і витрат, пов'язаних з експортом товару, часу оформлення банківських документів. З точки зору імпортера ефективність розглядається також в залежності від ринкової ціни вантажу в пункті призначення, прибутку від реалізації вантажу на вітчизняному ринку, логістичних витрат, в т.ч. на управління запасами, і витрат, пов'язаних з імпортом. З точки зору оператора перевезення ефективність доставки вантажу повинна оцінюватись з огляду на собівартість доставки, прибутку від організації доставки, обсягу перевезень, показника конкурентоспроможності послуг, що надаються оператором. З точки зору перевізників ефективність доставки залежить від її собівартості, прибутку від перевезення, обсягу перевезень, показника конкурентоспроможності транспортних послуг, що надаються перевізником.

Розглянутим критеріям властиві такі недоліки, як неврахування випадковості елементів транспортного процесу, особливостей перетину митних пунктів і пунктів пропуску через кордони різних держав з Україною. Також суттєвим загальним недоліком проаналізованих критеріїв є неврахування прибутковості перевезення по відношенню до його тривалості, адже, наприклад, такий елемент міжнародного перевізного процесу, як очікування зворотного завантаження, може суттєво вплинути на доцільність рішення про організацію перевезення взагалі, особливо якщо це стосується перевезень вантажів за разовими замовленнями.

З метою виключення даних недоліків в [10] був запропонований такий критерій ефективності, як питомий прибуток АТП за оборотний рейс:

$$\Pi_{об} = \frac{\Pi_{об}}{t_{об}}, \quad (4)$$

де $\Pi_{об}$ – абсолютна величина прибутку підприємства за оборотний рейс, грн/рейс;

$t_{об}$ – тривалість оборотного рейсу, діб/рейс.

Даний критерій ефективності з урахуванням складових доходної та витратної частин перевезення має вигляд [10]

$$\Pi_{об} = \frac{(T_{пр} - c_{вант}) \cdot l_{пр} + \Delta - c_{пост} \cdot \Psi}{\Psi}, \quad (5)$$

$$\Delta = \sum_{j=1}^{n_{пр}} s_{пр j} \cdot \tau_{нн j} + (c_{зв} - c_{вант}) \cdot \lambda_{зв} + \sum_{j=1}^{n_{зв}} s_{зв j} \cdot \tau_{нн j} - c_{пор} \cdot \lambda_{пор}, \quad (6)$$

$$\Psi = (1 + k_t) \cdot \frac{l_{пр}}{v_{вант}} + \tau_{оз} + \frac{\lambda_{пор}}{v_{пор}} + (1 + k_t) \cdot \frac{\lambda_{зв}}{v_{вант}} +, \quad (7)$$

$$+ \sum_d (t_{мов d} + t_{моп d} + t_{нд} + t_{pd} + t_{пп d}), \quad (7)$$

де Δ – випадкова фінансова складова критерію, згортка випадкових величин, грн;

Ψ – випадкова величина тривалості оборотного рейсу, діб,

$T_{пр}$ – тариф за 1 км пробігу (тариф на перевезення вантажу) в прямому напрямку, грн/км;

$n_{пр}, n_{зв}$ – кількість видів наднормативного простою, передбачених договором на виконання рейсу в прямому та зворотному напрямках відповідно, од.;

$s_{пр j}, s_{зв j}$ – ставка штрафних санкцій j -го виду при виконанні рейсу в прямому та зворотному напрямках відповідно, грн/добу;

$\tau_{нн j}$ – тривалість наднормативного простою j -го виду, діб;

$c_{зв}$ – тариф за 1 км пробігу (тариф на перевезення вантажу) в зворотному напрямку, грн/км;

$c_{вант}, c_{пор}$ – питомі змінні витрати на 1 км пробігу з вантажем (навантаженого пробігу) і без вантажу (порожнього пробігу) відповідно, грн/км;

$\lambda_{зв}$ – довжина рейсу в зворотному напрямку, км;

$\lambda_{пор}$ – порожній пробіг в оборотному рейсі – дальність подачі автомобіля під зворотне завантаження, км;

$l_{пр}$ – довжина рейсу в прямому напрямку, км;

k_t – коефіцієнт пропорційності між часом відпочинку водіїв та часом руху автомобіля; $k_t = const$ для кожної окремої форми організації праці водіїв;

$v_{вант}, v_{пор}$ – відповідно середня технічна швидкість руху автомобіля з вантажем та порожнього, км/год.;

$\tau_{оз}$ – тривалість очікування підходящої заявки на зворотне перевезення вантажу, діб;

d – індекс напрямку виконання перевезення: при виконанні прямого рейсу $d = пр$, при виконанні зворотного рейсу $d = зв$,

$t_{мов d}$ – тривалість митного оформлення вантажу в країні відправлення, год.;

$t_{моп d}$ – тривалість митного оформлення вантажу в країні призначення, год.;

$t_{нд}$ – тривалість навантаження автомобіля (з урахуванням очікування на навантаження), год.;

t_{pd} – тривалість розвантаження автомобіля (з урахуванням очікування на розвантаження), год.;

$t_{пп d}$ – витрати часу на прикордонні переходи (на проходження пунктів пропуску через державний кордон), год.

Вираз (5) дозволяє отримати закон розподілу величини, для чого потрібно здійснити відповідні математичні перетворення з урахуванням припущень про закони розподілу випадкових

складових процесу перевезення вантажу у міжнародному сполученні.

Постановка завдання

Встановлення закону розподілу величини $\rho_{об}$ представляє науковий та практичний інтерес, адже ймовірність отримання певного (питомого) прибутку є досить корисною інформацією для осіб, що приймають рішення про доцільність виконання перевезення. Знання даної ймовірності дозволить зорієнтувати менеджера транспортного підприємства щодо потенційної прибутковості виконання рейсу, дасть можливість за необхідності порівняти декілька заявок на перевезення між собою, наприклад, при умові майже одночасного надходження заявок та потребі виставити їм пріоритети.

Отже, постає задача пошуку закону розподілу величини $\rho_{об}$, який за визначенням представляє собою функцію (або правило), що дозволяє знаходити ймовірність виникнення певних значень випадкової величини або її потрапляння у деякий інтервал. Класичними прикладами таких функцій є функція розподілу та щільність розподілу. Їх встановлення для величини повинне спиратись на припущення про закономірності або на відомі закони розподілу значень складових виразу (5).

Додатковою перевагою знання закону розподілу $\rho_{об}$ також може стати поява можливості для визначення ймовірності понести збитки в результаті доставки вантажу, що є свого роду оцінкою ризику в перевізній діяльності.

Формування функції та щільності розподілу питомого прибутку автотранспортного підприємства за оборотний рейс в міжнародному сполученні

Вираз (5) дозволяє зрозуміти, що питомий прибуток $\rho_{об}$ являє собою випадкову величину, котра залежить від декількох інших випадкових величин: дальності подачі автомобіля під зворотне завантаження $\lambda_{пор}$, яка являє собою довжину порожнього пробігу при отриманні заявки на перевезення в зворотному напрямку (з-за кордону до України), довжини рейсу в зворотному напрямку $\lambda_{зв}$, часу очікування (або пошуку) заявки на перевезення вантажу в зворотному напрямку $\tau_{оз}$. При цьому передбачається, що довжина рейсу в прямому напрямку $l_{пр}$ є постійною (невипадковою) величиною, оскільки стає відомою перевізнику до початку перевезення.

Як було встановлено у роботі [11], величина $\lambda_{пор}$ може бути описана показниковим розподілом, параметр якого у подальшому буде позначений як γ .

До цього слід додати, що окрім випадковості значення власне порожнього пробігу при подачі автомобіля під зворотне завантаження, випадковим є і напрямок цього пробігу при отриманні заявки. Це потрібно враховувати при дослідженні властивостей величини $\lambda_{зв}$, адже довжина рейсу в зворотному напрямку залежить від розташування пункту зворотного завантаження відносно пункту призначення вантажу з України.

Маючи це на увазі, дослідження характеристик $\lambda_{зв}$ можна провести, використовуючи полярну систему координат, рис. 1, в якій пункт призначення вантажу, що перевозиться в прямому напрямку можна прийняти як початок координат, пункт відправлення вантажу з України – позначити точкою Q з координатами $(l_{пр}, 0)$ а пункт зворотного завантаження – точкою P з координатами $(\lambda_{пор}, \varphi)$.

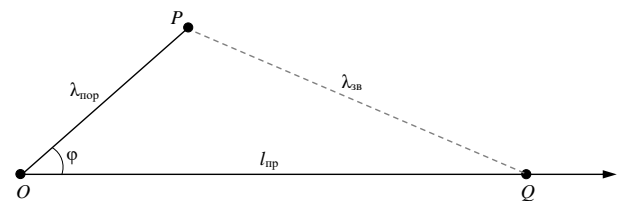


Рис. 1. Графічне представлення взаємного розташування пункту відправлення та призначення вантажу в прямому напрямку та пункту зворотного завантаження

В даних умовах точку Q можна вважати фіксованою, а координати точки P – незалежними випадковими величинами. З огляду на рис. 1, полярний радіус являє собою дальність подачі автомобіля під зворотне завантаження $\lambda_{пор}$, яка розподілена за показниковим законом з параметром γ , а довжина відрізка PQ відбиває довжину рейсу в зворотному напрямку, тобто $\lambda_{зв} = |PQ|$. При цьому величину φ доцільно вважати рівномірно розподіленою на проміжку $[0; 2\pi]$ у зв'язку з тим, що більшість транспортних зон, до яких доставляється вантаж у прямому рейсі з України, не мають територіальних обмежень та поява вантажу у будь-якому напрямку відносно пункту призначення прямого рейсу може вважатися рівномірною.

З врахуванням цього можна перейти до пошуку ймовірнісного розподілу випадкової величини довжини зворотного рейсу $\lambda_{зв}$. Згідно з теоремою косинусів, яка обумовлює симетрію відносно полярної осі:

$$\lambda_{зв}^2 = l_{пр}^2 + \lambda_{пор}^2 - 2 \cdot l_{пр} \cdot \lambda_{пор} \cdot \cos \varphi, \quad (0 \leq \varphi \leq \pi). \quad (8)$$

Для того, щоб знайти ймовірність $P\{\lambda_{зв} \leq t\} = P\{\lambda_{зв}^2 \leq t^2\}$ з урахуванням того, що $\lambda_{зв} > 0$ та $t > 0$, необхідно вирішити нерівність

$$l_{пр}^2 + \lambda_{пор}^2 - 2 \cdot l_{пр} \cdot \lambda_{пор} \cdot \cos \varphi \leq t^2. \quad (9)$$

Тут слід зауважити, що при $OP \perp PQ$ досягається мінімум довжини $|PQ| = \lambda_{зв}$, рівний $l_{пр} \cdot \sin \varphi$, тобто $\min_{\lambda_{пор}} \lambda_{зв} = l_{пр} \cdot \sin \varphi$ і досягається при $\lambda_{пор}^* = l_{пр} \cdot \cos \varphi$. Тому при $t \leq l_{пр} \cdot \sin \varphi$ ймовірність $P\{\lambda_{зв} \leq t\} = 0$.

З огляду на симетрію відносно полярної осі, кут φ доцільно розглядати в межах $[0; \pi]$. При $t > l_{пр} \cdot \sin \varphi$ нерівність (9) відносно полярного радіусу $\lambda_{пор}$ як рішення має проміжок $[\lambda_{пор 1}(\varphi); \lambda_{пор 2}(\varphi)]$, де

$$\lambda_{пор 1}(\varphi) = l_{пр} \cdot \cos \varphi - \sqrt{(l_{пр} \cdot \cos \varphi)^2 - (l_{пр}^2 - t^2)} = . \quad (10)$$

$$= l_{пр} \cdot \cos \varphi - \sqrt{t^2 - l_{пр}^2 \cdot \sin^2 \varphi}$$

$$\lambda_{пор 2}(\varphi) = l_{пр} \cdot \cos \varphi + \sqrt{t^2 - l_{пр}^2 \cdot \sin^2 \varphi} . \quad (11)$$

Таким чином, при фіксованому полярному куті φ , $0 \leq \varphi \leq \pi/2$

$$P_{\varphi}\{\lambda_{зв} \leq t\} = \begin{cases} 0 & \text{при } t \leq l_{пр} \cdot \sin \varphi, \\ e^{-\gamma \cdot \lambda_{пор 1}(\varphi)} - e^{-\gamma \cdot \lambda_{пор 2}(\varphi)} & \text{при } t > l_{пр} \cdot \sin \varphi, \\ 0 & \text{при } t < l_{пр} \cdot \sin \varphi, \\ 0 & \text{при } t > l_{пр} \cdot \sin \varphi, \end{cases} \quad (12)$$

а при $\pi/2 \leq \varphi \leq \pi$

$$P_{\varphi}\{\lambda_{зв} \leq t\} = \begin{cases} 0 & \text{при } t \leq l_{пр}; \\ 1 - e^{-\gamma \cdot \lambda_{пор 2}(\varphi)} & \text{при } t > l_{пр}, \end{cases} \quad (13)$$

так як $\lambda_{пор 1}(\varphi) \leq 0$.

$$F_1(t) = \int_0^{\arcsin \frac{t}{l_{пр}}} \left\{ \gamma \cdot e^{-\gamma \cdot \lambda_{пор 1}(\varphi)} \cdot \frac{t}{\sqrt{t^2 - l_{пр}^2 \cdot \sin^2 \varphi}} + \gamma \cdot e^{-\gamma \cdot \lambda_{пор 2}(\varphi)} \cdot \frac{t}{\sqrt{t^2 - l_{пр}^2 \cdot \sin^2 \varphi}} \right\} \frac{d\varphi}{\pi} = \int_0^{\arcsin \frac{t}{l_{пр}}} \left\{ \gamma \cdot [e^{-\gamma \cdot \lambda_{пор 1}(\varphi)} + e^{-\gamma \cdot \lambda_{пор 2}(\varphi)}] \cdot \frac{t}{\sqrt{t^2 - l_{пр}^2 \cdot \sin^2 \varphi}} \right\} \frac{d\varphi}{\pi} \quad (19)$$

і

$$F_2'(t) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left\{ \gamma \cdot e^{-\gamma \cdot \lambda_{пор}(\alpha)} \cdot \frac{t}{\sqrt{t^2 - l_{пр}^2 \cdot \sin^2 \alpha}} \right\} \frac{d\alpha}{\pi} \quad (20)$$

Повертаючись до дослідження характеристик випадкової величини питомого прибутку $P_{об}$, в формулах (6) та (7) для зручності подальших перетворень доцільно ввести заміни

$$X_{об} = \sum_{j=1}^{n_{пр}} s_{пр j} \cdot \tau_{пр j} + \sum_{j=1}^{n_{зв}} s_{зв j} \cdot \tau_{зв j} \quad \text{та} \quad Y_{об} = \sum_d (t_{мов d} +$$

В результаті можна знайти функцію розподілу додатної випадкової величини $\lambda_{зв}$:

$$F(t) = P\{\lambda_{зв} \leq t\} = \begin{cases} 0 & \text{при } t \leq 0; \\ F_1(t) & \text{при } 0 < t < l_{пр}; \\ F_2(t) & \text{при } t \geq l_{пр}. \end{cases} \quad (14)$$

Тут

$$F_1(t) = \int_0^{\arcsin \frac{t}{l_{пр}}} \left\{ e^{-\gamma \cdot \lambda_{пор 1}(\varphi)} - e^{-\gamma \cdot \lambda_{пор 2}(\varphi)} \right\} \frac{d\varphi}{\pi} \quad (15)$$

З урахуванням рівномірного розподілу $1/\pi$ умовну ймовірність $P_{\varphi}(\lambda_{зв} \leq t)$, котра по суті записана в чисельнику підінтегрального виразу в (15), необхідно інтегрувати по φ при $t > l_{пр} \cdot \sin \varphi$, тобто коли $0 \leq \varphi \leq \arcsin t/l_{пр}$, адже при $t \leq l_{пр} \cdot \sin \varphi$ і коли $\arcsin t/l_{пр} \leq \varphi \leq \pi/2$, ймовірність (12) дорівнює 0.

Далі у виразі (11) для $\lambda_{пор 2}(\varphi)$ зручно зробити заміну $\alpha = (\pi - \varphi)$ і в результаті він запишеться як

$$\lambda_{пор 2}(\varphi) = \lambda_{пор}(\alpha) = -l_{пр} \cdot \cos \alpha + \sqrt{t^2 - l_{пр}^2 \cdot \sin^2 \alpha} . \quad (16)$$

Тоді

$$F_2(t) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left\{ 1 - e^{-\gamma \cdot \lambda_{пор}(\alpha)} \right\} \frac{d\alpha}{\pi} \quad (17)$$

Щільність випадкової величини $\lambda_{зв}$ (довжини рейсу в зворотному напрямку) запишеться як

$$f(t) = F'(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t \leq 0; \\ F_1'(t) & \text{при } 0 < t < l_{пр}; \\ F_2'(t) & \text{при } t \geq l_{пр}, \end{cases} \quad (18)$$

де

$+t_{моп d} + t_{нд} + t_{pd} + t_{пнд}$) і переписати формули як

$$\Delta = (\zeta_{зв} - c_{ванг}) \cdot \lambda_{зв} - c_{пор} \cdot \lambda_{пор} + X_{об} \quad (21)$$

$$\Psi = (1 + k_t) \cdot \frac{l_{пр}}{v_{ванг}} + \tau_{оз} + \frac{\lambda_{пор}}{v_{пор}} + (1 + k_t) \cdot \frac{\lambda_{зв}}{v_{ванг}} + Y_{об} \quad (22)$$

де $X_{об}$ – додатковий дохід АТП від виконання рейсу в прямому та зворотному напрямку, не пов’язаний з предметом договору на перевезення вантажу;

$Y_{об}$ – складова часу доставки, безпосередньо не пов’язана з рухом вантажу.

Довжину рейсу в зворотному напрямку, спираючись на вираз (8), можна записати як

$$\lambda_{зв} = \sqrt{l_{пр}^2 + \lambda_{пор}^2 - 2 \cdot l_{пр} \cdot \lambda_{пор} \cdot \cos \varphi}. \quad (23)$$

З огляду на сутність величин, які входять до складу виразів (21), (22), можна зробити наступні припущення про їх розподіли:

- час очікування заявки на перевезення вантажу в зворотному напрямку $\tau_{оз}$ за умовами виникнення може мати показниковий розподіл через його схожість з часом очікування в черзі в системі масового обслуговування при пуассонівському потоці відповідних заявок. Параметр даного розподілу можна позначити через ν ;

- $Y_{об}$ гіпотетично може мати гама-розподіл

$$F(t) = P(\Pi_{об} \leq t) = P\left\{ \frac{(T_{пр} - c_{вант}) \cdot l_{пр} + \Delta}{\Psi} - c_{пост} \leq t \right\} = P\left\{ (T_{пр} - c_{вант}) \cdot l_{пр} + \Delta \leq \Psi \cdot (c_{пост} + t) \right\}$$

$$= P\left\{ (T_{пр} - c_{вант}) \cdot l_{пр} + X_{об} + (\zeta_{зв} - c_{вант}) \cdot \lambda_{зв} - c_{пор} \cdot \lambda_{пор} - (t + c_{пост}) \cdot (1 + k_t) \cdot \frac{l_{пр}}{v_{вант}} - (t + c_{пост}) \cdot (1 + k_t) \cdot \frac{\lambda_{зв}}{v_{вант}} - (t + c_{пост}) \cdot \frac{\lambda_{пор}}{v_{пор}} - (t + c_{пост}) \cdot Y_{об} \leq (t + c_{пост}) \cdot \tau_{оз} \right\} = P\left\{ \tau_{оз} \geq \left[(T_{пр} - c_{вант}) \cdot l_{пр} + X_{об} + (\zeta_{зв} - c_{вант}) \cdot \lambda_{зв} - c_{пор} \cdot \lambda_{пор} \right] \cdot (t + c_{пост})^{-1} - \left(\frac{1 + k_t}{v_{вант}} \right) \cdot (l_{пр} + \lambda_{зв}) - \frac{\lambda_{пор}}{v_{пор}} - Y_{об} \right\}. \quad (24)$$

Рахуючи φ рівномірно розподіленою на $[0; 2\pi]$ та беручи до уваги викладені вище міркування щодо

через те, що її складові – тривалість митного оформлення вантажу та проходження пунктів пропуску через державний кордон добре описуються показниковим розподілом, що було встановлено у роботах [12, 13]. Окрім цього, згідно з відомими результатами досліджень, викладеними у [8], стосовно тривалості навантаження і розвантаження можна зробити припущення про їх розподіл за показниковим законом або законом Ерланга. Параметри очікуваного гама-розподілу величини $Y_{об}$ можна позначити як $(l; \mu)$;

- $\zeta_{зв}$ також може мати гама-розподіл, оскільки її добуток з довжиною рейсу в зворотному напрямку $\lambda_{зв}$, розподіл якої згідно з (15) та (17) має показниковий характер, визначають прибуток АТП, а також через те, що гама-розподіл є доволі гнучким і загальним по відношенню до інших розподілів. Для параметрів даного гама-розподілу можна ввести позначення $(n; \lambda)$.

Спираючись на вирази (5), (21), (22), функція розподілу питомого прибутку буде мати вигляд

здогадних розподілів $\tau_{оз}$, $\lambda_{пор}$, $\zeta_{зв}$, $Y_{об}$ та їх параметрів, функцію розподілу можна переписати як

$$F(t) = P(\Pi_{об} \leq t) = \int_0^{\infty} \frac{\lambda^n \cdot \zeta_{зв}^{n-1}}{(n-1)!} \cdot e^{-\lambda \cdot \zeta_{зв}} d\zeta_{зв} \cdot \int_0^{\infty} \frac{\mu^l \cdot y^{l-1}}{(l-1)!} \cdot e^{-\mu \cdot y} dy \times \int_0^{\infty} \gamma \cdot e^{-\gamma \cdot \lambda_{пор}} d\lambda_{пор} \cdot \int_0^{2\pi} \exp\{-\nu \cdot [(T_{пр} - c_{вант}) \cdot l_{пр} + X_{об} + (\zeta_{зв} - c_{вант}) \cdot \sqrt{l_{пр}^2 + \lambda_{пор}^2 - 2 \cdot l_{пр} \cdot \lambda_{пор} \cdot \cos \varphi} - c_{пор} \cdot \lambda_{пор}] \cdot (t + c_{пост})^{-1} - \left(\frac{1 + k_t}{v_{вант}} \right) \times \left(l_{пр} + \sqrt{l_{пр}^2 + \lambda_{пор}^2 - 2 \cdot l_{пр} \cdot \lambda_{пор} \cdot \cos \varphi} \right) - \frac{\lambda_{пор}}{v_{пор}} - Y_{об}\} \frac{d\varphi}{2\pi}$$

При цьому щільність розподілу питомого прибутку матиме вигляд

$$f_{\Pi_{об}}(t) = \int_0^{\infty} \frac{\lambda^n \cdot \zeta_{зв}^{n-1}}{(n-1)!} \cdot e^{-\lambda \cdot \zeta_{зв}} d\zeta_{зв} \cdot \int_0^{\infty} \frac{\mu^l \cdot y^{l-1}}{(l-1)!} \cdot e^{-\mu \cdot y} dy \cdot \int_0^{\infty} \gamma \cdot e^{-\gamma \cdot \lambda_{пор}} d\lambda_{пор} \cdot \int_0^{2\pi} \exp\{-\nu \cdot [(T_{пр} - c_{вант}) \cdot l_{пр} + X_{об} + (\zeta_{зв} - c_{вант}) \cdot \sqrt{l_{пр}^2 + \lambda_{пор}^2 - 2 \cdot l_{пр} \cdot \lambda_{пор} \cdot \cos \varphi} - c_{пор} \cdot \lambda_{пор}] \cdot (t + c_{пост})^{-1} - \left(\frac{1 + k_t}{v_{вант}} \right) \times \left(l_{пр} + \sqrt{l_{пр}^2 + \lambda_{пор}^2 - 2 \cdot l_{пр} \cdot \lambda_{пор} \cdot \cos \varphi} \right) - \frac{\lambda_{пор}}{v_{пор}} - Y_{об}\} \times \nu \cdot [(T_{пр} - c_{вант}) \cdot l_{пр} + X_{об} + (\zeta_{зв} - c_{вант}) \cdot \sqrt{l_{пр}^2 + \lambda_{пор}^2 - 2 \cdot l_{пр} \cdot \lambda_{пор} \cdot \cos \varphi} - c_{пор} \cdot \lambda_{пор}] \cdot (t + c_{пост})^{-2} \frac{d\varphi}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \left(\frac{\lambda^n \cdot \zeta_{зв}^{n-1}}{(n-1)!} \cdot e^{-\lambda \cdot \zeta_{зв}} \right) \times$$

$$\begin{aligned} & \times \left(\frac{\mu^l \cdot y^{l-1}}{(l-1)!} \cdot e^{-\mu \cdot y} \right) \cdot \left(\gamma \cdot e^{-\gamma \cdot \lambda_{пор}} \right) \cdot \exp \left\{ -\nu \cdot \left[(T_{пр} - c_{вант}) \cdot l_{пр} + X_{об} + (\zeta_{зв} - c_{вант}) \times \right. \right. \\ & \times \left. \sqrt{l_{пр}^2 + \lambda_{пор}^2 - 2 \cdot l_{пр} \cdot \lambda_{пор} \cdot \cos \varphi} - c_{пор} \cdot \lambda_{пор} \right] \cdot (t + c_{пост})^{-1} - \left(\frac{1+k_t}{v_{вант}} \right) \cdot (t_{пр} + \\ & + \left. \sqrt{l_{пр}^2 + \lambda_{пор}^2 - 2 \cdot l_{пр} \cdot \lambda_{пор} \cdot \cos \varphi} \right) \cdot \frac{\lambda_{пор}}{v_{пор}} - Y_{об} \} \times \nu \cdot \left[(T_{пр} - c_{вант}) \cdot l_{пр} + X_{об} + (\zeta_{зв} - c_{вант}) \times \right. \\ & \times \left. \sqrt{l_{пр}^2 + \lambda_{пор}^2 - 2 \cdot l_{пр} \cdot \lambda_{пор} \cdot \cos \varphi} - c_{пор} \cdot \lambda_{пор} \right] \cdot (t + c_{пост})^{-2} d\zeta_{зв} dy d\lambda_{пор} d\varphi. \end{aligned} \quad (26)$$

Для підтвердження правильності отриманих виразів для функції та щільності розподілу величини потрібно перевірити висунуті гіпотез щодо розподілів величин $\tau_{оз}$, $\zeta_{зв}$, $Y_{об}$.

Експериментальне дослідження випадкових складових транспортного процесу

Для перевірки гіпотез щодо розподілів $\tau_{оз}$, $\zeta_{зв}$, $Y_{об}$ додатково до даних, використаних у [11-13], була зібрана інформація із разових заявок на міжнародні перевезення з України до інших держав (зон здійснення перевізної діяльності), що надійшли до підприємства ТОВ «ВЕЛЕС-ТА» в різні періоди протягом 2012-2018 років. До цих держав відносяться: Російська Федерація, поділена на 7 транспортних зон із центрами у містах Санкт-Петербург, Москва, Самара, Челябінськ, Омськ, Ростов-на-Дону та Вороніж; Італія; Німеччина; Польща.

На першому кроці була перевірена відповідність значень часу очікування заявки на перевезення вантажу в зворотному напрямку показниковому розподілу. Рівень узгодження між теоретичним та емпіричним розподілами як в цій, так і в наступних перевірках, оцінювався за допомогою тестів Колмогорова-Смирнова та χ^2 . (на рівні значущості 5 %). Результати перевірки для зони «Вороніж» наведені на рис. 2.

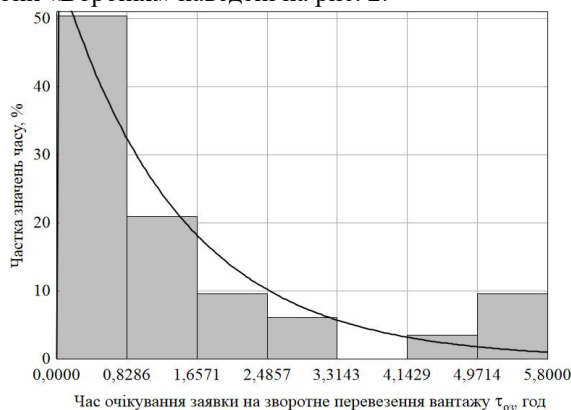


Рис. 2. Показниковий розподіл, придатний для опису часу очікування заявки на зворотне перевезення вантажу з транспортної зони з центром в м. Вороніж

Таблиця 1
Параметри показникового розподілу, придатного для опису часу очікування заявки на зворотне перевезення вантажу

Центр транспортної зони	Параметр розподілу	Величина тесту Колмогорова-Смирнова	Величина тесту χ^2	Ймовірність тесту χ^2
Санкт-Петербург	0,479	0,068	28,689	0,053
Москва	0,710	0,031	5,322	0,070
Самара	0,507	0,101	13,627	0,054
Челябінськ	0,263	0,089	6,445	0,168
Омськ	0,290	0,074	14,458	0,051
Ростов-на-Дону	0,491	0,039	2,316	0,510
Вороніж	0,698	0,075	4,838	0,184
Італія	0,969	0,065	0,749	0,688
Німеччина	1,382	0,071	0,825	0,364
Польща	4,320	0,075	0,780	0,067

За даними табл. 1 можна стверджувати, що гіпотеза про можливість опису часу очікування заявки на перевезення вантажу в зворотному напрямку показниковим розподілом не спростовується.

Далі була здійснена перевірка можливості опису величини $Y_{об}$ гама-розподілом. Порівняння теоретичного та емпіричного розподілів $Y_{об}$ для зони «Німеччина» наведено на рис. 3.

Для інших зон графіки щільності ймовірності $Y_{об}$ мають аналогічний характер. Отримані параметри гама-розподілу для всіх зон зведені у табл. 2, за даними якої можна стверджувати, що гіпотеза про можливість опису величини $Y_{об}$ гама-розподілом не спростовується.

На останньому етапі перевірялась відповідність між емпіричним розподілом $\zeta_{зв}$ та гама-законом. Результати перевірки для зони «Італія» наведені на рис. 4, які є аналогічними для всіх інших зон.



Рис. 3. Гама-розподіл, придатний для опису сумарного часу простою за оборотний рейс при перевезеннях до транспортної зони «Німеччина»

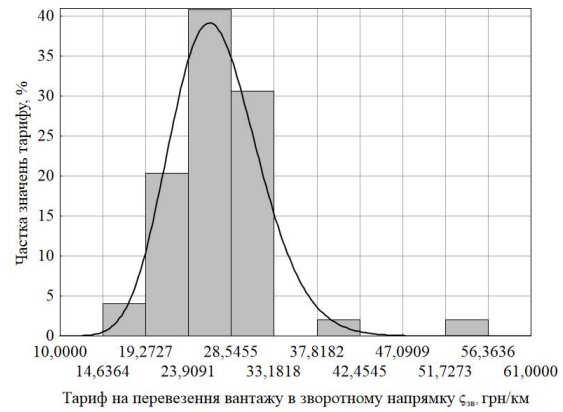


Рис. 4. Гама-розподіл, придатний для опису тарифу на перевезення вантажу в зворотному напрямку з транспортної зони «Італія»

Таблиця 2

Параметри гама-розподілу, придатного для опису сумарного часу простою при виконанні міжнародних перевезень

Центр транспортної зони	Параметри розподілу:		Величина тесту Колмогорова-Смирнова	Величина тесту χ^2	Ймовірність тесту χ^2
	параметр масштабу	параметр форми			
Санкт-Петербург	36,241	4,385	0,032	4,933	0,294
Москва	31,343	4,907	0,011	0,341	0,843
Самара	76,215	2,498	0,049	5,608	0,058
Челябінськ	33,794	6,169	0,042	1,108	0,775
Омськ	35,522	5,438	0,039	7,454	0,114
Ростов-на-Дону	46,603	3,316	0,030	2,971	0,396
Вороніж	47,448	2,769	0,098	17,949	0,052
Італія	18,953	3,737	0,102	4,481	0,345
Німеччина	22,923	3,537	0,106	2,528	0,470
Польща	26,148	2,474	0,076	8,145	0,050

Параметри встановленого гама-розподілу наведені в табл. 3, дані якої свідчать про можливість опису за допомогою даного закону величини тарифу на перевезення вантажу в зворотному напрямку.

Відповідність емпіричних розподілів всіх випадкових величин, відносно яких робились гіпотетичні припущення, щодо теоретичних законів їх розподілу: часу очікування заявки на перевезення вантажу в зворотному напрямку, складової часу доставки, безпосередньо не пов'язаної з рухом вантажу та тарифу за 1 км пробігу в зворотному напрямку свідчить про підтвердження правильності виразів величини питомого прибутку (25) та (26).

Таблиця 3

Параметри гама-розподілу, придатного для опису тарифу на перевезення вантажу в зворотному напрямку

Центр транспортної зони	Параметри розподілу:		Величина тесту Колмогорова-Смирнова	Величина тесту χ^2	Ймовірність тесту χ^2
	параметр масштабу	параметр форми			
Санкт-Петербург	0,850	32,135	0,042	6,767	0,562
Москва	0,942	24,358	0,036	1,969	0,161
Самара	1,156	14,365	0,084	10,868	0,054
Челябінськ	0,589	31,025	0,080	8,254	0,143
Омськ	0,581	27,249	0,011	0,257	0,879
Ростов-на-Дону	3,655	6,370	0,028	1,994	0,920
Вороніж	12,295	3,395	0,082	26,499	0,051
Італія	0,847	31,889	0,063	2,702	0,100
Німеччина	0,127	207,878	0,038	1,295	0,862
Польща	1,476	19,233	0,058	8,525	0,130

Висновки

Отримані за результатами проведених теоретичних та експериментальних досліджень аналітичні вирази для функції та щільності розподілу величини питомого прибутку АТП за оборотний рейс спираються на підтвержені закономірності розподілу їх складових, забезпечують можливості для проведення експериментальних розрахунків та здатні

забезпечити осіб, що приймають рішення про доцільність виконання перевезення, необхідною інформацією щодо його потенційної прибутковості та ймовірних ризиків.

Напрямом подальшої роботи повинні стати експериментальні дослідження закону розподілу питомого прибутку з метою отримання параметрів функціонування обраних транспортних зон та остаточної перевірки можливості його використання як критерію ефективності перевезень вантажів за разовими замовленнями в міжнародному сполученні.

Література

1. *Модели и методы теории логистики [Текст] / под ред. В.С. Лукинскогo. – СПб.: Питер, 2008. – 598 с.*
2. *Смехов, А.А. Введение в логистику [Текст] / А.А. Смехов. – М.: Транспорт, 1993. – 118 с.*
3. *Асоціація міжнародних автомобільних перевізників України. Офіційний веб-сайт. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.asmap.org.ua/>.*
4. *Рішення про Основні напрями розвитку ринку міжнародних автотранспортних послуг [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/ru/997_k22*
5. *Сердюкевич, В.Н. Международные и смешанные перевозки грузов и транспортно-экспедиционная деятельность : лабораторный практикум [Текст] / В.Н. Сердюкевич, В.С. Холупов. – Минск: БНТУ, 2011. – 39 с.*
6. *Нгуен, Т.Х. Методы оценки экономической эффективности международных перевозок в транспортно-технологических системах. [Текст]: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / Нгуен Тху Хыонг. – Москва, 2006. – 178 с.*
7. *Основы транспортной логистики. Сайт «Логистика. Формулы, расчеты, определения» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.xcomp.biz/tema-2-osnovy-transportnoj-logistiki.html>.*
8. *Воркут, А.И. Грузовые автомобильные перевозки: учебник для вузов [Текст] / А.И. Воркут. – 2-е изд. – К.: Вища школа, 1986. – 447 с.*
9. *Горев, А.Э. Основы теории транспортных систем : учеб. пособие [Текст] / А.Э. Горев. – СПб.: СПбГАСУ, 2010. – 214 с.*
10. *Горбачев, П.Ф. Подход к построению модели функционирования транспортного процесса при международных перевозках [Текст] / П.Ф. Горбачев, Т.В. Немна // *Автомобильный транспорт* – 2015. – №37. – С. 39–48.*
11. *Горбачев, П.Ф. Зонирование территории Российской Федерации при организации перевозок грузов из Украины [Текст] / П.Ф. Горбачев, Т.В. Немна // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий* – 2013. – № 2/3 (62) 2013. – С. 38–43.*
12. *Горбачев, П.Ф. Исследование продолжительности простоя автомобилей на пограничных переходах при перевозках грузов между Украиной и Россией [Текст] / П.Ф. Горбачев, Т.В. Немна // *Автомобильный транспорт* – 2013. – №33. – С. 87–91.*
13. *Горбачев, П.Ф. Оценка параметров распределения продолжительности простоя автомобилей на*

*таможенных пунктах пропуска при перевозках грузов между Украиной и Россией [Текст] / П.Ф. Горбачев, Т.В. Немна // *Автомобильный транспорт* – 2014. – №34. – С. 65–69.*

References

1. Lukinskij, V.S. (Ed.). (2008). Models and methods in Logistics Theory. Moscow, USSR: Nauka.
2. Smehov, A.A. (1993). Introduction into Logistics. Moscow, Russian Federation: Transport.
3. *Official web-site of the Association of International Cargo Carriers of Ukraine* (2018). Retrieved from <http://www.asmap.org.ua/>.
4. *The Decision on the Main Directions of Development of the Market of International Motor Transport Services* (2008). Retrieved from http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/ru/997_k22
5. Serdjukevich, V.N., & Holupov, V.S. (2011). International and Multimodal Freight Transportation and Forwarding activities: laboratory session. Minsk, Republic of Belarus: BNTU.
6. Thu Hyong, N. (2006). Methods for Assessing the Economic Efficiency of International Transportation in Transport and Technological Systems. Ph.D. MSUCL.
7. Fundamentals of Transport Logistics. *The web-site "Logistics. Formulas, calculations, definitions"* (2018). Retrieved from <http://www.xcomp.biz/tema-2-osnovy-transportnoj-logistiki.html>.
8. Vorkut, A.I. (1986). Freight Transportation by Motor Transport. Kiev, Ukraine: Vyscha shkola.
9. Gorev, A.E (2010). Basics of Transportation Systems Theory. Saint-Petersburg, Russian Federation: SPSUACE.
10. Gorbachev, P.F., & Nemna, T.V. (2015). Approach to Develop a Model of the International Transportation Process. *Automobile transport*, 37, 39-48.
11. Gorbachev, P.F., & Nemna, T.V. (2013). Zoning of the Russian Federation in Terms of Organization of Cargo Transportation from Ukraine, 2/3 (62) 2013, 38-43.
12. Gorbachev, P.F., & Nemna, T.V. (2013). Research of Downtime of Freight Vehicle at the Border Crossings when Transporting Cargoes between Ukraine and Russia. *Automobile transport*, 33, 87-91.
13. Gorbachev, P.F., & Nemna, T.V. (2014). Research of Freight Vehicles Downtime at the Custom Stations when Transporting Cargoes between Ukraine and Russia. *Automobile transport*, 34, 65-69.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.С. Наглюк, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна.

Автор: ГОРБАЧОВ Петро Федорович
доктор технічних наук, професор
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
E-mail – gorbachov.pf@gmail.com

Автор: МАКАРІЧЕВ Олександр Володимирович
доктор фізико-математичних наук, професор.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
E-mail – amsol2904@gmail.com

Автор: НЕМНА Тетяна Вячеславівна
здобувач.
Харківський національний автомобільно-дорожній
університет
E-mail – velestaplus@gmail.com

Автор: СВІЧИНСЬКИЙ Станіслав Валерійович
кандидат технічних наук, доцент
Харківський національний автомобільно-дорожній
університет
E-mail – stas_svichinsky@ukr.net

DETERMINATION OF THE DISTRIBUTION LAW OF THE CRITERIA OF EFFICIENCY OF INTERNATIONAL CARGO TRANSPORTATION

P. Gorbachov, O. Makarichev, T. Nemna, S. Svichynskyi
Kharkiv National Automobile and Highway University, Ukraine

The known criterions of international transportation efficiency do not take into account the probabilistic parameters of the cargo transportation process and its profitability with respect to the turn-around time. To eliminate the disadvantage, the profit of motor transport enterprise per unit of automobile turnaround time was proposed as the criteria. It appeared to be the random variable dependent on the other random time and cost parameters.

The paper presents the results of the study of the influence of random components on the regularity in the distribution of the profit per turnaround time when making international cargo transportation on one-time requests. Taking into account the exponential distribution of the distance of spotting the vehicle for transportation in reverse direction the theoretical background for the distribution of the distance of transportation in reverse direction was developed. To obtain it the origin and destination points were represented in polar coordinate system.

During the research it was determined that the waiting time for the request for return cargo transportation is exponentially distributed. At the same time, the total downtime of the vehicle during the turn-around and the rate for transportation in reverse direction appeared to be gamma distributed. The information base to determine these regularities was the data extracted from one-time requests. The regularities were defined for ten transportation analysis zones on the territory of Commonwealth of Independent States and Europe. In addition to previously determined regularities in other random components of international transportation process, it allowed to determine the distribution function and density function of the profit. They do not coincide with any known distribution. The ways of using the received distribution law are indicated.

Keywords: *distribution law, profit, turn-around, one-time request, international transportation.*