

## ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 656.[96+136]

## МОДЕЛЬ УРАХУВАННЯ ЙМОВІРНОСТІ ЗВОТНОГО ЗАВАНТАЖЕННЯ ПРИБОРИ НАПРЯМКУ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖУ

П.Ф. Горбачов, професор, д.т.н., А.О. Скорік, доцент, к.т.н., ХНАДУ,  
І.О. Фурсенко, директор, ПП «Фурбі-транс», О.О. Кравчук, студент, ХНАДУ

*Анотація.* Сформовано модель розрахунку ймовірності зворотного завантаження автомобіля при виконанні міжміських вантажних перевезень для найпростішого випадку. Представлено результати розрахунку ймовірності зворотного завантаження автомобіля за першу добу очікування на прикладі маятникового маршруту Харків – Донецьк.

*Ключові слова:* зворотне завантаження, час очікування, закон розподілення, заявка на перевезення, ймовірність.

## МОДЕЛЬ УЧЕТА ВЕРОЯТНОСТІ ОБРАТНОЇ ЗАГРУЗКИ ПРИ ВИБОРЕ НАПРАВЛЕННЯ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗА

П.Ф. Горбачов, професор, д.т.н., А.А. Скорик, доцент, к.т.н., ХНАДУ,  
І.А. Фурсенко, директор, ЧП «Фурбі-транс», О.А. Кравчук, студент, ХНАДУ

*Анотація.* Сформирована модель расчета вероятности обратной загрузки автомобиля при выполнении междугородных грузовых перевозок для самого простого случая. Представлены результаты расчета вероятности обратной загрузки автомобиля за первые сутки ожидания на примере маятникового маршрута Харьков – Донецк.

*Ключевые слова:* обратная загрузка, время ожидания, закон распределения, заявка на перевозку, вероятность.

## MODEL OF ACCOUNTING OF PROBABILITY OF REVERSE LOADING AT THE CHOICE OF DIRECTION OF TRANSPORTATION OF LOAD

P. Gorbachiov, Professor, Doctor of Technical Sciences, A. Skoryk, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, I. Fursenko, Private Enterprise «Furbi-trans», head, O. Kravchuk, student, KhNAHU

*Abstract.* The model of calculation of probability of car reverse loading of car is formed at implementation of intertown freight transportations for the simplest case. The results of calculation of probability of a car reverse loading of car are presented for the first twenty four hours days of expectation on the example of pendulum route Kharkiv is Donetsk.

*Key words:* reverse load, time of expectation, distribution law, request on transportation.

## Вступ

На сьогодні на території України працює велика кількість малих та середніх підприємств, що представляють послуги з перевезення у міжміському сполученні. Лише в

Харківській області налічується 772 автомобільні підприємства [1], які переважно мають невелику кількість автомобілів або займаються лише диспетчерськими операціями. Тому для того, щоб витримати конкуренцію та одержати прибуток, необхідно вирішувати



напрямку для прийняття рішення щодо виконання перевезення у прямому напрямку.

### Побудова математичної моделі

Час очікування зворотного завантаження залежить від попиту на перевезення в конкретному пункті. Виникнення заявок на перевезення залежить від багатьох факторів. Шукана ймовірність одержання заявки на зворотне завантаження – це ймовірність того, що ця заявка належить до множини замовлень потрібного напрямку, що виникли протягом першої доби після прибуття автомобіля, в пункті призначення прямого рейсу.

$$P_l = P\{l \in [N_l]\}, \quad (1)$$

де  $P_l$  – ймовірність одержання заявки на перевезення вантажу  $l$ -м перевізником за добу;  $l$  – заявка, що отримана  $l$ -м перевізником;  $N$  – загальна кількість заявок на перевезення вантажів у потрібному для перевізника напрямку за добу, од.

Кількість заявок на перевезення вантажів у потрібному для перевізника напрямку, що виникає за добу в якому-то пункті, є випадковою величиною. Це зумовлено тим, що вона залежить від поведінки багатьох підприємств, які мають потреби в перевезеннях вантажів. Тому кількість заявок на перевезення можна передбачити лише з певною долею ймовірності та характеризувати її слід функцією розподілу, що можливо отримати експериментальним шляхом.

Іншою випадковою складовою в (1) є результат діяльності перевізника з отримання для себе заявки на перевезення в потрібному (зворотному) напрямку з числа наявних пропозицій. Цей результат визначається загальною кількістю наявних заявок на перевезення, активністю діяльності самого перевізника або його агентів з пошуку потрібної заявки, а також кількістю та активністю конкурентів на ринку перевезень.

Тобто при розрахунку ймовірності одержання заявки на перевезення вантажу  $l$ -м перевізником за добу потрібно врахувати дві ймовірності: ймовірність виникнення певної кількості замовлень на перевезення в потрібному напрямку та ймовірність одержання замовлення  $l$ -м перевізником при конкретній

кількості замовлень. Тому загальна методика визначення ймовірності одержання заявки на перевезення вантажу  $l$ -м перевізником за добу  $P_l$  базується на використанні формули повної ймовірності для безперервної випадкової величини [6].

$$P_l = \int_{-\infty}^{+\infty} P_k(n) \cdot f(n) dn, \quad (2)$$

де  $P_k$  – ймовірність одержання заявки на перевезення вантажу  $l$ -м перевізником при кількості заявок, що дорівнює  $n$ , з урахуванням конкурентної боротьби на ринку перевезень;  $n$  – числова реалізація випадкової величини  $N$ ;  $f(n)$  – функція щільності розподілу випадкової величини  $N$ .

Невизначеним в (2) залишається методика розрахунку  $P_k$ . На цьому етапі досліджень зрозуміло, що ця ймовірність залежить від рівня конкуренції між перевізниками на конкретному напрямку перевезень. Для визначення стану конкуренції в пункті зворотного завантаження необхідно врахувати вхідний потік заявок, що представляє собою кількість автомобілів, які очікують завантаження в тому ж напрямку та у той же період.

Також на ймовірність зворотного завантаження впливає конкурентоспроможність підприємства, для якого виконуються розрахунки, кількість місцевих підприємств, що виконують перевезення в тому ж напрямку та можуть стати учасниками конкурентної боротьби за потрібну заявку, суб'єктивні погляди учасників транспортного процесу на його чинники. Безпосередньо врахування цих та інших факторів на результат пошуку зворотного завантаження, тобто оцінка їхнього впливу на ймовірність одержання заявки в першу добу після прибуття автомобіля до пункту розвантаження першої їздки, в рамках даної роботи не можливо.

Тому в якості основного фактора, що характеризує рівень конкуренції, приймається кількість автомобілів, які прибули в пункт розвантаження досліджуваного автомобіля таким же самим маршрутом. Це зумовлено максимальною зацікавленістю таких перевізників в отриманні заявки на перевезення вантажу саме у потрібному для досліджуваного автомобіля напрямку. Інші складові ринку

перевезень вантажів на даному етапі досліджень приймаються малозначущими.

Тоді ймовірність отримання зворотного завантаження  $l$ -м перевізником з  $n$  заявок в конкурентній боротьбі з іншими перевізниками буде визначатися співвідношенням між кількістю заявок в потрібному напрямку та кількістю автомобілів, що прибули в пункт зворотного завантаження одним маршрутом та в один і той же період, що й  $l$ -й автомобіль.

$$P_k = f\left(\frac{N}{K}\right) = f(M), \quad (3)$$

де  $K$  – кількість головних конкурентів на отримання заявки на перевезення вантажу в потрібному напрямку;  $M = N/K$  – питома кількість заявок у зворотному напрямку по відношенню до кількості заявок в прямому напрямку.

При цьому доцільно прийняти, що кількість конкурентів дорівнює кількості заявок на перевезення вантажу в прямому напрямку

$$K = N_d, \quad (4)$$

де  $N_d$  – загальна кількість заявок на перевезення вантажу в прямому напрямку на період відправлення досліджуваного автомобіля у прямий рейс, од.

Кількість заявок на перевезення вантажів у прямому напрямку є випадковою величиною, яку слід характеризувати функцією розподілу, що можливо отримати експериментальним шляхом. Випадковою також буде й величина питомої кількості заявок  $M$ , оскільки вона визначається відношенням двох випадкових величин. Оскільки аналітичних залежностей для визначення закону розподілу відношення двох випадкових величин знайдено не було, то закон розподілу питомої кількості заявок також потрібно визначати експериментальним шляхом.

З урахуванням нового параметра в залежності (3) формулу повної ймовірності (2) слід переписати наступним чином

$$P_l = \int_{-\infty}^{+\infty} P_k(m) \cdot f(m) dm, \quad (5)$$

де  $m$  – числова реалізація випадкової величини  $M$ ;  $f(m)$  – функція щільності розподілу випадкової величини  $M$ .

Сам вид залежності  $P_k(m)$  визначити експериментальним шляхом не представляється можливим, оскільки це потребує дуже довготривалих персональних спостережень за діяльністю одного (або більшої кількості) перевізників та паралельним моніторингом стану транспортного ринку. Тому потрібно визначити її аналітичним шляхом на основі загальних уявлень про результати конкурентної боротьби на транспортному ринку. Для цього потрібно визначити параметри декількох ключових точок цієї залежності та апроксимувати їх зручним способом, з урахуванням фізичної сутності процесу.

Звичайно, що питома кількість заявок може приймати значення лише в діапазоні  $[0; \infty]$ , оскільки її складові також є невід'ємними величинами. Тому опис ключових точок слід розпочати з найменшого значення  $M$ , яке воно буде мати за відсутності заявок на перевезення вантажів у зворотному напрямку  $N_d$ . Природно, що й можливість одержання заявки в цьому випадку також дорівнює нулю.

Наступною ключовою точкою залежності є питома кількість замовлень у зворотному напрямку, яка дорівнює 1. Це означає, що кількість основних конкурентів на заявки дорівнює кількості самих заявок. Ймовірність отримання зворотного завантаження  $l$ -м перевізником в цьому випадку буде достатньо високою, але меншою ніж 1. Це зумовлено тим, що в (3) не враховуються всі учасники конкурентної боротьби за заявки, а також тим, що в процесі взаємодії між суб'єктами транспортного ринку завжди виникають технічні питання. Ці питання роблять практично неможливою подією повну та швидку стиковку інтересів замовників транспортної роботи та її виконавців. В цьому випадку доцільно прийняти шукану ймовірність, виходячи з межі малої ймовірної події, яка зазвичай приймається у технічних, в тому числі й транспортних розрахунках [6].

Третьою ключовою точкою залежності є права межа значення  $M$ , тобто нескінченність. Розумно вважати, що ймовірність отримання зворотного завантаження  $l$ -м перевізником буде максимальною саме у цьому випадку. Всі ці міркування формалізовано виглядають наступним чином:

$$P_k = \begin{cases} 0; & \text{при } M = 0 \\ 0,95; & \text{при } M = 1, \\ 1; & \text{при } M = \infty. \end{cases} \quad (6)$$

Окрім вимог (6) для залежності (3) розумним виглядає припущення про її нелінійний характер. Загальний вигляд залежності, що відповідає всім наведеним вимогам, зображено на рис. 1.

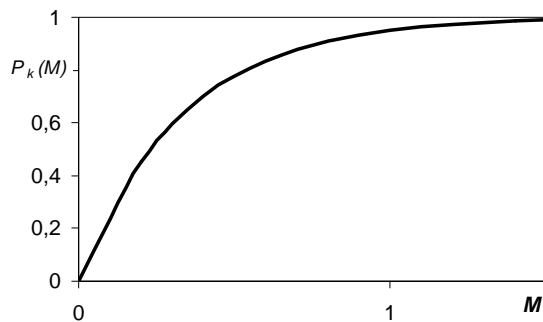


Рис. 1. Зовнішній вид теоретичної функції  $P_k = f(M)$

Такий вид мають декілька математичних функцій, але при виборі конкретної функції слід пам'ятати про характер шуканої змінної, тобто про те, що це ймовірність. Тому вибір залежності для (3) виконувався серед інтегральних функцій розподілу випадкових величин. Найбільш зручною для подальшого використання було визнано інтегральну функцію показового розподілу (7).

$$P_k = 1 - e^{-\lambda m}, \quad (7)$$

де  $\lambda$  – параметр показового розподілу.

Для заданих умов можливо вже на цьому рівні визначити параметр  $\lambda$ , виходячи з умови (6). Оскільки

$$1 - e^{-\lambda \cdot 1} = 0,95, \quad (8)$$

$$\lambda = 2,996. \quad (9)$$

Отримані залежності дають змогу перейти до експериментальних досліджень випадкових величин, що входять до (5).

### Експериментальні дослідження

Об'єктом експериментальних досліджень було обрано маршрут Харків – Донецьк, оскільки

саме Донецьк є одним з найбільш проблемних міст України при отриманні заявки на завантаження.

В наш час основним джерелом одержання інформації про потреби в перевезенні вантажів у міжміському сполученні є всевітня мережа INTERNET, в якій функціонують комерційні та приватні сторінки, покликані забезпечити можливість співпраці учасникам транспортного процесу. В Україні найбільш відомими є два транспортно-інформаційних сервери: «lardi-trans.com» та «della.ua». На цих сайтах знаходиться велика кількість заявок на перевезення, які постійно поновлюються. Ці сайти дають змогу отримати кількість спостережень, достатню для визначення закону розподілу всіх випадкових величин, що зустрічаються в (5).

Для отримання закономірностей зміни шуканої величини було взято інформацію про появу заявок на перевезення від 01.10.2010 по 29.11.2010 р. між містами Харків та Донецьк. Така вибірка дозволяє отримати 60 значень питомої кількості заявок, що забезпечує можливість використання критерію Пірсона для оцінки відповідності коливань випадкової величини теоретичному закону розподілу. Найбільш точно питому кількість заявок описує гамма-розподіл, рис. 2.

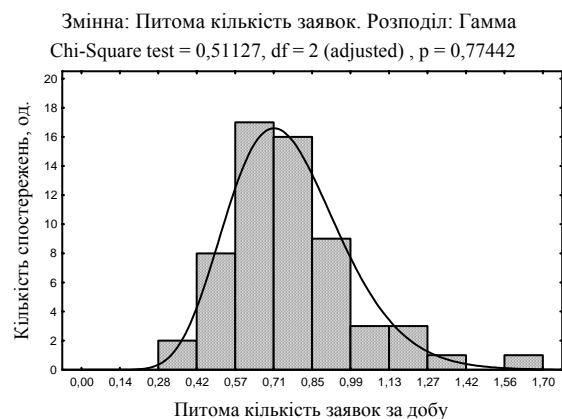


Рис. 2. Розподіл питомої кількості заявок  $M$

Теоретична функція щільності гамма-розподілу має такі характеристики: математичне очікування дорівнює 0,767; стандартне відхилення – 0,224; параметр масштабу – 0,058; параметр форми – 13,216. Отже, після експериментальних досліджень функцій розподілу питомої кількості заявок на перевезення вантажів можливо отримати кінцевий вигляд формули повної ймовірності (5)

$$P_l = \frac{1}{\Gamma(c) \cdot b} \int_0^{\infty} (1 - e^{-\lambda m}) \cdot \left(\frac{m}{b}\right)^{c-1} \cdot e^{-\frac{m}{b}} dm, \quad (10)$$

де  $b$  – параметр масштабу гамма-розподілу,  $c$  – параметр форми гамма-розподілу;  $\Gamma(c)$  – гамма-функція.

Розрахунок виразу (10) дає наступну ймовірність отримання зворотного завантаження у місті Донецьк протягом першої доби після прибуття автомобіля з вантажем з Харкова

$$P_l = 0,88.$$

Ця ймовірність має достатньо високе значення, що суперечить загальноприйнятим уявленням про складність отримання зворотного завантаження цього напрямку. Але слід пам'ятати, що розрахунок цієї величини базується на низці припущень, які могли справити серйозний вплив на результати розрахунку. Окрім цього кінцеві висновки, відносно коректності отриманого значення ймовірності, можна робити лише після його порівняння з аналогічними величинами для інших міст України.

### Висновки

Можливий простий автомобіля в очікуванні зворотного завантаження зазвичай враховується перевізниками при прийнятті рішення про виконання перевезення в тому чи іншому напрямку. Оцінка часу простою в пункті призначення прямого рейсу зараз носить суб'єктивний характер і лягає на плечі перевізників, які спираються на власні знання та досвід, що не дозволяє розраховувати на високу точність такої оцінки.

Модель ймовірності зворотного завантаження при перевезенні вантажів у міжміському сполученні повинна будуватися на статистичній інформації про стан ринку перевезень у місці призначення прямого рейсу та враховувати випадковий характер результатів договірної діяльності між замовниками перевезень, транспортно-експедиційними та автотранспортними підприємствами. Як оціночний показник тривалості очікування зворотного завантаження доцільно використовувати ймовірність отримання відповідної заявки протягом першої доби після розвантаження.

Розрахована для сучасного стану ринку перевезень ймовірність отримання зворотного завантаження протягом першої доби після прибуття автомобіля з вантажем по маршруту Харків – Донецьк може слугувати основою для прийняття перевізниками рішень, але потребує його порівняння з аналогічними величинами для інших міст України та перевірки коректності прийнятих припущень.

### Література

1. Облік підприємств та організацій України [Електронний ресурс] : за даними єдиного державного реєстру підприємств та організацій України на 1 січня 2011 / Головне управління статистики у Харківській області. – Режим доступу: [http://uprstat.kharkov.ukrtel.net/ua/stat/edrpy/sybektu\\_edrpy/form\\_gospod.html](http://uprstat.kharkov.ukrtel.net/ua/stat/edrpy/sybektu_edrpy/form_gospod.html).
2. Аземша С.А. Стратегия принятия решения при выборе обратной загрузки автомобильного транспортного средства работающего на международных маршрутах / С.А. Аземша // Коммунальное хозяйство городов : сб. науч. пр. – Минск. – 2006. – С. 307–314.
3. Аземша С.А. Статистическое моделирование работы грузовых автомобилей на международных маршрутах при различных стратегиях принятия обратной загрузки [Електронний ресурс] // Transport and Telecommunication – 2007 – С. 53–61. – Режим доступу: [http://tsi.lv/Transport-and-Telecommunication/v8\\_en/7.pdf](http://tsi.lv/Transport-and-Telecommunication/v8_en/7.pdf).
4. Нагорний Е.В. Логистические функции транспортно-экспедиционных предприятий / В.С. Наумов, Е.В. Нагорний // Восточноевроп. журнал передовых технологий. – 2009. – № 3/5 (39). – С. 32–34.
5. Наумов В.С. Анализ технологического процесса экспедиционного обслуживания на автомобильном транспорте / В.С. Наумов // Вісник : сб. науч. пр. – 2009. – № 27. – С. 15–27.
6. Вентцель Е.С. Прикладные задачи теории вероятностей / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М. : Радио и связь, 1983. – 416 с.

Рецензент: Є.В. Нагорний, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 15 червня 2011 р.