

Кутья О.В.,
Бережна Н.Г.,
Войтов О.В.

Харківський національний технічний
університет сільського господарства
ім. П.Василенка,
г. Харків, Україна
E-mail: bett_2008@meta.ua

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ МІСЬКИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

УДК 656.073

Кутья О.В., Бережна Н.Г., Войтов О.В. «Оптимізація параметрів транспортного процесу міських вантажних перевезень»

Розроблено методичний підхід до оптимізації параметрів транспортного процесу міських вантажних перевезень. Підхід ґрунтується на моделі сумарних питомих витрат, які враховують три складові.

Перша складова залежить від тарифу на перевезення, довжини маршруту, маси перевезеного вантажу, а також технічної швидкості руху, частоти надходження заявок на транспортне обслуговування і коефіцієнта надійності транспортного обслуговування.

Друга складова питомих витрат залежить від кількості автомобілів, що перебувають в наряді, технічної швидкості руху, сумарного часу транспортного обслуговування, витрати палива і його ціни, а також маси перевезеного вантажу, коефіцієнт використання пробігу, коефіцієнт використання вантажопідйомності автомобіля.

Третя складова залежить від кількості автомобілів, що перебувають в наряді, сумарного часу транспортного обслуговування з урахуванням збільшення часу на виконання навантажувально-розвантажувальних робіт, початкової вартості автомобіля і витрат на технічне обслуговування автомобіля та амортизацію.

Отримано математичні вирази, які дозволяють виконати математичне моделювання сумарних витрат на міські вантажні перевезення та розрахунковим шляхом отримати оптимальну масу вантажу, що перевозиться. Показано, що при величині коефіцієнтів використання пробігу, який дорівнює 0,5 і величині коефіцієнтів використання вантажопідйомності автомобіля, який дорівнює 0,5, запланована маса вантажу для перевезення майже не відрізняється від оптимальної. При збільшенні зазначених коефіцієнтів до одиниці оптимальна маса збільшується в 1,4-1,6 разів.

Показано, що для зменшення сумарних питомих витрат на міські вантажні перевезення необхідно розрахунковим шляхом проводити корегування маси перевезеного вантажу.

Keywords: транспортний процес, математична модель, міські вантажні перевезення, питомі витрати, оптимізація маси перевезеного вантажу, коефіцієнт використання пробігу, коефіцієнт використання вантажопідйомності автомобіля.

Кутья О.В., Бережная Н.Г., Войтов А.В. «Оптимизация параметров транспортного процесса городских грузовых перевозок»

Разработан методический подход к оптимизации параметров транспортного процесса городских грузовых перевозок. Подход основывается на модели суммарных удельных затрат, учитывающих три составляющие. Первая составляющая зависит от тарифа на перевозку, длины маршрута, массы перевозимого груза, а также технической скорости движения, частоты поступления заявок на транспортное обслуживание и коэффициента надежности транспортного обслуживания.

Вторая составляющая удельных затрат зависит от количества автомобилей, находящихся в наряде, технической скорости движения, суммарного времени транспортного обслуживания, расхода топлива и его цены, а также массы перевозимого груза, коэффициента использования пробега, коэффициента использования грузоподъемности автомобиля. Третья составляющая зависит от количества автомобилей, находящихся в наряде, суммарного времени транспортного обслуживания с учетом увеличения времени на выполнение погрузочно-разгрузочных работ, начальной стоимости автомобиля и расходов на техническое обслуживание автомобиля и амортизацию.

Получены математические выражения, которые позволяют выполнить математическое моделирование суммарных затрат на городские грузовые перевозки и расчетным путем получить оптимальную массу перевозимого груза. Показано, что при величине коэффициентов использования пробега, равного 0,5 и величине коэффициентов использования грузоподъемности автомобиля, равного 0,5, планируемая масса груза для перевозки почти не отличается от оптимальной. При увеличении указанных коэффициентов к единице оптимальная масса увеличивается в 1,4-1,6 раз.

Показано, что для уменьшения суммарных удельных затрат на городские грузовые перевозки необходимо расчетным путем проводить корректировку массы перевозимого груза.

Keywords: транспортный процесс, математическая модель, городские грузовые перевозки, удельные расходы, оптимизация массы перевозки грузов, коэффициент использования пробега, коэффициент использования грузоподъемности автомобиля.

Kutiya O., Berezhnaja, N., Voitov O. «Optimization of the parameters of the urban freight transport process»

A methodical approach to optimizing the parameters of the transport process of the urban freight transportation has been developed. The approach is based on a cumulative unit cost model that takes into account three components .

The first component depends on the fare, the length of the route, the weight of the goods transported, as well as the technical speed of the movement, the frequency of receipt of requests for transport service and the coefficient of reliability of the transport service. The reliability factor takes into account the delays of the car on the route, as well as the presence of traffic jams on the route.

The second component of unit costs depends on the number of vehicles in the outfit, the technical speed of the movement, the total time of transport service, the fuel consumption and its price, as well as the mass of the freight, mileage coefficients, the car's load utilization coefficients and the reliability factor.

The third component depends on the number of cars in the outfit, the total time of transport service, taking into account the increase in time for handling, the initial cost of the car and the cost of car maintenance and depreciation, as well as the mass of the freight and the coefficient of reliability of transport .

Taking into account the three components, mathematical expressions were obtained, which allow to perform mathematical modeling of the total costs for urban freight and by calculation to obtain the optimal mass of freight, which is transported depending on the coefficients of use of mileage and the coefficients of load capacity of the car.

Presented change depending optimal weight of cargo on changes greatness us coefficients and coefficients using run-duty vehicle use. It is shown that when the coefficient of use of the mileage is 0.5 and the value of the coefficient of load capacity of the car is 0.5, the planned mass of cargo for transportation is almost indistinguishable from the optimal one. When these coefficients are increased to one, the optimal mass increases 1.4-1.6 times. It is noted that such conclusions are characteristic of routes with different lengths.

It is shown that in order to reduce the total specific costs of urban freight traffic, it is necessary to carry out an adjustment by weight of the transported cargo by calculation . The initial data are the specified distance of carriage, as well as the specified values of the coefficients of use of the mileage and the coefficients of the load capacity of the car.

Keywords: transport process, mathematical model, urban freight traffic, specific costs, optimization of weight of freight, mileage, utilization rate of the vehicle.

Актуальність проблеми

Практичний досвід, а також публікації з організації міських вантажних перевезень, які виконуються малими партіями, дозволяють стверджувати, що витрати на транспортні послуги є вагомим фактором у прийнятті рішень. На сьогоднішній день пошук рішень по підвищенню ефективності вантажних перевезень у місті шляхом оптимізації маси перевезеного вантажу є актуальною проблемою. На результат прийняття оптимальних рішень впливає завантаженість магістралей і вулиць міста в різні години робочого дня, а також динамічність зміни інтенсивності або щільності транспортного потоку на вулицях міста.

Одним із напрямків оптимізації витрат на транспортне обслуговування є розробка математичних моделей які представлені в роботах [1-4]. В перерахованих дослідженнях враховуються не тільки тарифи на транспортне обслуговування, а також тип транспортних засобів, витрати на пальне та технічне обслуговування, податки та амортизаційні відрахування. Такий підхід дозволяє обґрунтувати вибір типу транспортного засобу, раціональний маршрут доставки вантажу в реальному масштабі часу, тим самим знизити загальні витрати на доставку.

Тому, напрямком даного наукового дослідження є пошук рішень по оптимізації питомих витрат на вантажні перевезення у місті. Практичною значимістю такого дослідження є зменшення витрат на транспортне обслуговування в межах міста.

Аналіз останніх досліджень

В роботі [5] представлено аналіз існуючої системи ціноутворення на вантажні перевезення і зроблено висновок, що при розрахунках витрат перевізники не враховують

час простоїв, парковки, а також податки. Зроблено висновок про облік величини податків в загальних витратах на транспортне обслуговування.

В роботі [6] представлено методи оптимізації витрат на вантажні перевезення. За результатами досліджень зроблено висновок, що сумарні витрати необхідно розділити на три категорії: тарифи на перевезення; оцінка заторів на маршруті і збільшення часу перебування на маршруті; витрати на будівництво і ремонт доріг. Такий підхід, на думку авторів, дозволить більш точно оптимізувати транспортні витрати.

Автором роботи [7], на основі аналізу процесу функціонування транспортно-складського комплексу розроблено критерій ефективності, який являє собою питомі витрати на переробку вантажу і враховує витрати власника вантажу, пов'язані із простоем автомобілів, що очікують обслуговування. Проведене дослідження свідчить про актуальність використання критеріальних оцінок різних логістичних систем у процесі їх функціонування.

Подальший розвиток критеріального підходу представлено авторами роботи [8]. Виконано аналіз тенденцій розвитку міських вантажних перевезень та розроблено критерій економічної доцільності. Представлено метод оцінки вантажних перевезень міста на основі інформації про вантажопотоки. Завдяки створенню інформаційної матриці, обґрунтовано тарифи на міські вантажні перевезення. Приведено результати, які дають змогу зробити висновки, що економічний критерій є доцільним при виборі міських маршрутів.

В роботах [3, 4] при розрахунку сумарних витрат застосовуються питомі показники, грн/т. При цьому сумарні витрати враховують три складові: тарифи на перевезення; витрати на паливо і технічне обслуговування транспортних засобів; заробітну платню, податки та амортизаційні відрахування. На наш погляд такий підхід більш повно дозволяє оцінити загальні витрати і привести їх до питомих показників.

Формулювання мети дослідження

Одним із завдань цього дослідження є розробка сумарного (інтегрального) критерію питомих витрат на міські вантажні перевезення та отримання залежностей зміни критерію від впливу різних факторів і робочих параметрів транспортного процесу.

Методичний підхід в проведенні досліджень

На основі висновків робіт [3, 4] представимо вирази для визначення сумарних питомих витрат на міські вантажні перевезення у вигляді наступної формули:

$$B = B_1 + B_2 + B_3, \text{ грн/т.} \quad (1)$$

Сумарні витрати B мають три складові. Перша складова B_1 залежить від тарифу на перевезення, довжини маршруту, маси перевезеного вантажу, а також технічної швидкості руху, частоти надходження заявок на обслуговування і коефіцієнта надійності.

$$B_1 = \frac{l_m^2 \cdot T_{пер} \cdot \omega}{m \cdot v_{тех} \cdot K_H}, \text{ грн/т,} \quad (2)$$

де B_1 - витрати на транспортне обслуговування, які залежать від тарифу, грн/т;

l_m - відстань маршруту, км;

$T_{пер}$ - тариф на перевезення, грн/км;

ω - частота надходження заявок на обслуговування у логістичний центр (ЛЦ), 1/година;

m - маса вантажу, т;

U_{mex} - технічна швидкість транспортного засобу на маршруті, км/год;

K_H - коефіцієнт, який оцінює надійність функціонування логістичної системи, розраховується за роботою [9].

Друга складова питомих витрат B_2 залежить від кількості автомобілів, що перебувають в наряді, технічної швидкості руху, сумарного часу транспортного обслуговування, витрати палива і його ціни, а також маси перевезеного вантажу, коефіцієнтів використання пробігу, вантажопідйомності та коефіцієнта надійності.

$$B_2 = \frac{N_{авт} \cdot U_{mex} \cdot t_{\Sigma} \cdot C_{П} \cdot 0,01 \cdot G_{П}}{m \cdot K_H \cdot \beta \cdot \gamma}, \text{ грн/т} \quad (3)$$

де $N_{авт}$ - кількість автомобілів, що перебувають в наряді;

t_{Σ} - сумарний час виконання замовлення з урахуванням затримок, година;

$C_{П}$ - вартість одного літра палива, грн/л;

$G_{П}$ - витрата палива автомобіля у міському циклі руху, л/100 км;

β - коефіцієнт, який враховує наявність холостого пробігу (коефіцієнт використання пробігу);

γ - коефіцієнт використання вантажопідйомності автомобіля.

Третя складова B_3 залежить від кількості автомобілів, що перебувають в наряді, сумарного часу транспортного обслуговування з урахуванням збільшення часу на виконання навантажувально-розвантажувальних робіт, початкової вартості автомобіля і витрат на технічне обслуговування та амортизацію, а також маси перевезеного вантажу і коефіцієнта надійності.

$$B_3 = \frac{N_{авт} \cdot K_{B-P} \cdot t_{\Sigma} \cdot C_{z,zn}}{m \cdot K_H} + \frac{0,00041 \cdot C_{авт} \cdot N_{авт}}{m \cdot K_H}, \text{ грн/т}, \quad (4)$$

де K_{B-P} - коефіцієнт, який враховує збільшення сумарного часу доставки вантажу на виконання навантажувально-розвантажувальних робіт, $K_{B-P} = 1,15 - 1,3$;

$C_{z,zn}$ - погодинна ставка заробітної плати водія, грн/год;

$C_{авт}$ - початкова вартість автомобіля, грн.

Коефіцієнт 0,00041 враховує витрати на технічне обслуговування автомобіля, які дорівнюють 5% від $C_{авт}$ та амортизаційні витрати, які дорівнюють 10% від $C_{авт}$ у рік, віднесені до одного дня експлуатації.

Використовуючи формули (1) – (4) можна виконати моделювання питомих витрат при зміні різних параметрів транспортного процесу, а вираз для визначення сумарних питомих витрат B , формула (1), будемо використовувати в якості цільової функції для оптимізації транспортного процесу.

Результати досліджень

Розглянемо можливість оптимізації параметрів транспортного процесу по параметру маси перевезеного вантажу m за умови, що всі інші параметри зафіксовані і є константами.

Перша похідна по параметру m для всіх трьох складових питомих витрат, формули (1) – (4), має такий вигляд:

$$\frac{dB}{dm} = -\frac{1}{m^2 K_H} (b_1 + b_2 + b_3) \quad (5)$$

де:

$$b_1 = \frac{l_m^2 \cdot T_{nep} \cdot \omega}{v_{mex}}, \text{ грн}; \quad (6)$$

$$b_2 = \frac{N_{авт} \cdot v_{mex} \cdot t_{\Sigma} \cdot C_{II} \cdot 0,01 \cdot G_{II}}{\beta \cdot \gamma}, \text{ грн}; \quad (7)$$

$$b_3 = N_{авт} \cdot K_{B-P} \cdot t_{\Sigma} \cdot C_{2,3n} + 0,00041 \cdot C_{авт} \cdot N_{авт}, \text{ грн}; \quad (8)$$

Дорівнюючи першу похідну, формула (4), до нуля і враховуючи, що $1/m^2 K_H$ не може дорівнювати нулю, отримаємо:

$$-(b_1 + b_2 + b_3) = 0, \quad (9)$$

або:

$$b_2 = b_1 + b_3 \quad (10)$$

Підставляючи у вираз (10) формули (6) – (8), отримаємо вираз для визначення значення $\beta \cdot \gamma$, яке буде відповідати оптимуму:

$$\beta \cdot \gamma^{opt} = \frac{a}{(b_1 + b_3)} \quad (11)$$

де:

$$a = N_{авт} \cdot v_{mex} \cdot t_{\Sigma} \cdot C_{II} \cdot 0,001 \cdot G_{II}, \text{ грн}. \quad (12)$$

Підставляючи отриманий вираз $\beta \cdot \gamma^{opt}$, формула (11), у формулу (7), одержимо оптимальне значення коефіцієнта b_2 :

$$b_2^{opt} = \frac{N_{авт} \cdot v_{mex} \cdot t_{\Sigma} \cdot C_{II} \cdot 0,01 \cdot G_{II}}{\beta \cdot \gamma^{opt}} \quad (13)$$

Використовуючи формули (2) - (4) отримаємо вираз для розрахунків маси перевезеного вантажу, який буде відповідати мінімуму питомих витрат:

$$m^{opt} = \frac{b_1 + b_2^{opt} + b_3}{B \cdot K_H}, \text{ т}. \quad (14)$$

Отриманий вираз (14) можна використовувати для корегування маси перевезеного вантажу, що забезпечить мінімум цільової функції B з урахуванням величини коефіцієнта надійності K_H .

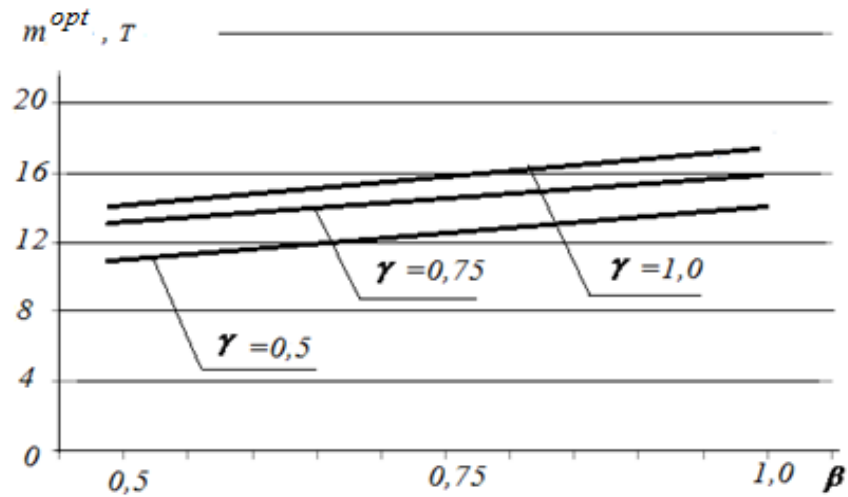


Рис.1. Залежності зміни величини оптимальної маси перевезеного вантажу m^{opt} при зміні коефіцієнтів використання пробігу β і вантажопідйомності автомобіля γ

Аналіз результатів досліджень

Залежності зміни оптимальної маси перевезеного вантажу m^{opt} від зміни величини коефіцієнтів β і γ , представлені на рис.1. Необхідно відзначити, що представлені залежності побудовані для міського маршруту довжиною $l_m = 20$ км і запланованої маси доставки вантажу $m = 10$ т.

Аналіз представлених кривих дозволяє зробити висновок, що при $\beta = 0,5$ і $\gamma = 0,5$ запланована маса вантажу для перевезення, $m = 10$ т, майже не відрізняється від оптимальної $m^{opt} = 11$ т. При збільшенні β і γ до одиниці оптимальна маса, на маршруті довжиною 20 км, збільшується до 14-16 т. Дані залежності характерні і для маршрутів з довжиною 10 км і 30 км.

Корегування маси перевезеного вантажу, при заданих l_m , а також коефіцієнта використання пробігу β і коефіцієнта використання вантажопідйомності автомобіля γ дозволить підвищити ефективність міських вантажних перевезень.

Висновки

Розроблено методичний підхід до оптимізації параметрів транспортного процесу міських вантажних перевезень. Підхід ґрунтується на моделі сумарних питомих витрат, які враховують три складові: питомі витрати, пов'язані із прийнятим тарифом на перевезення вантажу; питомі витрати, пов'язані з витратою палива транспортними засобами з урахуванням коефіцієнтів використання пробігу і вантажопідйомності і питомі витрати на заробітну плату водіїв, технічне обслуговування автомобілів і амортизаційні витрати. Показано, що сумарне значення отриманих питомих витрат є економічним критерієм вибору оптимальних маршрутів на транспортне обслуговування.

Представлено залежності зміни оптимальної маси перевезеного вантажу від зміни величини коефіцієнтів використання пробігу і величини коефіцієнтів використання вантажопідйомності автомобіля. Показано, що при величині коефіцієнтів використання пробігу, який дорівнює 0,5 і величині коефіцієнтів використання вантажопідйомності автомобіля, який дорівнює 0,5, запланована маса вантажу для перевезення майже не відрізняється від оптимальної. При збільшенні зазначених коефіцієнтів до одиниці

оптимальна маса збільшується в 1,4-1,6 разів. Зазначено, що такі висновки характерні для маршрутів з різною довжиною.

Показано, що для зменшення сумарних питомих витрат на міські вантажні перевезення необхідне корегування маси перевезеного вантажу, при заданих відстанях доставки, а також коефіцієнта використання пробігу і коефіцієнта використання вантажопідйомності автомобіля.

Список використаних джерел

1. Кутья О.В. Разработка математической модели городских грузовых перевозок, *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*, 2019, вип.15, с.159-163.
2. Кутья О.В. Розробка динамічної моделі затримок прийняття рішень у логістичних ланцюгах міських вантажних перевезень, *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*, 2019, вип.16, с.63-72.
3. Войтов В.А. Економічна ефективність функціонування транспортно-логістичного комплексу під час збирання цукрового буряку з урахуванням показника надійності / В.А. Войтов, Д.О. Музыльов, Н.Г. Бережна, В.В. Щербакова // *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів: ХНТУСГ.* – 2018. – №. 12. – С. 272–280.
4. Vojtov V.A. Integrated approach in calculation of the economic effect of the functioning of the transport and logistic complex with the account of the risk factor / V.A. Vojtov, D.A. Muzylyov, N.G. Berezchnaja // *International academy journal Web of Scholar.* – March 2018. – 3(21), Vol.1. – P. 12–18.
5. Hansen I. Determination and Evaluation of Traffic Congestion Costs. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 1, no.1, pp. 61 – 72. 2001.
6. Xiaoning Zhang. Editorial: Optimisation methods of road pricing / *European Journal of Transport and Infrastructure Research* / Issue 14(1), 2014 pp. 1-6 ISSN: 1567-7141.
7. Shramenko, N. Y. Effect of process-dependent parameters of the handling-and-storage facility operation on the cargo handling cost / Shramenko, *EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies*, 5/3 (77), pp. 43–47. 2015. DOI: [10.15587/1729-4061.2015.51396](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.51396)
8. R.M. Zhang, L. Huang. Application of the freight rate on freight flow forecast, *Advances in Transportation Studies . Special Issue*, Vol.3, p.61-68. 2017.
9. Vojtov V., Kutiya O., Berezchnaja N., Karnaukh M., Bilyaeva O. Modeling of reliability of logistic systems of urban freight transportation taking into account street congestion. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 4, no. 3 (100), pp. 15-21. 2019. DOI: [10.15587/1729-4061.2019.175064](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.175064)

References

1. Kut`ya O.V. 2019. Razrabotka matematy`cheskoj modely` gorodsky`x gruzovy`x perevozk. *Texnichny`j servis agropromy`slovogo, lisovogo ta transportnogo kompleksiv*, vy`p.15, s.159-163. (in Russian).
2. Kut`ya O.V. 2019. Rozrobka dy`namichnoyi modeli zatry`mok pry`jnyattya rishen` u logisty`chny`x lancyugax mis`ky`x vantazhny`x perevezen`. *Texnichny`j servis agropromy`slovogo, lisovogo ta transportnogo kompleksiv*, vy`p.16, s.63-72. (in Ukraine).
3. Vojtov V.A., Muzyl`ov D.O., Berezchna N.G., Shherbakova V.V. Ekonomichna efekty`vnist` funkcionuvannya transportno-logisty`chnogo kompleksu pid chas zby`rannya czukrovogo buryaku z uraxuvannyam pokazny`ka. *Texnichny`j servis agropromy`slovogo, lisovogo ta transportnogo kompleksiv: XNTUSG.* – 2018. – #. 12. – S. 272–280. . (in Ukraine).
4. Vojtov V.A., Muzylyov D.A., Berezchnaja N.G. Integrated approach in calculation of the economic effect of the functioning of the transport and logistic complex with the account of

the risk factor. International academy journal Web of Scholar. – March 2018. – 3(21), Vol.1. – P. 12–18.

5. Hansen I. 2001. Determination and Evaluation of Traffic Congestion Costs. European Journal of Transport and Infrastructure Research , 1, no.1, pp. 61 – 72.

6. Xiaoning Zhang. 2014. Editorial: Optimisation methods of road pricing / European Journal of Transport and Infrastructure Research / Issue 14(1), pp. 1-6 ISSN: 1567-7141.

7. Shramenko, N. Y. 2015. Effect of process-dependent parameters of the handling-and-storage facility operation on the cargo handling cost. *EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies*, 5/3 (77), pp. 43–47. DOI: [10.15587/1729-4061.2015.51396](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.51396)

8. R.M. Zhang, L. Huang. 2017. Application of the freight rate on freight flow forecast, *Advances in Transportation Studies . Special Issue*, Vol.3, p.61-68.

9. Vojtov V., Kutiya O., Berezhnaja N., Karnaukh M., Bilyaeva O. 2019. Modeling of reliability of logistic systems of urban freight transportation taking into account street congestion. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 4, no. 3 (100), pp. 15-21. DOI: [10.15587/1729-4061.2019.175064](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.175064)