

Кутья О.В.

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

**РОЗРОБКА ДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛІ ЗАТРИМОК
ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У ЛОГІСТИЧНИХ
ЛАНЦЮГАХ МІСЬКИХ ВАНТАЖНИХ
ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

УДК 656.073

Кутья О.В. «Розробка динамічної моделі затримок прийняття рішень у логістичних ланцюгах міських вантажних перевезень»

Розглянуті напрямки застосування методів динамічного моделювання затримок у прийнятті рішень у логістичних ланцюгах міських вантажних перевезень. Основною відмінністю розробленої моделі від раніше відомих, є те, що модель працює в реальному режимі часу і за допомогою інтернет-ресурсів визначає завантаженість ділянок дорожньої мережі або наявність пробок.

Задача ідентифікації динамічної математичної моделі затримок у прийнятті рішень у логістичному центрі і транспортному підприємстві при отриманні заявки на перевезення вантажу зводиться до визначення оператора моделі. Під оператором моделі будемо розуміти математичну динамічну модель у вигляді лінійних диференціальних рівнянь другого порядку.

Розроблено динамічну модель затримок у прийнятті рішень у логістичних ланцюгах міських вантажних перевезень. У результаті структурної ідентифікації отримано диференціальне рівняння другого порядку і його розв'язок, який дозволяє моделювати динаміку протікання процесу обробки заявок на транспортне обслуговування і сам процес транспортного обслуговування в логістичних ланцюгах.

Виконано параметричну ідентифікацію розробленої моделі, отримано вираз для визначення коефіцієнтів підсилення і постійних часу, які входять у математичну модель. Визначено фізичний зміст коефіцієнтів підсилення – це чутливість логістичних ланцюгів і системи в цілому до отримання заявок на обслуговування та характеризується, як запас по продуктивності. Фізичний зміст постійних часу – це інерційні властивості логістичних ланцюгів, які формують затримку в прийнятті рішень на транспортне обслуговування. Показано, що сумарний час доставки вантажу складається із часу знаходження транспортного засобу на маршруті, з урахуванням опору маршруту і часу затримок у всіх логістичних ланцюгах системи.

Ключові слова: динамічна модель; структурна ідентифікація; параметрична ідентифікація; вантажні перевезення; транспортний процес; затримки в обслуговуванні; заявки на обслуговування

Кутья О.В. «Разработка динамической модели задержек принятия решений в логистических цепях городских грузовых перевозок»

Рассмотрены направления применения методов динамического моделирования задержек в принятии решений в логистических цепях городских грузовых перевозок. Основным отличием разработанной модели от ранее известных, является то, что модель работает в реальном режиме времени и с помощью интернет-ресурсов определяет загруженность участков дорожной сети или наличие пробок.

Задача идентификации динамической математической модели задержек в принятии решений в логистическом центре и транспортном предприятии при получении заявки на перевозку груза сводится к определению оператора модели. Под оператором модели будем понимать математическую динамическую модель в виде линейных дифференциальных уравнений второго порядка.

Разработана динамическая модель задержек в принятии решений в логистических цепях городских грузовых перевозок. В результате структурной идентификации получено дифференциальное уравнение второго порядка и его решение, которое позволяет моделировать динамику протекания процесса обработки заявок на транспортное обслуживание и сам процесс транспортного обслуживания в логистических цепях

Выполнена параметрическая идентификация разработанной модели, получено выражение для определения коэффициентов усиления и постоянных времени, которые входят в математическую модель. Определен физический смысл коэффициентов усиления - это чувствительность логистических цепей и системы в целом до получения заявок на обслуживание и характеризуется, как запас по производительности. Физический смысл постоянных времени - это инерционные свойства логистических цепей, формирующих задержку в принятии решений на транспортное обслуживание. Показано, что суммарное время доставки груза состоит из времени нахождения транспортного средства на маршруте, с учетом сопротивления маршрута, и времени задержек во всех логистических цепях системы.

Ключевые слова: динамическая модель; структурная идентификация; параметрическая идентификация; грузовые перевозки; транспортный процесс, задержки в обслуживании; заявки на обслуживание

Kutiya O.V. "Development of a dynamic model of decision-making delays in the logistics chains of urban freight traffic"

The directions of application of methods of dynamic modeling of delays in decision making in logistic chains of urban freight transport are considered. The main difference of the developed model from the previously known, is that the model operates in real time mode and using Internet resources determines the traffic of sections of the road network or the presence of traffic jams.

The task of identifying a dynamic mathematical model of delays in decision making at a logistics center and a transport company when receiving an application for the carriage of goods is reduced to the definition of the operator of the model. Under the operator of the model, we will understand the mathematical dynamical model in the form of linear differential equations of the second order.

The dynamic model of delays in making decisions in the logistic chains of urban freight transport is developed. As a result of structural identification, the second-order differential equation and its solution are obtained, which allows to simulate the dynamics of the process of handling requests for transport services and the process of transport service itself in logistics chains.

The parametric identification of the developed model is fulfilled, an expression is obtained for determining the gain and constant time coefficients that are included in the mathematical model. The physical content of the gain coefficients is determined - this is the sensitivity of the logistical circuits and the system as a whole before receiving maintenance requests and is characterized as a stock of performance. The physical content of the boost factor of the logistic system (LS) is the sensitivity of the LS to the performance of transport services. If the gain of the drug is less than one, then applications received in the drug will be in line and the service time will increase significantly.

Physical content of constant time - is the inertial properties of logistics chains, which form a delay in the decision making on transport services. The great importance of the constant time of the logistics center suggests that the logistics center has a high degree of inertia in accepting applications and will have a long delay.

Physical content of the constant time of a transport enterprise is the time from the fact of transferring an application for transport from the logistics center to the transport enterprise until the time of the beginning of the traffic on the route. Consequently, the value of the constant time of the transport enterprise characterizes the inertia of the transport company, and hence the delay in processing the application. The time of movement of vehicles along the route is also included in the value of the constant time of the transport enterprise.

It is shown that the total time of delivery of cargo consists of the time of finding the vehicle in the route, taking into account the resistance of the route and the time delays in all logistics chains of the system.

Keywords: dynamic model; structural identification; parametric identification; freight transportation; transport process; service delays; service requests

Актуальність проблеми

Задача формування маршрутів міської транспортної мережі вантажних перевезень належить до завдань стохастичного програмування, тому що вихідні дані для розв'язку оптимізаційної задачі (потік заявок, дальність перевезень, обсяг перевезень і т.д.) є випадковими функціями часу. Прийняття рішень по формуванню міських маршрутів доставки вантажів здійснюються логістом логістичного центру транспортного підприємства в процесі надходження заявок в онлайн-режимі оперативного керування. При цьому, ефективність процесу вибору маршруту визначається, з одного боку, сукупністю використовуваних принципів і методів рішення транспортної задачі або її різновидів, з іншого боку – використанням сучасних інтернет-ресурсів, які доступні в онлайн-режимі. Такі інтернет-ресурси є на сьогоднішній день ефективними засобами прийняття управлінських рішень.

На сьогоднішній день накопичено великий обсяг наукової інформації і отримані позитивні практичні результати по організації міських вантажних перевезень малими партіями. Однак, пошук рішень по підвищенню ефективності вантажних перевезень у місті залишається актуальним. Пов'язано це зі стохастичною природою завантаженості магістралей і вулиць міста в різні години робочого дня, а також динамічністю зміни інтенсивності або щільності транспортного потоку на вулицях міста.

Узагальнюючи викладене вище, науковий напрямок даної роботи полягає в подальшому розвитку методів моделювання динамічних транспортних потоків міських вантаж-

них перевезень з урахуванням завантаженості вулиць у реальному режимі часу, використовуючи доступні інтернет-ресурси. Отриманий прогноз дозволить обґрунтувати раціональний маршрут доставки вантажу в реальному масштабі часу (на найближчі 30...60 хв.), тим самим підвищити надійність доставки та знизити витрати на доставку.

Аналіз останніх досліджень

Дана робота є продовженням роботи [1], де на основі виявлених аналогій у закономірностях протікання процесів в електричних ланцюгах і міських автотранспортних потоків [2-5], розроблено математичну модель міських вантажних перевезень. Основною відмінністю розробленої моделі від раніше відомих, є те, що модель працює в реальному режимі часу і за допомогою інтернет-ресурсів визначає завантаженість ділянок дорожньої мережі або наявність пробок.

Задача ідентифікації динамічної математичної моделі затримок у прийнятті рішень у логістичному центрі і транспортному підприємстві при отриманні заявки на перевезення вантажу зводиться до визначення оператора моделі. Під оператором моделі будемо розуміти математичну динамічну модель у вигляді лінійних диференціальних рівнянь другого порядку. Аналогічний підхід при моделюванні вантажних перевезень під час збирання врожаю застосований у роботі [6].

Одержання диференціальних рівнянь у теорії ідентифікації динамічних об'єктів [7, 8] має назву «ідентифікація».

Динамічна модель затримок у прийнятті рішень у логістичній системі, відповідно до робіт [7,8], зможе бути задана у вигляді звичайного диференціального рівняння n -го порядку, яка дозволяє визначити час затримок у логістичному центрі і транспортному підприємстві при надходженні заявок на перевезення вантажу, а також при русі транспортних засобів по маршруту.

Для опису перехідного процесу в логістичній системі після надходження заявок на обслуговування до диференціального рівняння необхідно додати початкові умови та, застосовуючи перетворення Лапласа [9, 10], можна одержати передавальну функцію, яка характеризує транспортний процес.

Формулювання мети дослідження

Одним із завдань цього дослідження є розробка динамічної моделі затримок у прийнятті рішень у логістичних ланцюгах міських вантажних перевезень.

Методичний підхід в проведенні досліджень

Ґрунтуючись на інформації, яка опублікована іншими дослідниками, а також на дослідженнях, які було проведено автором даної роботи, структурно-динамічну схему витрат часу в логістичній системі можна представити в наступному виді, рис. 1. На схемі, рис. 1, логістичний центр (ЛЦ) і транспортне підприємство (ТП) з'єднані послідовно. Вхідний сигнал (заявки на перевезення) у вигляді J , т/год, тобто необхідної продуктивності логістичної системи (ЛС), спочатку надходить у ЛЦ і після розв'язання задачі на вибір оптимального маршруту з максимальною добротністю [1], надходить у ТП. Однак, при розв'язку таких завдань на протязі часу, можуть змінитися вхідні умови, наприклад, виникнуть пробки на окремих ділянках маршруту. Отже, система повинна мати гнучкий зворотний зв'язок, який на схемі, рис.1, представлена блоком $K_{ЛС}$. Представлений блок здійснює корекцію маршруту і відповідає за «чутливість» логістичної системи.

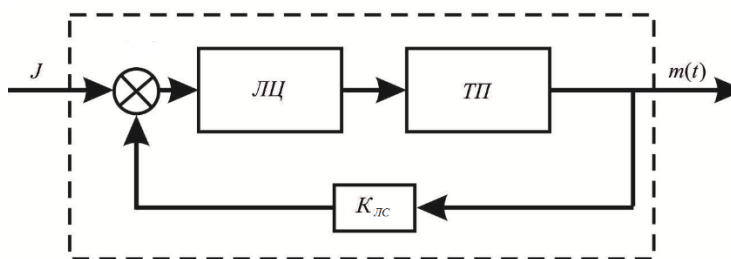


Рис. 1. Структурно-динамічна схема логістичної системи доставки вантажів

Ґрунтуючись на роботі [6] можна припустити, що передавальні функції ЛЦ і ТП – це інерційні ланки, тобто отримана заявка на транспортне обслуговування не може виконуватися миттєво, а виконується із затримкою. Це говорить про те, що ЛЦ і ТП мають певну інерцію.

Згідно робіт [9, 10], передавальну функцію для ЛЦ запишемо в наступному виді:

$$Y_{ЛЦ} = \frac{K_{ЛЦ}}{(T_{ЛЦ}p + 1)}, \quad (1)$$

де $K_{ЛЦ}$ – коефіцієнт чутливості ЛЦ до надходження заявок;

$T_{ЛЦ}$ – постійна часу ЛЦ, яка враховує інерційність (затримки) в обробці заявок, розмірність година;

p – оператор диференціювання, $p = d/dt$, застосовується замість знака диференціювання.

Передавальну функцію для транспортного підприємства, у вигляді інерційної ланки, запишемо у вигляді:

$$Y_{ТП} = \frac{K_{ТП}}{(T_{ТП}p + 1)}. \quad (2)$$

де $K_{ТП}$ - коефіцієнт чутливості транспортного підприємства до надходження заявок з логістичного центру на транспортне обслуговування;

$T_{ТП}$ - постійна часу ТП, яка враховує інерційність (затримки) у прийнятті заявок для транспортного обслуговування, розмірність година.

Передавальна функція $K_{ЛС}$, рис.1, яку було включено до схеми у вигляді зворотного зв'язку, є безрозмірним коефіцієнтом і враховує чутливість логістичної системи (ЛЦ + ТП).

На підставі наведених передавальних функцій $Y_{ЛЦ}$, $Y_{ТП}$, $K_{ЛС}$, структурно-динамічну схему логістичної системи доставки вантажів виразимо в наступному виді, рис. 2.

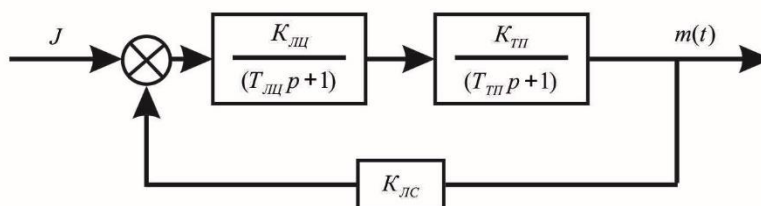


Рис. 2. Структурно-динамічна схема з передавальними функціями

Представлена на рис. 2 структурно-динамічна схема відбиває не функціональне призначення і функціональні взаємозв'язки в ЛС, а математичні операції, які здійснюються при передачі вхідного сигналу J через ланки й динамічні властивості системи в цілому.

Застосовуючи методи теорії ідентифікації динамічних об'єктів, можна одержати еквівалентну передавальну функцію ЛС:

$$Y_{EK} = \frac{\frac{K_{ЛЦ}}{(T_{ЛЦ} p + 1)} \cdot \frac{K_{ТП}}{(T_{ТП} p + 1)}}{1 + \frac{K_{ЛЦ}}{(T_{ЛЦ} p + 1)} \cdot \frac{K_{ТП}}{(T_{ТП} p + 1)} \cdot K_{ЛС}} \quad (3)$$

Провівши алгебраїчні перетворення формули (3) одержимо:

$$Y_{EK} = \frac{K_{ЛЦ} \cdot K_{ТП}}{(T_{ЛЦ} p + 1)(T_{ТП} p + 1) + K_{ЛЦ} K_{ТП} K_{ЛС}} = \frac{m}{J} \quad (4)$$

Перепишемо вираз (4) у наступному виді:

$$(T_{ЛЦ} \cdot T_{ТП} p^2 + (T_{ЛЦ} + T_{ТП}) p + 1 + K_{ЛЦ} K_{ТП} K_{ЛС}) m = K_{ЛЦ} K_{ТП} J \quad (5)$$

Після перетворень вираз (5):

$$\frac{T_{ЛЦ} T_{ТП}}{K_{ЛЦ} K_{ТП}} p^2 m + \frac{(T_{ЛЦ} + T_{ТП})}{K_{ЛЦ} K_{ТП}} p m + \frac{m}{K_{ЛЦ} K_{ТП}} + K_{ЛС} m = J \quad (6)$$

Замінивши у виразі (6) p на $\frac{d}{dt}$, одержимо:

$$T_{ЛС} \frac{d^2 m}{dt^2} + 2d_{ЛС} Q_m T_{ЛС} \frac{dm}{dt} + \frac{m}{K_{ЛЦ} K_{ТП}} + m \cdot K_{ЛС} = J \quad (7)$$

Отриманий вираз (7) є диференціальним рівнянням другого порядку, який описує перехідний процес у логістичній системі.

Порівнюючи рівняння (6) і (7) запишемо вираз для визначення постійної часу логістичної системи $T_{ЛС}$:

$$T_{ЛС} = \sqrt{\frac{T_{ЛЦ} \cdot T_{ТП}}{K_{ЛЦ} \cdot K_{ТП}}} \quad (8)$$

Для коефіцієнта $d_{ЛС}$ при першій похідній:

$$2d_{ЛС} T_{ЛС} = \frac{(T_{ЛЦ} + T_{ТП})}{K_{ЛЦ} \cdot K_{ТП}} \quad (9)$$

звідки:

$$d_{ЛС} = \frac{(T_{ЛЦ} + T_{ТП})}{2T_{ЛС} \cdot K_{ЛЦ} \cdot K_{ТП}} \quad (10)$$

Отриманий параметр характеризує відсутність або наявність коливального процесу в ЛС. Відповідно до прийнятих методів теорії ідентифікації динамічних об'єктів при $d_{ЛС} < 1$ колювання в системі присутні, при $d_{ЛС} > 1$ - відсутні.

Права частина рівняння (7), це вхідний сигнал у ЛС – продуктивність логістичної системи, т/год.

Ліва частина рівняння – це реакція ЛС на вхідний сигнал J . Збільшення постійних часу $T_{ЛЦ}$ й $T_{ТП}$ роблять процес менш чутливим (менш сприйнятливим) до вхідного впливу J . Процес обробки заявок і доставка вантажу збільшується в часі.

Коефіцієнти підсилення $K_{ЛЦ}$ й $K_{ТП}$ характеризують чутливість ЛЦ і ТП до надходження заявок, а $K_{ЛС}$ - чутливість логістичної системи в цілому.

Результати досліджень

Розв'язком для наведеного вище диференціального рівняння (7) є вираз:

$$m(t) = m \left[1 - \exp\left(-\frac{d_{ЛС} Q_M}{T_{ЛС}} \cdot t\right) \cdot \cos ft + A \sin ft \right], \quad (11)$$

де $m(t)$ - функція доставки заданої маси вантажу в часі;

t - поточний час, година;

f - частота коливань, визначається по виразу:

$$f = \frac{1}{T_{ЛС}} = \frac{1}{\text{год}}, \quad (12)$$

A - амплітуда коливань, визначається по виразу:

$$A = \frac{1}{d_{ЛС}}, \quad (13)$$

Отримана форма запису диференціального рівняння (7) і його розв'язок (11) є результатом структурної ідентифікації динамічної моделі ЛС. Проте, використовувати розв'язок диференціального рівняння для моделювання важко, тому що невідомі вирази для визначення: $K_{ЛЦ}$; $K_{ТП}$; $K_{ЛС}$; $T_{ЛЦ}$ і $T_{ТП}$. Метою параметричної ідентифікації є визначення виразів для розрахунків наведених вище коефіцієнтів і постійних часу, що б при підстановці їх у рівняння (7) права та ліва частини відрізнялися якомога найменше.

На підставі виконаного аналізу робіт з параметричної ідентифікації, можна зробити висновок, що базовим підходом до визначення параметрів динамічної моделі є метод найменших квадратів (МНК). Поряд із МНК існують інші методи, наприклад, методи імовірнісного підходу, оцінка максимальної правдоподібності, алгоритми стохастичної апроксимації, байєсівська оцінка [9, 10].

При рішенні задач транспортного обслуговування [6] часто застосовують методичний підхід теорії подібності і моделювання [11], де для отримання безрозмірних критеріїв подібності застосовують методи аналізу розмірностей. Аналізуючи розмірні фактори, які впливають на процес, але при цьому не залежать один від одного, можна одержати безрозмірні критерії (коефіцієнти), які адекватно описують досліджуваний процес.

Процедурою параметричної ідентифікації або знаходження виразів для визначення $K_{ЛЦ}$; $K_{ТП}$; $K_{ЛС}$; $T_{ЛЦ}$ і $T_{ТП}$, які характеризують процес отримання і оформлення заявок на транспортне обслуговування, а також сам процес доставки вантажу, є експериментальний матеріал, а також матеріал, який було опубліковано іншими дослідниками.

Коефіцієнт підсилення $K_{ЛС}$, який входить у диференціальне рівняння (7) і їх розв'язок (11), у теорії ідентифікації динамічних об'єктів називають коефіцієнтом, який оцінює ступінь впливу вхідного сигналу на вихідний. Опираючись на таке фізичне поняття і використовуючи методи розмірностей теорії подібності й моделювання, одержимо вираз:

$$K_{ЛЦ} = \frac{P_{ЛЦ, \max}}{P_{ЛЦ, з}}, \quad (14)$$

де $P_{ЛЦ, \max}$ - максимально можлива проектна потужність логістичного центру, яку можна одержати, Вт;

$P_{ЛЦ, з}$ - потужність ЛЦ, як відповідає заявкам на даний момент часу, розраховується по формулі, яка наведена в роботі [1].

Як впливає з аналізу формули (14), $K_{ЛЦ}$ - це запас потужності ЛЦ, який характеризує потенційну можливість до швидкого оформлення заявок і передачу їх на транспортне підприємство. Якщо $K_{ЛЦ}$ дорівнює одиниці або менше одиниці, то заявки в ЛЦ будуть стояти в черзі і оформлятися довго за часом. Отже, $K_{ЛЦ}$ характеризує чутливість ЛЦ до отриманих заявок на транспортне обслуговування. Для збільшення чутливості (зменшення часу обробки заявок), необхідно підвищувати проектну потужність ЛЦ, наприклад, збільшенням робочих місць для логістів.

Коефіцієнт підсилення $K_{ТП}$ характеризує потенційну можливість транспортного підприємства виконувати транспортну роботу і може бути визначений наступним виразом:

$$K_{ТП} = \frac{N_{авт,чп}}{N_{авт,з}}, \quad (15)$$

де $N_{авт,чп}$ - списковий состав справних автомобілів на ТП на даний момент часу;

$N_{авт,з}$ - кількість автомобілів, яке необхідно для виконання замовлення на транспортне обслуговування.

Якщо $K_{ТП}$ виявиться менше одиниці, то отримана заявка на перевезення вантажу буде стояти в черзі.

Збільшення спискового состава автомобілів у ТП, які не беруть участь в наряді, економічно не виправдане, однак, підвищує чутливість ТП до виконання замовлень.

Коефіцієнт підсилення логістичної системи в цілому (логістичний центр плюс транспортне підприємство) $K_{ЛС}$, характеризує запас по продуктивності системи до заявок на перевезення вантажу, які були отримані і виконуються та може бути виражений:

$$K_{ЛС} = \frac{J_{ЛЦ}}{J_{ТП}}, \quad (16)$$

де $J_{ЛЦ}$ - максимально можлива (проектна) продуктивність ЛЦ, т/год;

$J_{ТП}$ - необхідна продуктивність ТП згідно з отриманими заявками, т/год.

Фізичний зміст коефіцієнта $K_{ЛС}$ - це чутливість ЛС до виконання транспортного обслуговування. Якщо $K_{ЛС}$ менше одиниці, то заявки, що надійшли, у ЛС будуть стояти в черзі і час обслуговування значно збільшиться.

Коефіцієнти чутливості $K_{ЛЦ}$, $K_{ТП}$, $K_{ЛС}$ є безрозмірними.

Постійна часу $T_{ЛЦ}$, яка входить у диференціальне рівняння (7) і його розв'язок (11) у теорії ідентифікації динамічних об'єктів характеризує інерційність об'єкта, тобто час, який проходить між фактом отримання заявки на обслуговування і початком обробки заявки. Цей час можна назвати часом затримки, розмірність година.

Застосовуючи методичний підхід теорії подібності і моделювання, постійну часу $T_{ЛЦ}$ виразимо в наступному вигляді:

$$T_{ЛЦ} = \sqrt{\frac{\omega \cdot t_{ЛЦ} \cdot V}{J_{ЛЦ} \cdot L_{ЛЦ} \cdot v_{ЛЦ}}}, \quad (17)$$

де ω - частота надходження заявок на обслуговування у ЛЦ, 1/година;

V - обсяг вантажу, який необхідно перевезти відповідно до заявки, м³;

$J_{ЛЦ}$ - продуктивність ЛЦ в обробці заявок, т/год;

$v_{ЛЦ}$ - швидкість обробки заявок, км/година.

Велике значення постійної часу $T_{ЛЦ}$ говорить про те, що ЛЦ має велику інерційність у прийнятті заявок у роботу і буде мати великий час затримок.

Виходячи з аналізу формули (17), велике значення інерційності буде при високій частоті надходження заявок ω , великому часі обробки заявки $t_{ЛЦ}$ і великому обсязі вантажу, який необхідно перевезти V , при одночасно малих значеннях продуктивності ЛЦ в обробці заявок $J_{ЛЦ}$, малої інформаційності ЛЦ $L_{ЛЦ}$ і малої швидкості обробки заявок $v_{ЛЦ}$. Можно припустити, що чим менше значення інерційності ЛЦ, тим менше затримка в оформленні заявок. Для цього необхідно збільшувати інформаційність ЛЦ, як властивість створювати інформаційне поле та одночас зменшувати час обробки однієї заявки, наприклад, оптимізуючи структуру ЛЦ по кількості робочих місць або потужності ЛЦ.

Фізичний зміст постійної часу $T_{ТП}$ - це час, який проходить від факту передачі заявки на транспортне обслуговування із ЛЦ у ТП до часу початку руху транспортних засобів по маршруту. Отже, величина $T_{ТП}$ характеризує інерційність ТП, а значить, затримки при обробці заявки. Час руху транспортних засобів по маршруту також входить у значення $T_{ТП}$.

Отже, застосовуючи методичний підхід аналізу розмірностей одержимо вираз:

$$T_{ТП} = \frac{J_{ТП} \cdot R_m}{Q_m \cdot v_{mex}^2}, \quad (18)$$

де $J_{ТП}$ - продуктивність транспортного підприємства, розмірність т/год, визначається по формулі, яка наведена в роботі [1];

R_m - опір маршруту, визначається по формулі, яка наведена в роботі [1];

Q_m - добротність маршруту, визначається по формулі, яка наведена в роботі [1];

v_{mex} - технічна швидкість транспортного засобу на маршруті, визначається по формулі, яка наведена в роботі [1].

Малі значення $T_{ТП}$ будуть викликати мінімальні затримки у відправленні транспортних засобів на маршрут і в процесі руху по маршруту. Для цього, необхідно вибрати маршрут з максимальним значенням добротності Q_m , де буде забезпечено максимальну технічну швидкість руху v_{mex} . Сумарне значення постійної часу логістичної системи (інтегральна величина), визначається з виразу (8). Як впливає з аналізу наведеної формули для зниження часу затримок у ЛС, необхідно зменшувати $T_{ЛЦ}$ й $T_{ТП}$ при од-

ночасному збільшенні $K_{лц}$ й $K_{тп}$. З формули (8) випливає, що розмірність $T_{лс}$ - година.

Отримані вирази для визначення $K_{лц}, K_{тп}, K_{лс}, T_{лц}, T_{тп}, T_{лс}$ є результатом параметричної ідентифікації динамічної математичної моделі затримок у прийнятті рішень у логістичних ланцюгах міських вантажних перевезень, яка представлена диференціальним рівнянням (7).

При підстановці отриманих параметрів у розв'язок диференціального рівняння, формула (11), можна моделювати процес оформлення заявок і переміщення вантажу в логістичних ланцюгах логістичної системи міських вантажних перевезень.

Висновки

Розроблено динамічну модель затримок у прийнятті рішень у логістичних ланцюгах міських вантажних перевезень. У результаті структурної ідентифікації отримано диференціальне рівняння другого порядку і його розв'язок, який дозволяє моделювати динаміку протікання процесу обробки заявок на транспортне обслуговування і сам процес транспортного обслуговування в логістичних ланцюгах.

Виконано параметричну ідентифікацію розробленої моделі, отримано вираз для визначення коефіцієнтів підсилення і постійних часу, які входять у математичну модель. Визначено фізичний зміст коефіцієнтів підсилення – це чутливість логістичних ланцюгів і системи в цілому до отримання заявок на обслуговування й характеризується, як запас по продуктивності. Фізичний зміст постійних часу – це інерційні властивості логістичних ланцюгів, які формують затримку в прийнятті рішень на транспортне обслуговування. Показано, що сумарний час доставки вантажу складається із часу знаходження транспортного засобу на маршруті, з урахуванням опору маршруту і часу затримок у всіх логістичних ланцюгах системи.

Список використаних джерел

1. Кутья О.В. Разработка математической модели городских грузовых перевозок, *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*, 2019, вип.19, с.159-163.
2. Данчук В. Д., Кривенко В. І., Олійник Р. В., Тарабан С. М. Електротехнічна модель дослідження транспортних потоків, *Вісник НТУ*. – 2010. – № 21(2). – С. 28-32.
3. Данчук В. Д., Кривенко В. І., Олійник Р. В., Тарабан С. М. Електротехнічна модель розподілу транспортних потоків у вулично-дорожній мережі міста, *Управління проектами, системний аналіз і логістика. Науковий журнал*. – К.: НТУ. – 2011. – Вип. 8. – С. 45 -49.
4. Данчук В. Д., Кривенко В. І., Олійник Р. В., Тарабан С. М. Електричне моделювання міських автотранспортних потоків, *Вісник НТУ «ХП»*, № 46 (1155), 2015, с.109-114.
5. Данчук В. Д., Кривенко В. І., Олійник Р. В., Тарабан С. М. Система класифікації елементів вулично-дорожньої мережі міста, *Вісник ХНАДУ*, вип.63, 2013, с.111-116.
6. Бережна Н. Г. Моделювання динамічних процесів в логістичних системах вантажоперевезень, *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів: ХНТУСГ*. – 2017. – №. 7. – С. 64–76.
7. Дейч А.М. Методы идентификации динамических объектов, – М.: Энергия, 1979. – 240 с.

8. Эйкхоф П. основы идентификации систем управления. Оценивание параметров и состояния, –М.: Мир, 1975. – 684 с.
9. Лазарев Т.Я. Основы теории автоматического управления: Учебн. Пособие, – Тамбов: изд-во Тамб. гос. тех. ун-та, 2004. – 352 с.
10. Гусев А.Н. Основы теории автоматического управления: Учебн. Пособие, – Самара: Самарс. гос. аэрокосм. Ун-т, 2005. – 164 с.
11. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике, – М.: Наука, 1981. – 448 с.

References

1. Shevchenka S.A. 2012. Klasyfikacya ta obgruntuvannya vy`mog do akustyko-emy`sy`jny`x oznak defekty`v par tertya mexany`zmy`v. Vy`sny`k Xarky`vs`kogo nacy`onal`nogo texny`chnogo uny`versy`tetu sy`l`s`kogo gospodarstva y`m. P. Vasy`lenka. – Vy`p.121. – pp.159-163. [in Ukrainian].
2. Abdullah M., D. Al-Ghamd, Zhechkov, D. Mba. A comparative experimental study on the use of Acoustic Emission and vibration analysis for bearing defect identification and estimation of defect size, *Mechanical System and Signal Processing*, 2006, No.7, pp.1537–1571.
3. Mazal P., V. Koula, F. Hort, F. Vlastic. Applications of continuous sampling of AE signal for detection of fatigue damage, *NDT in Progress*, 2009, No.4. –8 p.
4. Yanhui Feng. Discrete wavelet-based thresholding study on acoustic emission signals to detect bearing defect on a rotating machine, *The Thirteen International Congress of Sound and Vibration*. Vienna, Austria, 2-6 July, 2006. –8 p.
5. Faris Elasha., Matthew Greaves, David Mba, Abdulmajid Addali. Application of Acoustic Emission in Diagnostic of Bearing Faults within a Helicopter gearbox, *The Fourth International Conference on Through-life Engineering Services*. Procedia CIRP, 2015, Vol.38, pp. 30-36.
6. Seyed A. Niknam, Tomcy Thomas, J. Wesley Hines, Rapinder Sawhney. Analysis of Acoustic Emission Data for Bearings subject to Unbalance, *International Journal of Prognostics and Health Management*, 2013, Vol. 15, pp. 1–10.
7. Badgujar M.P., Patil A.V. Fault Diagnosis of Roller Bearing Using Acoustic Emission Technique and Fuzzy Logic, *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology*, 2014, Vol. 3, Issue 4, pp.170–175.
8. Rao V.V., Ratnam Ch. A Comparative Experimental Study on Identification of Defect Severity in Rolling Element Bearings using Acoustic Emission and Vibration Analysis, *Tribology in Industry*, 2015, Vol. 37, No. 2, pp.176-185.
9. Zahari Taha., Indro Pranoto. Acoustic Emission - Research and Applications. Chapter 4 – Acoustic Emission Application for Monitoring Bearing Defects, *InTech*. 2013, pp.71–90. <http://dx.doi.org/10.5772/55434>
10. Nienhaus K., Boos F.D., Garate K., Baltes R. Development of Acoustic Emission (AE) based defect parameters for slow rotating roller bearings, *Journal of Physics: Conference Series*. 364. 2012. 012034. 1-10. doi:10.1088/1742-6596/364/1/012034
11. Yongyong He., Xinming Zhang, Michael I. Friswell. Defect Diagnosis for Rolling Element Bearings Using Acoustic Emission, *Journal of Vibration and Acoustics*, 2009, Vol. 131 / 061012.
12. Svy`ry`denok, A.Y`. Akusty`chesky`e y` ãlektry`chesky`e metody` v try`botexny`ke; pod red. V.A. Belogo, My`nsk, *Nauka y` texny`ka*, 1987, 280 p. [in Russian].

13. Zazhy`gaev L.S., Ky`sh`yan A.A., Romany`kov Yu.Y.`Metody` plany`rovany`ya y` obrabotky` rezul`tatov fy`zy`cheskogo yekspery`menta, *M, Atomy`zdat*, 1978, 232 p. [in Russian].

14. Vojtov V.A., M. B. Zaxarchenko. Modely`rovany`e processov treny`ya y`znashy`vany`ya v try`bosy`stemax v uslovy`yax grany`chnoj smazky`. Chast` 1. Raschet skorosty` raboty` dy`ssy`pacy`y` v try`bosy`stemax, *Problemy` try`bology`yy`*, 2015, No. 1, pp. 49-57. [in Russian].

15. Vojtov V.A., M. B. Zaxarchenko. Modely`rovany`e processov treny`ya y`znashy`vany`ya v try`bosy`stemax v uslovy`yax grany`chnoj smazky`. Chast` 2. Rezul`taty` modely`rovany`ya, *Problemy` try`bology`yy`*, 2015, No. 2, pp. 36-45. [in Russian]