

Бережна Н.Г.

Харківський національний технічний
університет сільського господарства
імені Петра Василенка, м. Харків,
Україна
E-mail: bereg_nat@ukr.com

**МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ
В ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМАХ
ВАНТАЖОПЕРЕВЕЗЕНЬ**

УДК 656.073.7

Виконана структурна ідентифікація динамічної моделі логістичної системи вантажних перевезень. Отримано диференціальне рівняння і його розв'язання для всіх складових логістичної системи, з точністю до коефіцієнтів. Аналіз диференціального рівняння дозволив встановити, що на процеси в системі, в першу чергу, впливає швидкість надходження заявок на обслуговування, а сам процес виконання заявок залежить від інерційності системи, яка оцінюється постійними часу. Встановлено, що відсутність або наявність коливання величини обсягу переробленого вантажу в системі залежить від величини декременту затухання, який є функцією коефіцієнтів підсилення і постійних часу.

Виконана параметрична ідентифікація динамічної моделі логістичної системи вантажних перевезень. Отримано вирази для визначення коефіцієнтів підсилення і постійних часу, які входять у диференціальні рівняння та характеризують динаміку перехідного процесу. Визначений фізичний зміст коефіцієнтів підсилення – це «запас стійкості» логістичної системи до швидкості надходження заявок на обслуговування. Фізичний зміст постійних часу – це інерційність системи у виконанні заявок, яка враховує різного роду затримки у їх виконанні.

Ключові слова: математична модель, динамічна модель, логістична система, система масового обслуговування, інерційність, коефіцієнти підсилення, постійні часу, вантажоперевезення.

Актуальність проблеми

Специфікою організації процесу перевезення сільськогосподарських вантажів – є велика інтенсивність вантажних потоків, пов'язана з короткотривалістю збору врожаю. Управління цим складним процесом за таких умов ускладнюється ще й погодними умовами, відсутністю необхідної кількості збиральної й транспортної техніки, навантажувачів, місць для тимчасового зберігання врожаю. Тому завданням для спеціалістів з агрологістики є винайти ключ для вирішення питань, що виникають під час збирання й транспортування сільськогосподарських вантажів

Аналіз публікацій, що присвячені даній проблемі

Темі удосконалення процесу організації та управління вантажними перевезеннями сільськогосподарських вантажів присвячена робота [1]. В ній проведено детальний аналіз використання та розвитку автомобільного транспорту при перевезенні сільськогосподарських вантажів, та запропоновані рекомендації для удосконалення транспортного процесу, але питанню узгодженості роботи автомобілів зі збиральною технікою, навантажувачами уваги не приділено.

В роботі [2] запропоновано удосконалену методику оцінки ефективності процесу перевезення вантажів за допомогою матричного моделювання. Наведена методика передбачає побудову матриць, що характеризують такі етапи процесу перевезень як: навантаження, переміщення вантажу, розвантаження, тобто ланцюгів транспортного процесу доставки вантажу, не розглядаючи інших учасників, таких як, виробник, склад, споживач.

Автори роботи [3] приводять методологію моделювання за допомогою імітаційних моделей логістичних мереж, таких як мережі внутрішньої логістики, так і мережі поставок. Дана робота побудована так, що після опису загальних властивостей імітаційних моделей логістичних мереж надається інформація про практичне застосування цих моделей.

Особливості використання імітаційних моделей для аналізу процесів в логістичних мережах наведено в роботах [4, 5]. Для побудови моделей на етапі планування та реалізації чисельних експериментів застосовується підхід «чорної скрині».

Методи і техніка побудови та використання імітаційних моделей наведено в роботах [6,7]. Робота спрямовані на розробку власних програм для моделювання різних виробничих логістичних ланцюгів.

В роботі [8] наведено методичний підхід в розробці математичної моделі логістичних процесів, що відбуваються в логістичній системі транспортного обслуговування збирання цукрового буряку. Автором запропоновано новий підхід в моделюванні функціонування логістичної системи сільськогосподарських вантажних перевезень із застосуванням математичного апарату систем масового обслуговування. Визначені й описані вантажопоглинаючі і вантажоутворюючі пункти логістичної системи, їх зв'язки і стани.

Авторами роботи [9] виконано імовірнісне моделювання логістичних систем вантажних перевезень з використанням системи масового обслуговування. Розглядається модель логістичної системи на основі однофазної одноканальної і багатоканальної системи обслуговування з різними функціями розподілу інтервалів надходження транспортних засобів в логістичний центр та обробки елементів потоку. Наведено приклади розрахунку показників ефективності логістичної системи.

Метод динамічного програмування розглянуто в роботі [10]. В ній розглянуто розробка стратегії забезпечення необхідного рівня ефективності надання логістичних послуг, але лише за рахунок прогнозування доходів від надання послуг з перевезень і транспортно-експедиційного обслуговування.

Методологія застосування динамічного моделювання розглянуто в роботі [11], де наведено методи і методики побудови динамічних моделей перехідних процесів. Взагалі, при побудові динамічних моделей застосовують теорію автоматичного регулювання [12-14].

Для побудови математичної моделі динаміки процесів вантажних перевезень під час збирання цукрового буряку необхідно застосовувати теорію ідентифікації динамічних об'єктів та теорію автоматичного керування. Математичний апарат вищезазначених теорій дозволить досліджувати динамічні процеси в логістичних ланцюгах вантажоперевезень.

Мета дослідження

Розробити динамічну модель переміщення матеріальних і інформаційних потоків, що протікають в транспортно-логістичному комплексі з виробництва цукрового буряку. Виконати структурну і параметричну ідентифікацію запропонованої моделі.

Методичний підхід в проведенні досліджень

Особливістю логістичних систем вантажних перевезень під час збирання врожаю є те, що різноманітні потоки, як матеріальні, так і інформаційні, є динамічними процесами, що розвиваються в часі. Складність і різноманіття процесів у реальних логістичних системах вантажоперевезень призводить до використання результатів імовірнісного моделювання системи за допомогою апарату системи масового обслуговування (СМО)

[15], як вхідного потоку (сигналу) в динамічну модель переміщення матеріальних і інформаційних потоків. На першому етапі моделювання така динамічна модель може розглядатися у вигляді "чорної скрині".

Вихідними параметрами чорної скрині є: обсяг переміщеного вантажу в реальному масштабі часу; час виконання замовлення, коефіцієнт готовності та коефіцієнт технічного використання логістичної системи, які характеризують надійність системи.

Структура динамічної моделі логістичної системи як "чорної скрині", представлена на рис. 1.



Рис. 1. Структура динамічної моделі логістичної системи:

W_3 – обсяг переробки вантажу цукровим заводом; $W_П$ – обсяг вантажу, вироблений підприємством;
 $W_{СКЛ}$ – обсяг вантажу, який перероблений складом; $W_{ЛЦ}$ – обсяг переробки заявок на транспортне обслуговування в логістичному центрі; $W_{ТП}$ – обсяг перевезення вантажу транспортним підприємством; K_z – коефіцієнт готовності;
 $K_{ТВ}$ – коефіцієнт технічного використання

Особливістю динамічних моделей є те, що перераховані показники функціонування будуть оцінюватися не у вигляді констант, а у вигляді функцій часу, що відображають динаміку процесів, які протікають в реальних системах.

Аналіз літературних джерел, присвячених моделюванню функціонування логістичних систем або логістичних ланцюгів, показує, що це інерційні системи. Після отримання заявки на перевезення вантажу логістичний центр, склад або транспортне підприємство виходять на максимальну продуктивність не миттєво, а через деякий час, як показано на рис. 2.

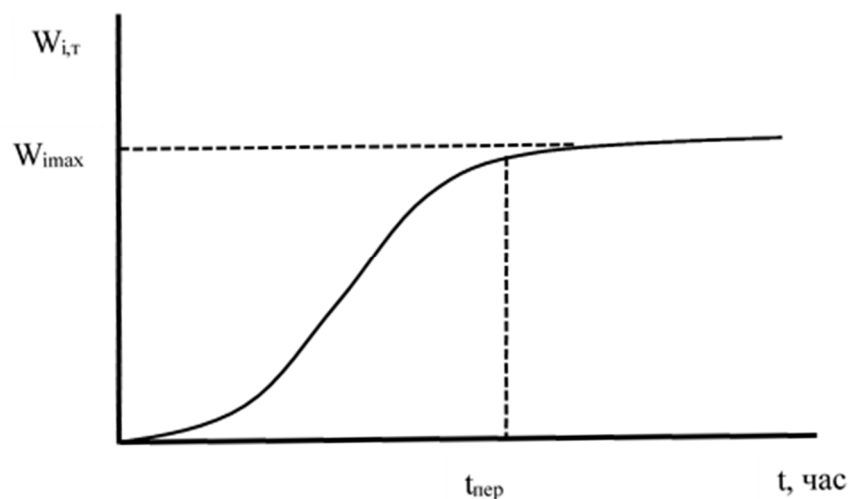


Рис. 2. Перехідна характеристика логістичної системи

Представлена перехідна характеристика отримала назву логістичної моделі або логісти [16], а час $t_{пер}$, характеризує час виходу системи на максимальну продуктивність (час перехідного процесу).

На характер перехідної характеристики впливає потік заявок на переробку вантажів на складі, а також на процес їх транспортування. Згідно основних положень СМО характер найпростішого потоку заявок розподілений за показовим (експоненціальним) законом, як показано на рис. 3.

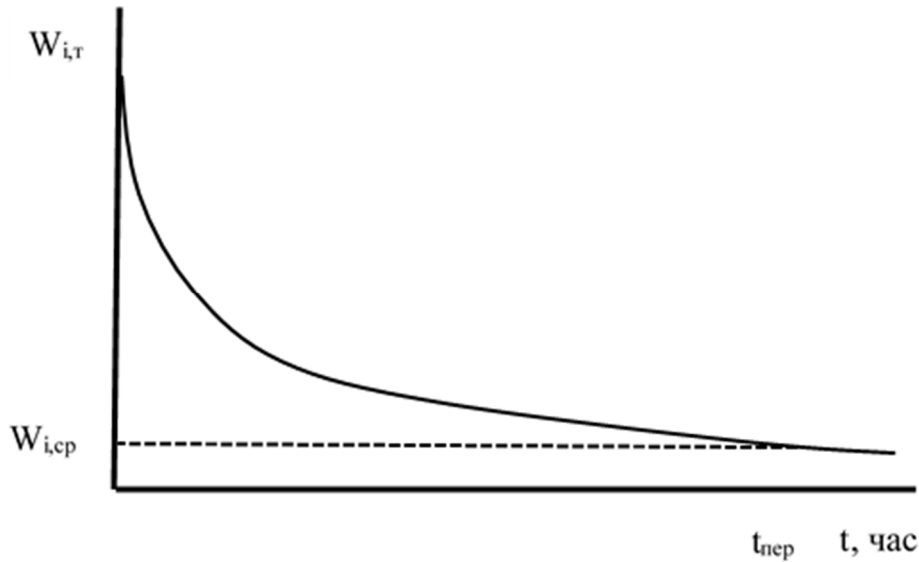


Рис. 3. Залежність розподілу заявок в СМО у часі

Використовуючи основні положення теорії ідентифікації динамічних об'єктів [11-14] можна отримати структуру динамічної моделі логістичної системи, яка представлена на рис. 4.

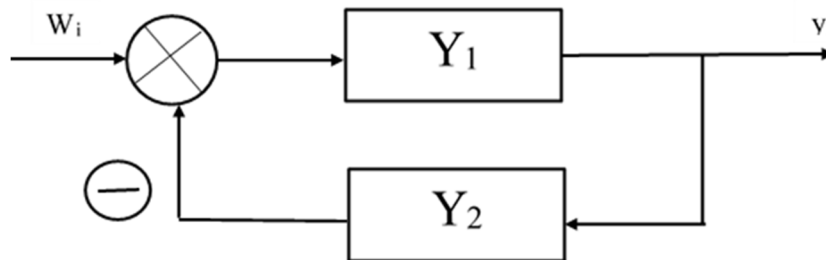


Рис. 4. Структурна схема динамічної моделі логістичної системи

Передавальна функція Y_1 – це інерційна ланка, яка представлена на рис. 2, в операторній формі. Її можна виразити формулою:

$$Y_1 = \frac{K_1}{T_1 P + 1}, \quad (1)$$

де Y_1 – передавальна функція інерційної ланки;

K_1 – коефіцієнт підсилення, який характеризує ступінь впливу вхідного потоку W_1 на вихідний Y_1 ;

T_1 – постійна часу, що характеризує інерційність системи, розмірність година;

P – оператор диференціювання d/dt .

Як випливає з рис. 4 структурна схема містить зворотний негативний зв'язок у вигляді передавальної функції Y_2 , яка графічно представлена на рис. 3. Негативний зворотний зв'язок формує «затримку» в проходженні заявок, що в початковий момент часу досягає максимуму. Згідно теорії ідентифікації динамічних об'єктів таку ланку називають диференціуючою з передавальною функцією в операторній формі:

$$Y_2 = \frac{K_2 P}{T_2 P + 1}, \quad (2)$$

де Y_2 – передавальна функція диференціуючої ланки;

K_2 – коефіцієнт підсилення, який характеризує ступінь впливу вихідного сигналу Y_i на вхідний W_i ;

T_2 – постійна часу, що характеризує затримку в обробці потоку заявок, або затримку в виконанні транспортного обслуговування, розмірність година.

Згідно методики представленої в [11-14], напишемо еквівалентну передавальну функцію для схеми на рис. 4:

$$Y_{ек} = \frac{Y_1}{1 + Y_1 Y_2} = \frac{\frac{K_1}{T_1 P + 1}}{1 + \left(\frac{K_1}{T_1 P + 1}\right) \left(\frac{K_2 P}{T_2 P + 1}\right)}. \quad (3)$$

Після алгебраїчних перетворень виразу (3) отримаємо:

$$Y_{ек} = \frac{K_1 T_2 P + K_1}{T_1 T_2 P^2 + (T_1 + T_2 + K_1 K_2) P + 1}. \quad (4)$$

Введемо позначення:

$$T = \sqrt{T_1 T_2}, \quad (5)$$

$$2dT = (T_1 + T_2 + K_1 K_2). \quad (6)$$

Виразимо з (6) d :

$$d = \frac{(T_1 + T_2 + K_1 K_2)}{2\sqrt{T_1 T_2}}. \quad (7)$$

Постійна часу T , формула (5) характеризує інерційність динамічної моделі логістичної системи, розмірність година.

Величина d , формула (7), в теорії ідентифікації динамічних об'єктів отримала назву декременту загасання. Якщо $d < 0,7$, перехідний процес має коливальний характер. При $d \geq 0,7$, коливальність в перехідному процесі відсутня.

Враховуючи те, що у виразі (4) в чисельнику стоїть вхідний сигнал, а в знаменнику вихідний і з урахуванням виконаної заміни, можна записати рівняння динаміки перехідного процесу в логістичній системі:

$$T^2 P^2 + 2dTP + 1 = K_1 T_2 P + K_1. \quad (8)$$

Перепишемо рівняння в операторній формі (8) у вигляді диференціального рівняння, замінивши оператор диференціювання P на d/dt :

$$T^2 \frac{d^2 y_i}{dt^2} + 2dT \frac{dy_i}{dt} + y_i = K_1 T_2 \frac{dW_i}{dt} + K_1, \quad (9)$$

де y_i – параметр функціонування логістичної системи по якому буде виконуватися моделювання;

W_i – прогнозована продуктивність всіх складових логістичної системи, яка визначається з урахуванням ймовірності відмови.

Результати досліджень

Права частина диференціального рівняння (9) містить вхідний параметр, який впливає на динамічний процес у логістичній системі. З аналізу правої частини рівняння, випливає, що на динаміку процесу впливає:

- коефіцієнт K_1 , який характеризує ступінь впливу вхідного параметра на вихідний, чим більше величина K_1 , тим більше цей вплив;

- постійна часу T_2 , яка характеризує затримку в обробці заявок в логістичному центрі або затримки, пов'язані з завантаженням транспортних засобів, затримки під час перевезення, розвантаження тощо;

- перша похідна від вхідного параметра W_i .

Враховуючи те, що вхідний параметр W_i має розмірність т, то $\frac{dW_i}{dt}$ має розмірність т/год., а фізичний зміст – швидкість при виконанні заявок на обслуговування.

Ліва частина рівняння (9) – це реакція логістичної системи на величину вхідного параметра W_i з урахуванням K_1 та T_2 . Постійна часу T , формула (5), характеризує час виконання заявок. Чим більше величина T , тим більше час виконання заявок, тобто збільшення T робить процес менш сприйнятливим до виконання заявок. Декремент загасання d , формула (7), характеризує наявність або відсутність в логістичній системі коливального процесу.

Рішенням отриманого диференціального рівняння (9) є вираз:

$$y_i(t) = W_i \cdot \left[1 - e^{-\frac{d}{T}t} \cdot (\cos \omega t + A \sin \omega t) \right], \quad (10)$$

де t – поточний час, за яким виконується моделювання, год.;

ω – частота коливань вихідного параметра y_i з причини затримок проходження заявок у логістичній системі, 1/год:

$$\omega = \frac{\sqrt{1-d^2}}{T}, \quad (11)$$

A – величина відхилення вихідного параметра від середнього поточного значення під час коливального процесу:

$$A = \frac{d}{\sqrt{1-d^2}}. \quad (12)$$

Замінивши у виразі (10) y_i і W_i на значення обсягу переробленого вантажу всіх складових СМО, одержимо ряд виразів для моделювання логістичних ланцюгів.

Для моделювання обсягу перевезеного вантажу транспортним підприємством:

$$W_{ТЕК,ПІ} (t) = W_{ПІ} \left[1 - e^{-\frac{d}{T}t} \cdot (\cos \omega t + A \sin \omega t) \right], \quad (13)$$

де $W_{ПІ}$ – обсяг вантажу, перевезеного транспортним підприємством, т.

Для моделювання обсягу вантажу, переробленого складом:

$$W_{ТЕК,СКЛ} (t) = W_{СКЛ} \left[1 - e^{-\frac{d}{T}t} \cdot (\cos \omega t + A \sin \omega t) \right], \quad (14)$$

де $W_{СКЛ}$ – обсяг вантажу, переробленого на складі, т.

Для моделювання обсягу вантажу, переробленого логістичним центром:

$$W_{ТЕК,ЛЦ} (t) = W_{ЛЦ} \left[1 - e^{-\frac{d}{T}t} \cdot (\cos \omega t + A \sin \omega t) \right], \quad (15)$$

де $W_{ЛЦ}$ – обсягу вантажу, що перероблений логістичним центром, т.

Для моделювання обсягу вантажу, виробленого підприємством:

$$W_{ТЕК,П} (t) = W_{П} \left[1 - e^{-\frac{d}{T}t} \cdot (\cos \omega t + A \sin \omega t) \right], \quad (16)$$

де $W_{П}$ – обсяг вантажу, що вироблено сільськогосподарським підприємством, т.

Для моделювання обсягу вантажу, переробленого заводом:

$$W_{ТЕК,З} (t) = W_3 \left[1 - e^{-\frac{d}{T}t} \cdot (\cos \omega t + A \sin \omega t) \right], \quad (17)$$

де W_3 - обсягу вантажу, що перероблено на заводі, т.

Отримані вирази (13) – (17) є результатом структурної ідентифікації динамічної моделі вантажоперевезень під час збирання цукрових буряків і дозволяють виконати моделювання всіх складових системи у часі. Визначення параметрів T і d дозволить провести параметричну ідентифікацію моделі [11-14].

В процесі параметричної ідентифікації необхідно отримати вирази для визначення коефіцієнтів підсилення K_1 і K_2 , а також постійних часу T_1 і T_2 , за допомогою яких можна розрахувати T , формула (5) і d , формула (7).

З урахуванням ймовірностей відмови складових логістичної системи і згідно виразу (1), що характеризує ступінь впливу вхідного потоку W_i , тобто обсягу переробленого вантажу всіх складових СМО, які представлені на рис. 1, на вихідний сигнал – зміни у часі зазначених обсягів вантажу та вихід їх на сталий, розрахунковий режим, отримаємо залежності для розрахунку коефіцієнту підсилення K_1 для всіх учасників транспортно-логістичного комплексу.

Коефіцієнт підсилення для підприємства по виробництву цукрових буряків:

$$K_{1,П} = \frac{W_{П}}{W_3}. \quad (18)$$

Коефіцієнт підсилення для складу:

$$K_{1,СКЛ} = \frac{W_{СКЛ}}{W_3}. \quad (19)$$

Коефіцієнт підсилення для логістичного центру:

$$K_{1,ЛЦ} = \frac{W_{ЛЦ}}{W_3}. \quad (20)$$

Коефіцієнт підсилення для транспортного підприємства:

$$K_{1,ТП} = \frac{W_{ТП}}{W_3}. \quad (21)$$

Як випливає з представлених формул (18) – (21), визначення коефіцієнтів підсилення K_I буде проводитися як відношення до продуктивності заводу з переробки цукрових буряків. Отже коефіцієнт підсилення для заводу:

$$K_{1,З} = \frac{W_3}{W_3} = 1. \quad (22)$$

Фізичний зміст коефіцієнта K_I – це «запас стійкості», або запас по продуктивності складових логістичної системи, який забезпечить її надійну роботу.

Постійна часу T_I характеризує інерційність складових логістичної системи у виконанні заявок на завантаження, перевезення, доставку вантажу в процесі збирання цукрових буряків.

Постійна часу підприємства по виробництву цукрових буряків можна визначити за виразом:

$$T_{1,П} = \frac{0,1 \cdot B \cdot V_K \cdot Q \cdot K_{ЗМ} \cdot N_K \cdot t_{ЗМ,П}^2}{1,26 \cdot W_3}, \text{ год.}, \quad (23)$$

де B – ширина захвату бурякозбирального комбайна, м;

V_K – робоча швидкість руху комбайна, км/год;

Q – урожайність цукрових буряків, т/га;

$K_{ЗМ}$ – коефіцієнт використання часу робочої зміни;

N_K – кількість бурякозбиральних комбайнів, що одночасно беруть участь у процесі збирання, од.;

$t_{ЗМ,П}$ – тривалість робочої зміни на підприємстві, год.

Постійну часу складу, де відбувається перевалка цукрових буряків від комбайнів на вантажні автомобілі, можна визначити за виразом:

$$T_{1,СКЛ} = \frac{G_{СКЛ,i} \cdot N_{НАВАН} \cdot t_{ЗМ,СКЛ}^2}{1,35 \cdot W_3}, \text{ год.}, \quad (24)$$

де $G_{СКЛ,i}$ – продуктивність навантажувача, т/год.;

$N_{НАВАН}$ – кількість навантажувачів, що одночасно працюють на складі, од.;

$t_{ЗМ,СКЛ}$ – тривалість робочої зміни на складі, год.

Постійну часу логістичного центру, де відбувається збір і аналіз інформації, а також передача інформації у вигляді прийнятих рішень можна визначити за виразом:

$$T_{1,ЛЦ} = \frac{G_{ЛЦ,i} \cdot N_{ЛЦ} \cdot t_{ЗМ,ЛЦ}^2}{1,35 \cdot W_3}, \text{ год.}, \quad (25)$$

де $G_{ЛЦ,i}$ – продуктивність каналу обслуговування інформації, т/год.;

$N_{ЛЦ}$ – кількість каналів інформації, од.;

$t_{ЗМ,ЛЦ}$ – тривалість робочої зміни в логістичному центрі, год.

Постійну часу транспортного підприємства можна визначити за виразом:

$$T_{1,ТП} = \frac{q_H \cdot \gamma \cdot \beta \cdot V_{ТЗ} \cdot N_{ТЗ} \cdot t_{ЗМ,ТП}^2}{1,09 \cdot W_3 \cdot (l_B + V_{ТЗ} \cdot \beta \cdot t_{H-P})}, \text{ год.}, \quad (26)$$

де q_H – номінальна вантажопідйомність транспортного засобу, т;

γ – коефіцієнт використання вантажопідйомності транспортного засобу;

β – коефіцієнт використання пробігу;

$V_{ТЗ}$ – технічна швидкість транспортного засобу, км/год;

$N_{ТЗ}$ – кількість транспортних засобів, що одночасно беруть участь у перевезенні вантажу, од.;

$t_{ЗМ,ТП}$ – тривалість робочої зміни транспортного підприємства, год.;

l_B – відстань перевезення вантажу, км;

t_{H-P} – час навантаження на складі та розвантаження на заводі транспортного засобу, год.

Постійну часу заводу з переробки цукрових буряків можна визначити за виразом:

$$T_{1,З} = \frac{G_{3,i} \cdot N_3 \cdot t_{ЗМ,З}^2}{5,39 \cdot W_3}, \text{ год.}, \quad (27)$$

де $G_{3,i}$ – продуктивність пункту прийому заводу, т/год.;

N_3 – кількість пунктів прийому на заводі, од.;

$t_{ЗМ,З}$ – тривалість робочої зміни на заводі, год.

Коефіцієнт посилення K_2 , який згідно виразу (2) визначає ступінь впливу обсягу переробленого вантажу всіх складових логістичної системи W_i на різного роду затримки в проходженні заявок, обробці і передачі інформації, а також затримки в навантаженні, розвантаженні, транспортуванні вантажів, визначимо у вигляді наступних виразів.

Коефіцієнт підсилення для підприємства по виробництву вантажу:

$$K_{2,П} = \frac{W_3}{2W_{П}}. \quad (28)$$

Коефіцієнт підсилення складу:

$$K_{2,СКЛ} = \frac{W_3}{4W_{СКЛ}}. \quad (29)$$

Коефіцієнт підсилення для логістичного центру:

$$K_{2,ЛЦ} = \frac{3W_3}{4W_{ЛЦ}}. \quad (30)$$

Коефіцієнт підсилення для транспортного підприємства:

$$K_{2,ТП} = \frac{W_3}{W_{ТП}}. \quad (31)$$

Коефіцієнт підсилення для заводу з переробки цукрових буряків:

$$K_{2,З} = \frac{W_3}{W_3} = 1. \quad (32)$$

Як випливає з поданих виразів (28) – (32), чим більше продуктивність заводу W_3 , тим більше ступінь впливу різного роду затримок у виконанні заявок у всіх ланках логістичної системи. Фізичний зміст коефіцієнта K_2 – це «чутливість» логістичної системи до надходження заявок на обслуговування.

Постійна величина T_2 , характеризує час, який необхідний для виконання одного робочого циклу всіх складових логістичної системи з урахуванням імовірності відмови зазначених вище складових.

Виходячи з викладеного вище, постійні часу T_2 , які характеризують затримки в складових логістичної системи, можна представити наступними виразами.

Постійна часу затримки для підприємства по виробництву вантажу визначається за формулою:

$$T_{2,П} = \frac{t_{3М,П}}{1,49 \cdot N_K \cdot (1 - \rho_{відм,П})}, \text{ год.}, \quad (33)$$

де $\rho_{відм,П}$ – імовірність відмови підприємством в постачанні вантажу на склад, розрахунок наведено в [8].

Постійна часу затримки для складу визначається за формулою:

$$T_{2,СКЛ} = \frac{t_{3М,СКЛ}}{3,48 \cdot N_{НАВАН} \cdot (1 - \rho_{відм,СКЛ})}, \text{ год.}, \quad (34)$$

де $\rho_{відм,СКЛ}$ – імовірність відмови в обслуговуванні складом.

Постійна часу затримки логістичного центру визначається за формулою:

$$T_{2,ЛЦ} = \frac{t_{3М,ЛЦ}}{4,3 \cdot N_{ЛЦ} \cdot (1 - \rho_{відм,ЛЦ})}, \text{ год.}, \quad (35)$$

де $\rho_{відм,ЛЦ}$ – імовірність відмови в обслуговуванні логістичним центром.

Постійна часу затримки транспортного підприємства визначається за формулою:

$$T_{2,ТП} = \frac{t_{3М,ТП}}{0,17 \cdot N_{авт} \cdot (1 - \rho_{відм,ТЗ})}, \text{ год.}, \quad (36)$$

де $\rho_{відм,ТЗ}$ – імовірність відмови в транспортному обслуговуванні.

Постійна часу затримки заводу з переробки вантажу (цукрових буряків) визначається за формулою:

$$T_{2,3} = \frac{t_{3M,3}}{2,15 \cdot N_3 \cdot (1 - \rho_{відм,3})}, \text{ год.}, \quad (37)$$

де $\rho_{відм,3}$ – імовірність відмови заводу в прийманні вантажу.

Отримані вирази для визначення коефіцієнтів посилення K_i і постійних часу T_i є рішенням задачі параметричної ідентифікації динамічної моделі логістичної системи вантажних перевезень під час збирання цукрових буряків.

Висновки

1. Виконана структурна ідентифікація динамічної моделі логістичної системи вантажних перевезень. Отримано диференціальне рівняння і його розв'язання для всіх складових логістичної системи, з точністю до коефіцієнтів. Аналіз диференціального рівняння дозволив встановити, що на процеси в системі, в першу чергу, впливає швидкість надходження заявок на обслуговування, а сам процес виконання заявок залежить від інерційності системи, яка оцінюється постійними часу. Встановлено, що відсутність або наявність коливання величини обсягу переробленого вантажу в системі залежить від величини декремента затухання, який є функцією коефіцієнтів підсилення і постійних часу.

2. Виконана параметрична ідентифікація динамічної моделі логістичної системи вантажних перевезень. Отримано вирази для визначення коефіцієнтів підсилення і постійних часу, які входять у диференціальні рівняння та характеризують динаміку перехідного процесу. Визначений фізичний зміст коефіцієнтів підсилення K_1 і K_2 – це «запас стійкості» логістичної системи до швидкості надходження заявок на обслуговування. Фізичний зміст постійних часу T_1 і T_2 – це інерційність системи у виконанні заявок, яка враховує різного роду затримки у виконанні заявок.

Література

1. Придюк В.М. Особливості організації перевезень сільськогосподарських вантажів автомобільним транспортом / В.М. Придюк // Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст. – Вип. 28. – Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2014. – С. 68-72.
2. Ачкасова Л.М. Оцінка ефективності процесу перевезення вантажів / Л.М. Ачкасова // Економіка транспортного комплексу: Збірник наукових праць. – 2014. – Вип. 24. – С. 117-124.
3. Лоу А.М., Кельтон В.Д. Имитационное моделирование. Классика CS. 3-е изд. – СПб: Питер: Киев: Издательская группа ВHV, 2004 – 323 с.
4. Толуев Ю.И., Некрасов А.Г., Морозов С.И. Анализ и моделирование материальных потоков в сетях поставок // Интегрированная логистика – 2005, №5, С. 7-14.
5. Толуев Ю.И. Применение имитационного моделирования для исследования логистических процессов // Имитационное моделирование. Теория и практика: Сб. Второй всероссийской научно-практической конференции – СПб.: ФГУП ЦНИИ ТС, 2005, С. 71-76.
6. Banks, J., J.S. Carson, II, B.L. Nelson, D.M. Nicol. Discrete-Event System Simulation, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, 2000.
7. Banks, J. Getting Started with AutoMod. Second Edition, Brooks Automation, 2004, 602 с. (<http://www.automod.com>).

8. Бережна Н.Г. Математична модель імовірнісного моделювання процесів транспортного обслуговування збирання цукрового буряку // Наук. журнал Харк. нац. техніч. ун-ту сільського господарства ім. Петра Василенка «Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів». – Вип. 16. – Х.: ХНТУСГ ім. Петра Василенка, 2016. – С. 34–44.
9. Попов А.В, Обрезанова Е.Р., Синебрюхова Е.Ю. Вероятностное моделирование логистической системы грузоперевозок // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи, 2012, №1 (53), С. 144 – 151.
10. Бубела А.В. Моделювання процесів логістичного сервісу в проектах перевезень вантажів [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.nbuu.gov.ua/old_jrn/natural/Upsal/2009_6/09bavptl.pdf.
11. Эйкофор П. Основы идентификации систем управления. Оценивание параметров и состояния. – М.: Мир, 1975. – 684 с.
12. Методы классической и современной теории автоматического управления. Т.1 / Под ред. Пупкова К.А., Егупова Н.Д. – М.: МГТУ им. Баумана, 2004. – 493 с.
13. Теория автоматического управления. / Под ред. В.Б. Яковлева. – М.: Высшая школа, 2003. – 567 с.
14. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. СПб: Профессия., 2004. – 751 с.
15. Вентцель Е.С. Исследование операций / Е.С. Вентцель. – М.: «Советское радио», 1972. – 552 с.
16. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ: В 2-х кн. Пер. с англ. – М.: Финансы и статистика, 1987. – 351 с.

Summary

Berezhnaya N.G. Modeling of dynamic processes in logistics systems transportation of freights

Performed structural identification of dynamic models of the logistic freight transport system. The differential equation and its solutions for all components of the supply system, with a precision of coefficients. Analysis of the differential equations has allowed to establish that the processes in the system, primarily affected by the rate of arrival of service requests, and the execution process of applications depends on the inertia of the system measured time constants. It is established, that the absence or presence of fluctuations in the value of the volume of cargo processed in the system depends on the damping rate that is a function of gain and time constants.

Performed parametric identification of a dynamic model of logistics system of cargo transportation. The received expression for determination of the coefficients of gain and time constants, included in the differential equation and characterize the dynamics of the transition process. We determine the physical meaning of gain is the "stability margin" of the logistic system to the arrival rate of service requests. The physical meaning of the constant of time is the inertia of the system in fulfilling applications that takes into account different kind of delay in their implementation

Keywords: a mathematical model, dynamic model, logistic system, Queuing system, delay, gain, time constants, transportation of freights.

References.

1. Prydyuk V.M. Osoblyvosti orhanizatsiyi perevezen' sil's'kohospodars'kykh vantazhiv avtomobil'nym transportom / V.M. Prydyuk // Sil's'kohospodars'ki mashyny: Zb. nauk. st. – Vyp. 28. – Luts'k: RVV Luts'koho NTU, 2014. – S. 68-72.
2. Achkasova L.M. Otsinka efektyvnosti protsesu perevezennya vantazhiv / L.M. Achkasova // Ekonomika transportnoho kompleksu: Zbirnyk naukovykh prats'. – 2014. – Vyp. 24. – S. 117-124.
3. Lou A.M., Kel'ton V.D. Ymytatsyonnoe modelyrovanye. Klassyka CS. 3-e yzd. – SPb: Pyter: Kyev: Yzdatel'skaya hruppa VNV, 2004 – 323 s.
4. Toluev Yu.Y., Nekrasov A.H., Morozov S.Y. Analyz y modelyrovanye materyal'nykh potokov v setyakh postavok // Yntehryrovannaya lohystyka – 2005, #5, S. 7-14.
5. Toluev Yu.Y. Prymenenye ymytatsyonnoho modelyrovanyya dlya yssledovanyya lohystycheskykh protsessov // Ymytatsyonnoe modelyrovanye. Teoryya y praktyka: Sb. Vtoroy vserossyyskoy nauchno-praktycheskoy konferentsyy – SPb.: FHUP TsNYU T·S, 2005, S. 71-76.
6. Banks, J., J.S. Carson, II, B.L. Nelson, D.M. Nicol. Discrete-Event System Simulation, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, 2000.
7. Banks, J. Getting Started with AutoMod. Second Edition, Brooks Automation, 2004, 602 c. (<http://www.automod.com>).
8. Berezha N.H. Matematychna model' imovirnisnoho modelyuvannya protsesiv transportnoho obsluhovuvannya zbyrannya tsukrovoho buryaku // Nauk. zhurnal Khark. nats. tekhnich. un-tu sil's'koho hospodarstva im. Petra Vasylenka «Tekhnichnyy servis ahropromyslovoho, lisovoho ta transportnoho kompleksiv». – Vyp. 16. – Kh.: KhNTUS·H im. Petra Vasylenka, 2016. – S. 34–44.
9. Popov A.V, Obrezanova E.R., Synebryukhova E.Yu. Veroyatnostnoe modelyrovanye lohystycheskoy systemy hruzoperevozok // Radioelektronni i komp'yuterni systemy, 2012, #1 (53), S. 144 – 151.
10. Bubela A.V. Modelyuvannya protsesiv lohystychnoho servisu v proektakh perevezen' vantazhiv [Elektronnyy resurs]. Rezhym dostupu: http://www.nbu.gov.ua/old_jrn/natural/Up-sal/2009_6/09bavptl.pdf.
11. Эйкофор Р. Основы ydentyfikatsyy system upravlenyya. Otsenyvanye parametrov y sostoyanyya. – М.: Myr, 1975. – 684 s.
12. Методы klassycheskoy y sovremennoy teoryy avtomatycheskoho upravlenyya. T.1 / Pod red. Pupkova K.A., Ehupova N.D. – М.: MHTU ym. Baumana, 2004. – 493 s.
13. Teoryya avtomatycheskoho upravlenyya. / Pod red. V.B. Yakovleva. – М.: Vysshaya shkola, 2003. – 567 s.
14. Besekersky V.A., Popov E.P. Teoryya system avtomatycheskoho upravlenyya. SPb: Professyya., 2004. – 751 s.
15. Venttsel' E.S. Yssledovanye operatsyy / E.S. Venttsel'. – М.: «Sovet'skoe radyo», 1972. – 552 s.
16. Dreyper N., Smyt H. Prykladnoy rehressyonnyy analiz: V 2-kh kn. Per. s anhl. – М.: Fynansy y statystyka, 1987. – 351 s.