

М.С. Оліскевич, к.т.н., доц.
Національний університет «Львівська політехніка»

МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ ЗА УМОВ ЗМІННИХ МАТЕРІАЛЬНИХ ПОТОКІВ

Розглядаються транспортні схеми постачання вантажів від виробника до споживача. Вони складаються з лінійних або таких логістичних ланцюгів, що перетинаються. Показано, що навіть, коли такт вхідного потоку логістичної схеми є сталим, виникають статичні затримки матеріального руху. Надано залежність цих затримок від такту. Встановлено, що статичні затримки досягають мінімуму при оптимальному режимі роботи схеми поставок. Розглядається проблема оцінки ймовірних динамічних затримок матеріальних потоків в прямоочних транспортно-технологічних схемах, або таких, що мають розгалуження логістичних ланцюгів. Затримки матеріального потоку в цьому випадку пов'язані зі змінами параметрів вхідних потоків. Параметри матеріальних потоків записані у вигляді дискретних залежностей. Використана методика кінцевих різницевих рівнянь для оцінки стабільності транспортно-технологічної схеми при зовнішніх збуреннях. Порядок рівняння залежить від структури логістичних ланцюгів. Рівняння можна звести до однорідного виду, що дає змогу знайти їх розв'язок. Відповідно до коренів характеристичного рівняння можна зробити висновок про стійкість транспортно-технологічної схеми до зовнішніх збурень. Наводиться приклад лінійної нестійкою схеми. На цьому прикладі видно, що підбір параметрів логістичних операцій є недостатньою умовою стійкості. Схеми постачання повинні мати вхідні регулятори потоку.

Ключові слова: транспортна схема; логістичний ланцюг; часові затримки; змінні матеріальні потоки.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Важливість інформаційного забезпечення транспортно-технологічних процесів зростає, особливо при функціонуванні ланцюгів постачання вантажів саме як змінних матеріальних потоків. Саме тоді наявні повідомлення використовуються для зменшення непридатності систем постачання до нових умов, тобто для стабілізації бізнес-процесів. Для того, щоб усі логістичні ланцюги, що взаємодіють, функціонували ефективніше, потрібно знати закони їх зміни у зовнішньому середовищі. Крім того, необхідно враховувати дискретний характер процесу здійснення логістичних операцій. Він складається з структурних і параметричних модулів. Дослідження присвячені перехідним процесам, які відбуваються при зміні попиту на товари, що поставляються у встановленій системі матеріально-технічного забезпечення, умов постачання та інших випадкових зовнішніх впливах.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Новий підхід до концепції управління логістичним ланцюгом поставок був розглянутий в низці робіт, згідно з якими у сучасній логістиці відбувається перехід до принципів тісної організаційної взаємодії виробництва й управління транспортом на основі аналізу та виявлення дисбалансів і втрат, що призводять до збільшення транспортних витрат в обслуговування основного виробництва [1–6]. Проте через складність цієї взаємодії дослідники не можуть обрати правильну ефективну методологію, розкрити внутрішні закони дискретних матеріальних потоків, які є процесами доставки продукції. Проблеми виникають при розгляді динаміки логістичних ланцюгів, де є асинхронність операцій [7].

Серед методів дослідження ланцюгів збуту досить популярними донедавна були дискретні мережі Петрі та інші подібні до них, які створюють іноді відповідні умови для опису властивостей реальних виробничих систем як асинхронних процесів [3, с. 34]. Ці мережі також описують основні процедури дискретних процесів за допомогою графів, включаючи розгалуження (умовне розгалуження, вибір), ітерації (повторення), одночасне (паралельне) виконання конкретних операцій. Однак вони не мають достатніх властивостей, що необхідні для належного відображення функціонування реальних складних систем, особливо у вузлових ділянках. Прості мережі Петрі – недетерміновані: множинні переходи можуть бути дозволені, і кожен з них може бути реалізований. Така мережа не визначає однозначний порядок

проведення операцій. Ось чому прості мережі Петрі не можуть повністю й автоматично відображати реальну роботу системи. Головний недолік цих мереж: вони не відображають часові коливання матеріальних потоків, так само як і виникнення інформаційних, що з ними пов'язані.

Деякі автори пропонують схему відображення якісного співвідношення між технологічними операціями постачання товарів в декартовій системі координат [2]. Зазначена схема є результатом формалізації процесу для встановлення зв'язків між різними параметрами реалізації кожного компонента операцій доставки. Формалізація відносин між компонентами ланцюга поставок дає змогу встановити залежність витрат, пов'язаних з потоками матеріалів для деякої схеми товароруху. Отримані залежності можуть стати початком розроблення відповідних економічних і математичних моделей. Але вони, як і інші відомі до цього часу, мають статичний зміст і не враховують мінливість вантажопотоків.

У більшості досліджень було встановлено, що незалежні змінні транспортних процесів – дискретні [2, 3, 6, 9]. Раніше було також показано, як зразок, що будь-яка транспортно-технологічна схема (ТТС) може відображатися у вигляді комбінації кінцевої множини елементарних логістичних операцій (ЕЛО), які пов'язані з організаційним параметром, – тактом, а також з іншими параметрами: розміром гурту матеріальних елементів, які переміщуються разом, фронтом транспортних та допоміжних засобів тощо [8]. Функціональні ланки цих моделей відображають потоковий характер ТТС, детерміновані відносини будь-яких двох ЕЛО в логістичному ланцюзі, їх взаємодію, і дає змогу дослідникам визначити фактичну пропускну здатність системи щодо доставки товарів від виробника до споживача в цілому. Проте ця можливість активна, коли попит на споживання є сталим. Якщо він змінний, то структура і параметри ланцюга постачання (ЛП) повинні бути також змінені [7]. Тому в даному випадку ТТС слід розглядати як динамічну систему, що розвивається [1, 6].

Для оптимізації дискретних систем використовують математичне програмування, включаючи програмування в умовах невизначеності або неповної визначеності [11]. Основним недоліком цих методів є те, що вони не враховують змінну структуру логістичних ланцюгів.

Для вивчення динаміки і стійкості дискретних економічних систем дуже часто використовують різницеві рівняння різних порядків [12]. Вони точно відображають реакцію зовнішніх впливів. Однак ці рівняння використовують лише одну змінну (час), який набуває дискретного значення. Але модель ЛП складається з декількох інтерактивних ланцюгів ЕЛО, тому має декілька змінних. Крім того, розв'язки різницевих рівнянь не завжди дають можливість визначити шляхи оптимізації структури ТТС, а також вказати шляхи підвищення ефективності його функціонування та розвитку стратегій. Для цього потрібні нові методи оптимізації.

Деякі джерела називають основні тенденції в еволюції управління ЛП [10]. Перетворення лінійних ланцюгів в розгалужені мережі є однією з них, що характеризується наявністю більш високого ступеня надійності. Досить близько до мети цього дослідження є метод побудови часових моделей процесу доставки або перевезення вантажів [3, 5]. Проте його основна мета полягає в оцінці економічної ефективності для даної часової відміни ТТС. Цей метод не дозволяє досліджувати динаміку процесу.

Мета досліджень. Розвиток ТТС є його адаптацією до умов виробництва і споживання продукції, які утворюють дискретні матеріальні потоки. Здійснення змін поставки продукції в цих схемах можуть відбуватися у фіксовані моменти часу. Логістичні ланцюги таких схем є, в основному, пов'язаними між собою. Різниця в тривалості операцій та їх випадковий характер є причиною виникнення неефективних станів ТТС. Таким чином, існують, очевидно, послідовності, де загальна кількість таких несприятливих умов буде мінімальною. Впорядкування ЕЛО за випадкового характеру їх перебігу є **метою досліджень**. У попередніх роботах нами було розроблено методіку такого впорядкування при сталій структурі ТТС [7, 8]. Її застосування дало змогу знайти граничні стани транспортної й складської систем, за яких задіяні в ній транспортні засоби використовуються максимально ефективно. При цьому більшість операцій граничного стану виконуються «саме вчасно», тобто без затримок. Час завершення будь-якої операції ланцюга диктує інша, що з нею пов'язана. Тому їх узгодження (впорядкування) було компромісом, який передбачає виконання операцій у заздалегідь неоптимальному режимі. При застосуванні критерію «саме вчасно» досягнуто мінімуму необхідних резервів: 1) енергетичних ресурсів; 2) об'єктів перевезення (вантажів,

транспортних пакетів, контейнерів); 3) провізних спроможностей парків автомобілів; 4) часу для виконання доставки виробів та сировини. Даний підхід до моделювання дискретних матеріальних потоків має, щонайменше, три переваги, порівняно з неперервним. По-перше, він здатен відображати будь-яку ТТС у вигляді графічної моделі. По-друге, встановити детерміновані відносини між будь-якими елементами досліджуваної схеми. По-третє, він надає можливість отримати рішення транспортних завдань, таких як оптимізація вантажопотоків і автомобілепотоків разом з вибором кількості й вантажності транспортних засобів, упаковки, що раніше виконувалися як окремі завдання. Є можливість отримати залежність параметрів вхідних потоків від вихідних. Але, з іншого боку, ця модель представляє стаціонарні ТТС, які відбуваються в межах єдиного такту. Насправді реальні системи доставки вантажів є стохастичними. В основному це зумовлено тими матеріальними потоками, параметри яких мають випадковий характер.

Викладення основного матеріалу. Для отримання необхідної характеристики ТТС, яка зазнає випадкових зовнішніх впливів був використаний той самий принцип неперервності потоку. Так якщо початкові ЕЛО схеми характеризуються значеннями вхідних тактів $\tau_{ex,i}$, то усі наступні є функціонально залежними від них. Відповідні залежності зберігаються і в стаціонарних матеріальних потоках [7]. Тривалість j -ої елементарної операції повинна бути $t_j \leq \tau_i$, де i – номер попередньої ЕЛО. Якщо це співвідношення не зберігається, то значення фронту j -ої ЕЛО має збільшитися за виразом:

$$f_i = \text{int} \left[\frac{t_i}{\tau_i} \right], \quad (1)$$

де int – округлення до більшого цілого значення; f_i – фронт технічних засобів для виконання ЕЛО.

Якщо дві сусідні ЕЛО мають неузгоджені режими, то у виконанні принаймні одної з них виникатиме затримка. Статична затримка кожної операції може бути обчислена за формулою:

$$Z_i = (f_i \cdot \tau_i - t_i) \cdot f_i. \quad (2)$$

Простий лінійний ланцюг ЕЛО, що, наприклад, складається з елементарних операцій: 1 – виготовлення; 2 – пакування; 3 – навантаження і транспортування; 4 – розвантаження і розпакування; 5 – споживання (рис. 1), матиме статичні затримки, якщо режими його операцій будуть неузгодженими (не кратними такту). Кожна ЕЛО у цьому ланцюзі характеризується чотирма параметрами τ_i, k_i, f_i, t_i .

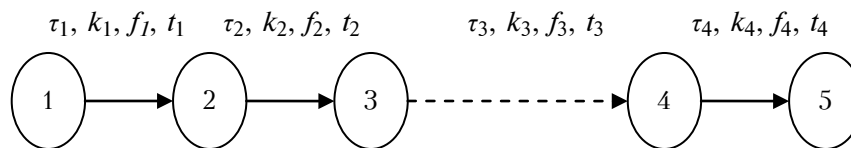


Рис. 1. Схема елементарної моделі логістичного ланцюга

Оскільки параметри сусідніх операцій є залежними, то можна записати такі вирази:

$$\tau_4 = \frac{k_4}{k_3} \tau_3, \quad \tau_2 = \tau_3; \quad \tau_2 = \frac{k_2}{k_1} \tau_1; \quad f_3 = \left[\frac{t_3}{\tau_3} \right] \geq 1; \quad f_1 = f_2 = f_4 = 1. \quad (3)$$

Завдяки їм ми можемо отримати: $\tau_4 = \frac{k_4}{k_1} \tau_1$.

Таким чином, лінійний ланцюг призводить до лінійної залежності його параметрів. Значення критерію може бути розраховане за формулою:

$$Z_{\Sigma} = \sum_{i=1}^4 (f_i \tau_i - t_i). \quad (4)$$

Сумарні затримки процесу доставки вантажів є статичними, тобто вони повторюватимуться від циклу до циклу, якщо не змінюватиметься розмір та режими матеріального потоку. Як показує (4), ці затримки залежать від початкового такту і від величин $k_1 \dots k_4$ (рис. 2).

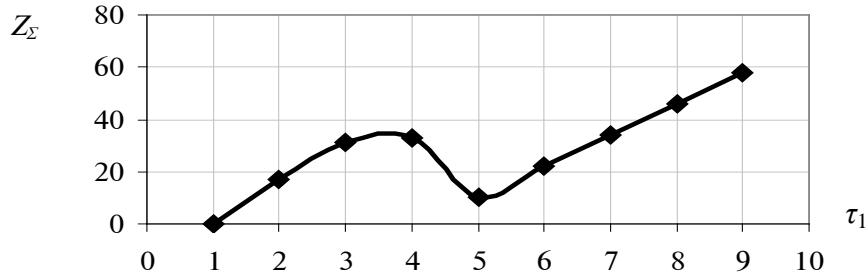


Рис. 2. Залежність статичних затримок доставки від такту вхідного

Досконалість побудованого логістичного ланцюга залежить від раціонального підбору параметрів у (3).

При зміні попиту на постачання продукції вхідний такт цього ланцюга змінюватиметься:

$$\tau_1^{j+1} = \tau_1^j \pm \Delta\tau_1, \quad (4.1)$$

де j – індекс наступної стадії процесу.

Знак при величині $\Delta\tau_1$ залежить від виду зміни матеріального потоку. Якщо обсяг споживання зростає, то вхідний такт логістичного ланцюга зменшується, і навпаки. Залежно від величини $\Delta\tau_1$ в ланцюзі поставок можуть відбуватись певні зміни, які призводять до утворення динамічних затримок процесу. Ці затримки є також причиною неузгодженості сусідніх ЕЛО, однак вони мають здатність зникати, коли матеріальний потік в ланцюзі стабілізується. Це можна продемонструвати з допомогою циклограми операцій (рис. 3)

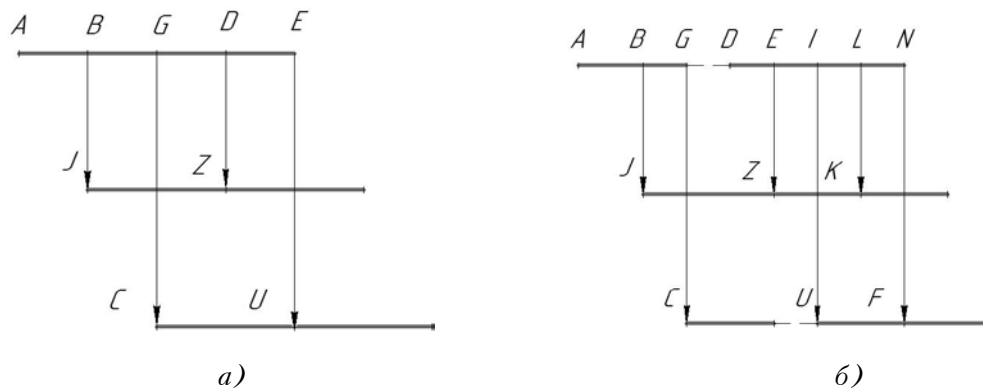


Рис. 3. Циклограми операцій № 1, № 2 доставки вантажу: а) при стаціонарному потоці; б) при збільшенні інтенсивності матеріального потоку

Рисунок 3, а показує стаціонарний потік у двох сусідніх ЕЛО № 1 і № 2. Відрізки $ABGDE$ – це послідовність вхідних ЕЛО № 1 зі сталим тактом $\tau_1 = 15$ хв. Під час ЕЛО № 2 розмір гурту матеріальних елементів подвоюється, тобто $k_2 = 2k_1$.

Отже такт наступної ЕЛО № 2 також подвоюється і дорівнює $\tau_2 = 30$ хв. Таку зміну показано за допомогою двох ланцюгів операцій: JZ і CU , відповідно до кратності змін потоку, які відбулися в ЕЛО № 2. Затримки в такому ланцюгу поставок є статичними. Вони виникають через те, що тривалість ЕЛО є меншою, ніж тривалість такту, впродовж якого вона виконується.

На рисунку 3, б показано, що інтенсивність матеріального потоку збільшується. Такт вхідної операції ЕЛО № 1 спочатку дорівнював $\tau_1 = 15$ хв. Потім він зменшився до $\tau_1 = 10$ хв., що видно по довжині відрізка BG . Схема логістичного ланцюга залишається незмінною. Тому такт ЕЛО № 2 також зростає вдвічі. Він набуває значення $\tau_2 = 20$ хв., що видно по довжині

відрізка CU . Проте операції, що мають різний такт, опиняються в одному ланцюзі після змін. Це призводить до вимушених динамічних затримок процесу, які на рисунку 3, б показано штриховими лініями GD і UF . Зрозуміло, що величина цих затримок залежить від зміни вхідного такту. Виконання ЕЛО № 1, наприклад, затримується на величину ΔZ , яку можна записати таким чином:

$$\Delta Z_1 = Z(\tau_1^{j+1}) - Z(\tau_1^j), \quad (5)$$

На значення різниці (5) впливає не лише абсолютна зміна такту $\Delta\tau_1$, а й кількість дискретних періодів, упродовж яких ця зміна відбувається. Завдання полягало в тому, щоб визначити таку послідовність величин $\Delta\tau_1^1, \Delta\tau_1^2, \dots, \Delta\tau_1^j, \Delta\tau_1^{j+1}, \dots, \Delta\tau_1^{j+n}$, за яких значення критерію Z_x є мінімальним. Для розв'язання такої задачі було використано методику кінцевих різницевих рівнянь [12, с. 123]. Так сумарна затримка процесу при зміні вхідного такту $\Delta\tau_1$ за два кроки може бути записана як різницеве рівняння другого порядку:

$$\Delta^2 Z = Z(\tau_1^{j+2}) - 2Z(\tau_1^{j+1}) + Z(\tau_1^j), \quad (6)$$

яке можна записати у вигляді:

$$Z(\tau_1) = \tau_1 \frac{k_4}{k_2} f_1 + 2 \frac{k_2}{k_1} f_2 \cdot \tau_1 + \tau_1 f_1 - T, \quad (7)$$

де T – сумарна тривалість операцій в логістичному ланцюгу, яка не залежить від їх послідовності виконання та від інших організаційних параметрів.

Ввівши умовні позначення, (7) можна спростити:

$$Z(\tau_1) = A \cdot \tau_1 - T, \quad (8)$$

де A – константа.

Аналогічно можна записати різницеві рівняння вищих порядків. У випадку, коли ЛП є розгалуженим, тобто має ЕЛО розподілу або з'єднання матеріальних потоків, потрібно також знайти функцію вихідного такту найдовшого лінійного ланцюга і різницеві рівняння записати саме для неї [12].

Спростимо позначення $Z_x(\tau_1^j) = z_j$, маючи на увазі, що стан затримок логістичного ланцюга залежить від обраних констант A і від такту вхідного потоку τ_1 . Різницеве рівняння другого порядку можна звести до вигляду:

$$a_1 z_{j-1} + a_2 z_{j-2} + a_0(j) = z_j, \quad j = 0, 1, \dots, n. \quad (9)$$

Його називають лінійним різницевим неоднорідним рівнянням [12]. Розв'язок однорідного рівняння:

$$a_1 D_{j-1} + a_2 D_{j-2} = D_j, \quad (10)$$

можна знайти у вигляді $z_j = \lambda^j$. Підставляючи z_j , $z_{j-1} = \lambda^{j-1}$, $z_{j-2} = \lambda^{j-2}$, у (10), отримуємо характеристичне рівняння для визначення λ :

$$P(\lambda) = \lambda^2 - a_1 \lambda - a_2 = 0, \quad (11)$$

Його корені λ_1 , λ_2 обчислимо за формулою:

$$\lambda_{1,2} = \frac{a_1 \pm \sqrt{D}}{2}, \quad (12)$$

де $D = a_1^2 + 4a_2$.

У теорії різницевих рівнянь доводиться, що, залежно від знаку дискримінанти D , можливі наступні три випадки.

1) $D > 0$. Тоді λ_1 , λ_2 – дійсні і різні, і загальний розв'язок (8) знаходиться за формулою $\tau_j = A_1 \lambda_1^j + A_2 \lambda_2^j$, де A_1 , A_2 – довільні сталі, які визначають з початкових умов: $\tau_{j=0} = A_1 + A_2$, $\tau_{j=1} = A_1 \lambda_1 + A_2 \lambda_2$.

2) $D = 0$. Тоді характеристичне рівняння має кілька коренів $\lambda_1 = \lambda_2$ і загальний розв'язок (8) визначається за формулою: $\tau_j = (A_1 + A_2 \cdot j) \cdot \lambda_1^j$, а довільні сталі визначають з початкових умов $\tau_{j=0} = A_1$, $\tau_{j=1} = \lambda(A_1 + A_2)$.

3) $D < 0$. Тоді λ_1, λ_2 – комплексні змінні $\lambda_{1,2} = \alpha \pm i\beta$, де $\alpha = \frac{a_1}{2}$, $\beta = \sqrt{-D}$, $i^2 = -1$. Їх легше застосовувати у тригонометричній формі:

$$\lambda_{1,2} = \rho (\cos \omega \pm i \sin \omega), \quad \rho = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2} = \sqrt{-a_2}, \quad \operatorname{tg} \omega = \beta/\alpha. \quad (13)$$

Загальне розв'язання (8) задається:

$$\tau_j = \rho^j (B_1 \cos \omega j + B_2 \sin \omega j), \quad (14)$$

де B_1, B_2 – довільні сталі, які визначаються з початкових умов.

Таким чином, за $D < 0$ розв'язок різницевого рівняння має характер коливань, амплітуда яких зростає, якщо $\rho > 0$, і згасає, якщо $\rho < 0$.

Такі моделі динаміки ТТС дають змогу з'ясувати, чи призведе зовнішнє збурення системи у вигляді зміни такту вхідного потоку до стабілізації, або ж динамічні затримки у зв'язку з цим будуть й надалі зростати. Наприклад, якщо загальний розв'язок різницевого рівняння має вигляд:

$$z_j = 2^{0,5j} (C_1 \cos \alpha j + C_2 \sin \beta j) + 1, \quad (15)$$

то його частинний розв'язок залежить від початкових умов, тобто від такту τ_1^1 та від його зміни $\Delta \tau_1^1$. З рисунку 4 видно, що процес зміни величини матеріального потоку на $\Delta \tau_1^1$ призводить до дестабілізації логістичного ланцюга, що проявляється на 3–6 циклах. Сумарні затримки у цій ТТС виникають з двох причин. Статичні – їх видно на стадії $j = 0$ – проявляються в результаті неузгодженості ЕЛО процесу постачання вантажів. Динамічні затримки у цій ТТС коливаються і, в цілому, зростають. Для того, щоб зменшити їх, потрібно змінювати структуру ТТС, або застосовувати початкове резервування матеріальних елементів для згладжування стрімких імпульсів вхідних потоків.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Рівень досконалості ТТС постачання вантажів доцільно оцінювати за сумарними затримками процесу. Якщо загальний матеріальний потік в системі є незмінним, то будуть мати місце лише статичні затримки. Вони зумовлені невідповідною кратністю такту і тривалості ЕЛО.

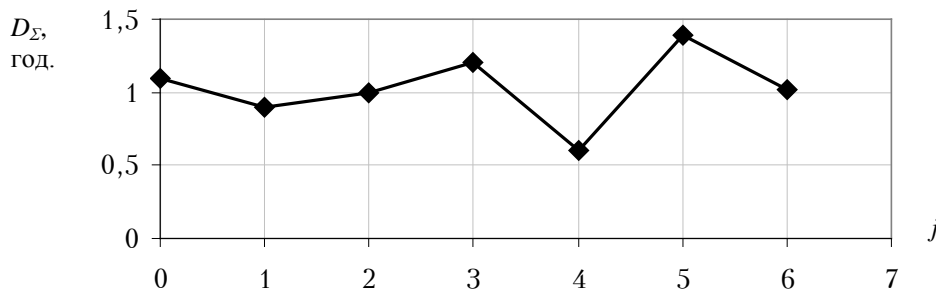


Рис. 4. Зразок нестабільної лінійної ТТС: j – номер стадії процесу

Їх не можна зменшити, якщо лише підібрати відповідні параметри розміру гурту k і такту τ . Динамічні затримки виникають в ланцюзі поставок, якщо змінюється такт початкової операції. Отже необхідне додаткове регулювання вхідних потоків, наприклад використання складів. Модель, що описує динаміку матеріального потоку в лінійному логістичному ланцюзі, адекватно подана у вигляді лінійного різницевого однорідного рівняння другого порядку. Його розв'язання показує шлях до стабілізації організаційних параметрів всередині транспортно-технологічної схеми.

Список використаної літератури:

1. Yoon Chang. Supply chain modeling using simulation / Yoon Chang, Harris Makatsoris // I. J. of SIMULATION. – 2009. – Vol. 2, № 1 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://scholar.google.com.ua/scholar?q>.

2. Куниця А.В. Формалізація схеми взаємозв'язку між складовими операціями процесу доставки вантажів / А.В. Куниця, В.Г. Обіщенко // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту. – 2010. – № 2 (11). – С. 37–42.
3. Кутах О.П. Моделювання транспортних систем / О.П. Кутах. – К. : Київ. ун-т економіки і технологій транспорту, 2004. – 196 с.
4. Zhivitskaya H. Topological properties and methodology of research of complex logistic systems efficiency / H.Zhivitskaya // ECONTECHMOD. An International Quarterly Journal On Economics In Technology, New Technologies And Modeling Processes. – 2014. – Vol. 3, № 3. – С. 23–33.
5. Котенко А.М. Логістична модель доставки вантажу від відправника одержувачу / А.М. Котенко, А.О. Ковальов // 36. наук. пр. – Харків : УкрДАЗТ, 2003. – № 53. – С. 25–29.
6. Rayhard Yunemann. Material flows in logistics / Rayhard Yunemann. – Berlin : Shkrynher, 1989. – 286 p.
7. Оліскевич М.С. Дослідження структури та параметрів транспортно-технологічної системи матеріального постачання за умов прогнозованої зміни попиту на продукцію / М.Оліскевич // Вісник Східноукр. нац. ун-ту імені Володимира Даля. – 2010. – № 1 (143). – С. 254–259.
8. Вільковський Є.К. Методика визначення необхідної кількості автотransпортних засобів на маятникових маршрутах / Є.К. Вільковський, М.С. Оліскевич, В.М. Дорош // Вісник НТУ. – 2006. – № 13, Ч. 2. – С. 68–72.
9. Bulgakova J. The model of work in process inventory management of rail cars building company / J.Bulgakova // Transport problems. – 2013. – Vol. 8, Issue 4. – Pp. 129–136.
10. Уотерс Д. Логистика: управление цепью поставок : пер. с англ. / Д.Уотерс. – М. : ЮНИТИ, 2003. – 503 с.
11. Dominiak Cezary. The Discrete Interactive Multiple Goal Programming under Risk. Multiple Criteria Decision Making / Dominiak Cezary // University of Economics in Katowice. – 2012. – 7. – Pp. 59–70.
12. Максишко Н.К. Моделювання економіки методами дискретної нелінійної динаміки : монографія / Н.К. Максишко ; наук. ред. проф. В.О. Перепелиця. – Запоріжжя : Поліграф, 2009. – 416.

References:

1. Chang, Y. and Makatsoris, H. (2009), “Supply chain modeling using simulation”, *International Journal of simulation*, Vol. 2, No. 1, available at <http://ijssst.info/Vol-02/No-1/Chang.pdf>
2. Kunycja, A.V. and Obishhenko, V.G. (2010), “Formalizacija shemy vzajemov'jazku mizh skladovymu operacijamy procesu dostavky vantazhiv”, *Visti Avtomobil'no-dorozhn'ogo instytutu*, No. 2 (11), pp. 37–42.
3. Kutah, O.P. (2004), *Modeljuvannja transportnyh system*, Universytet ekonomiky i tehnologij transportu, Kyiv, 196 p.
4. Zhivitskaya, H. (2014), “Topological properties and methodology of research of complex logistic systems efficiency”, *ECONTECHMOD. An International Quarterly Journal On Economics In Technology, New Technologies And Modeling Processes*, Vol. 3, No. 3, pp. 23–33.
5. Kotenko, A.M. and Koval'ov, A.O. (2003), “Logistychna model' dostavky vantazhu vid vidpravnyka oderzhuvachu”, *Zbirnyk naukovykh prac'*, No. 53, pp. 25–29.
6. Yunemann, R. (1989), *Material flows in logistics*, Shkrynher, Berlin, 286 p.
7. Oliskevych, M.S. (2010), “Doslidzhennja struktury ta parametriv transportno-tehnologichnoi' systemy material'nogo postachannja za umov prognozovanoi' zminy popytu na produkciju”, *Visnyk Shidnoukr. nac. un-tu im. V. Dalja*, No. 1 (143), pp. 254–259.
8. Vil'kovs'kyj, J.K., Oliskevych, M.S. and Dorosh, V.M. (2006), “Metodyka vyznachennja neobhidnoi' kil'kosti avtotransportnyh zasobiv na majatnykovykh marshrutah”, *Visnyk NTU*, No. 13, Vol. 2, pp. 68–72.

9. Bulgakova, J. (2013), "The model of work in process inventory management of rail cars building company", *Transport problems*, Vol. 8, Issue 4, pp. 129–136.
10. Uoters, D. (2003), *Logistyka: upravljenje cep'ju postavok* [Logistyka, supply chain control], translated by Egorov, V.N., JuNYTY, Moscow, 507 p.
11. Dominiak, C. (2012), "The Discrete Interactive Multiple Goal Programming under Risk", *Multiple Criteria Decision Making/University of Economics in Katowice*, Vol. 7, pp. 59–70.
12. Maksyshko, N.K. (2009), *Modeljuvannja ekonomiky metodamy dyskretnoi' nelinejnoi' dynamiky*, in Perepelycja, O.V. (Ed.), Poligraf, Zaporizhia, 416 p.

ОЛІСКЕВИЧ Мирослав Стефанович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Експлуатація та ремонт автомобільної техніки» Національного університету «Львівська політехніка».

Наукові інтереси:

- оптимізація транспортних систем на магістральній автомобільній мережі;
- інформаційні технології на транспорті;
- системи діагностування на автомобільному транспорті;
- телематика на транспорті;

Тел.: (032) 258-2751 (служб.); (032) 231-6094 (дом.); 067718-0457 (моб.).

E-mail: Myroslav@3G.ua.

Стаття надійшла до редакції 03.08.2016