

## ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРИМИРЕННЯ ЛОГІСТИЧНИХ ПІДСИСТЕМ

Статтю присвячено розробці методологічного апарату імітаційного моделювання логістичних процесів та аналізу сукупних логістичних витрат при застосуванні критерію оптимальності В. Парето. Зроблено висновок, що оптимізація економічних транзакцій підсистем і логістичної системи в цілому націлена на концепцію оптимізації логістичних витрат.

The article describes the development of a methodological apparatus of simulation and analysis of the logistics processes set of logistics costs in the application of Pareto optimality criterion. It is concluded that the optimization of economic transactions subsystems and logistics system as a whole focuses on the concept of optimization of logistics costs.

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Логістика як наука, її інструментарій та методологія практичних досліджень інтенсивно використовуються в сучасній економіці. Для забезпечення сталого розвитку промислових підприємств необхідно застосовувати логістичні концепції і технології. Незважаючи на те, що багато наукових напрямків логістики детально розроблені, існують певні проблеми при їх застосуванні в реальних промислових логістичних системах. Відмінною особливістю тут є те, що ці протиріччя проявляються на мікрорівнях. Недостатню ефективність практичних застосувань окремих напрямків логістики на сучасному етапі можна пояснити декількома основними обставинами. Як правило, традиційно увага звертається на те, що теорія логістики випереджає практику і відповідно запізнюється попит на використання нових наукових положень, що є природним для будь-якого напрямку науки. Однак існує також інша обставина, що полягає в тому, що розроблені теоретичні методи та моделі логістики не завжди забезпечують отримання адекватних результатів. Існує і ще одне додаткове перешкоджання, коли результати теоретичних досліджень в логістиці не можуть бути впроваджені на практиці через відсутність відповідних механізмів. Тому одним із ключових напрямків підвищення ефективності логістики є інтеграція концепцій логістики з використанням імітаційного моделювання складних логістичних систем.

**Аналіз досліджень і публікацій останніх років.** Проблеми логістичної діяльності в умовах розвинутої ринкової і трансформаційної економіки широко досліджуються як вітчизняними так і закордонними науковцями, серед яких можна назвати: В. Амітан, Л. Балабанова, М. Дороніна, Є. Крикавського, Р. Ларіна, В. Ніколайчука, О. Тридід, Н. Чухрай, О. Шубіна, Б. Анікіна, А. Гаджинського, Л. Міротіна, А. Семененко, В. Сергєєва, Д. Бауерсокса, Дж. Бушера, Д. Клосса, Дж. Хескетта та ін.

Широке коло завдань і методів їх вирішення, пов'язаних із дослідженням транзакційних витрат в умовах ринкової трансформації, знайшло відображення у наукових роботах багатьох вітчизняних і зарубіжних вчених. Серед них: С. Архієреєв, І. Булеєв, І. Коропецький, В. Радаєв, В. Тамбовцев, А. Олейник, А. Шаститко, Х. Демсітц, Р. Коуз, Д. Норд, О. Уільямсон та інші.

У свою чергу питанням моделювання економічної рівноваги, розробці моделей виробничих функцій присвятили увагу Л. Вальрас, П. Дуглас, І. Екланд, Р. Зельтен, Д. Кобб, В. Леонтєв, М. Морішіма, Дж. Неш, Х. Нікайдо, В. Парето, П. Самуельсон, Я. Тінберген, Р. Фріш, Дж. Харшані.

**Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми.** Проте деякі теоретичні, методологічні і практичні аспекти потребують подальших досліджень. На сьогодні відсутні комплексні дослідження питань імітаційного моделювання оптимального варіанту усіх видів витрат пов'язаних з логістичним процесом на підприємствах. Цей факт зумовлює необхідність здійснення подальших теоретико-методичних і прикладних досліджень імітаційного моделювання логістичних процесів.

**Постановка завдання.** Метою статті є подальша розробка методологічних питань імітаційного моделювання логістичних процесів та аналіз оптимальності сукупних логістичних витрат при застосуванні критерію В. Парето. Теоретичну і методологічну основу дослідження складають фундаментальні положення сучасної економічної теорії, наукові праці і методичні розробки провідних вчених у галузі логістики.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Схематично стикувальне формування загальних логістичних витрат виробничого процесу представлено на рис. 1, на якому наочно представлений процес утворення та накопичення аналізованих витрат.

Система цільових функцій (в аналітичній формі) описує критерій оптимальності сукупних логістичних витрат, з нашої точки зору, має бути спрямована на критерій мінімуму сум витрат, що базується на оптимальному значенні кожних видів витрат таким чином:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n \text{Log}C_i^{\text{trf}} \rightarrow \text{opt}(\min), \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n \text{Tr}C_i^{\text{Log}} \rightarrow \text{opt}(\min), \end{array} \right. \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n \text{Log}C = \sum_{i=1}^n (\text{Log}C_i^{\text{trf}} + \text{Tr}C_i^{\text{Log}}) \rightarrow \text{opt}(\min), \end{array} \right. \quad (3)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n Q_i^{\text{Log}} \rightarrow \text{opt}(\max); \end{array} \right. \quad (4)$$

При обмеженнях:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n \text{Log}C_i^{\text{trf}} \leq \sum_{i=1}^n R_i^{\text{trf}}, \end{array} \right. \quad (5)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n \text{Tr}C_i^{\text{Log}} \leq \sum_{i=1}^n R_i^{\text{tr}}, \end{array} \right. \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n \text{Log}C = \sum_{i=1}^n (\text{Log}C_i^{\text{trf}} + \text{Tr}C_i^{\text{Log}}) \leq \sum_{i=1}^n (R_i^{\text{trf}} + R_i^{\text{tr}}), \end{array} \right. \quad (7)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n Q_i^{\text{Log}} \leq \sum_{i=1}^n P_i, \end{array} \right. \quad (8)$$

де:

$\text{Log}C_i^{\text{trf}}$  – трансформаційні логістичні витрати;  $\text{Tr}C_i^{\text{Log}}$  – трансакційні витрати логістичних процесів;  $\text{Log}C$  – логістичні витрати;  $R_i^{\text{trf}}$  – загальні трансформаційні ресурси фірми;  $R_i^{\text{tr}}$  – загальні трансакційні ресурси фірми;  $Q_i^{\text{Log}}$  – обсяг логістичних послуг;  $P_i$  – загальні можливості фірми з виконання логістичних операцій;  $N$  – кількість ланок логістичних операцій.

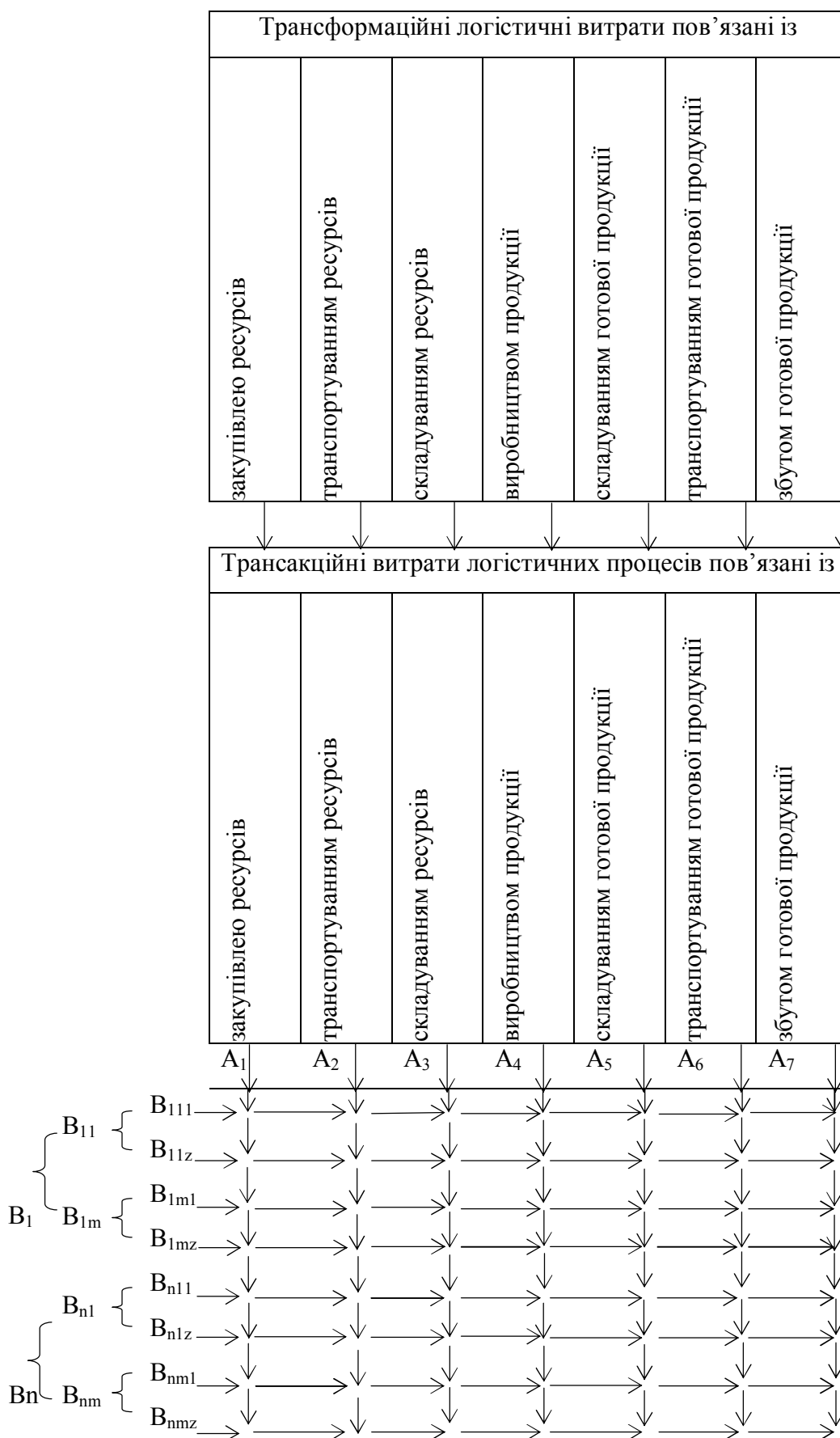


Рис. 1. Стикувальне формування загальних логістичних витрат виробничого процесу (розроблено автором на основі [1, с.55])

Таким чином, оптимізаційні загальні логістичні витрати визначаються рівнянням:

$$\sum_{i=1}^n \text{Log}C = \min \sum_{i=1}^n (\text{optLog}C_i^{\text{trf}} + \text{optTr}C_i^{\text{Log}}); \quad (9)$$

$$\text{optLog}C_i^{\text{trf}} = \min \left( \begin{aligned} &\text{optLog}C_{i \text{ зр}}^{\text{trf}} + \text{optLog}C_{i \text{ mp}}^{\text{trf}} + \text{optLog}C_{i \text{ cp}}^{\text{trf}} + \text{optLog}_{i \text{ ен}}^{\text{trf}} + \\ &+ \text{optLog}_{i \text{ cn}}^{\text{trf}} + \text{optLog}_{i \text{ mn}}^{\text{trf}} + \text{optLog}_{i \text{ зн}}^{\text{trf}} \end{aligned} \right); \quad (10)$$

$$\text{optTr}C_i^{\text{Log}} = \min \left( \begin{aligned} &\text{optTr}C_{i \text{ зр}}^{\text{Log}} + \text{optTr}C_{i \text{ mp}}^{\text{Log}} + \text{optTr}C_{i \text{ cp}}^{\text{Log}} + \text{optTr}_{i \text{ ен}}^{\text{Log}} + \\ &+ \text{optTr}^{\text{Log}}_{i \text{ cn}} + \text{optTr}_{i \text{ mn}}^{\text{Log}} + \text{optTr}_{i \text{ зн}}^{\text{Log}} \end{aligned} \right); \quad (11)$$

де:

$\text{Log}C_{i \text{ зр}}^{\text{trf}}, \text{Log}C_{i \text{ mp}}^{\text{trf}}, \text{Log}C_{i \text{ cp}}^{\text{trf}}, \text{Log}_{i \text{ ен}}^{\text{trf}}, \text{Log}_{i \text{ cn}}^{\text{trf}}, \text{Log}_{i \text{ mn}}^{\text{trf}}, \text{Log}_{i \text{ зн}}^{\text{trf}}$  – трансформаційні логістичні витрати пов'язані із закупівлею ресурсів, транспортуванням ресурсів, складуванням ресурсів, виробництвом продукції, складуванням готової продукції, транспортуванням готової продукції, збутом готової продукції.

$\text{Tr}C_{i \text{ зр}}^{\text{Log}}, \text{Tr}C_{i \text{ mp}}^{\text{Log}}, \text{Tr}C_{i \text{ cp}}^{\text{Log}}, \text{Tr}_{i \text{ ен}}^{\text{Log}}, \text{Tr}C_{i \text{ cp}}^{\text{Log}}, \text{Tr}_{i \text{ mn}}^{\text{Log}}, \text{Tr}_{i \text{ зн}}^{\text{Log}}$  – транзакційні витрати логістичних процесів пов'язані із закупівлею ресурсів, транспортуванням ресурсів, складуванням ресурсів, виробництвом продукції, складуванням готової продукції, транспортуванням готової продукції, збутом готової продукції.

Переходячи до питомих логістичних витрат можна записати таким чином:

$$\left\{ \begin{aligned} &\frac{\sum_{i=1}^n \text{Log}C_i^{\text{trf}}}{\sum_{i=1}^n Q_i^{\text{Log}}} \rightarrow \min, \\ &\frac{\sum_{i=1}^n \text{Tr}C_i^{\text{Log}}}{\sum_{i=1}^n Q_i^{\text{Log}}} \rightarrow \min, \end{aligned} \right. \Rightarrow \frac{\sum_{i=1}^n \text{Log}C_i}{\sum_{i=1}^n Q_i^{\text{Log}}} \rightarrow \min. \quad (12)$$

Для визначення оптимального варіанту усіх видів витрат пов'язаних з логістичним процесом на практиці необхідно використовувати правило «min-max», яке полягає у виборі рішення, яке веде до мінімального значення максимально можливих втрат. На цій основі можна отримати уявлення про упущені вигоди в результаті прийняття неправильних логістичних рішень.

Ринковий механізм саморегулювання і правові управляючі дії створюють умови для узгодження – компромісу інтересів учасників логістичної системи. Узгодження інтересів сторін представляє собою найкраще, а тому оптимальне рішення конфліктної ситуації.

Очевидно, що для вирішення конкретних завдань примирення різних логістичних підсистем застосуємо критерій оптимальності В. Парето, який дозволяє перевірити, чи покращує запропоноване рішення по конкретній підсистемі загальний стан логістичної системи.

В оптимізації за В. Парето присутні зазначені необхідні й достатні умови оптимізації – завдання, безліч варіантів, критерії оптимальності, цільова функція,

обмеження, алгоритм розв'язання [2, с.87; 3, с.203].

Однак усі ці умови відповідають інтересам кожної логістичної підсистеми, а завдання з її моделлю відображає конфліктну ситуацію логістичної системи.

Така оптимізація ґрунтується на певній сукупності вихідних положень:

1. Вихідна логістична структура фірми розглядається як складна система, що має ряд логістичних підсистем.
2. Кожна логістична підсистема володіє власним критерієм оптимальності, що відображає її іманентні (внутрішні) інтереси.
3. Функціонування логістичної системи являє собою процес взаємодії цих логістичних підсистем.
4. Взаємодія підсистем здійснюється за допомогою особливої логістичної системи, тобто є економічною трансакцією, мета якої – найкраще поєднання інтересів окремих логістичних підсистем і логістичної системи в цілому.
5. При взаємодії логістичних підсистем можливе виділення пріоритетних системних цілей.

У цьому випадку сутність логістичної оптимізації за В. Парето полягає у такому.

Нехай логістична система складається з деякого числа  $m$  підсистем. Введемо такі позначення:

$k = \overline{1, m}$  – сукупність приватних підсистем логістичної системи;

$x_k$  – варіант економічної трансакції  $k$ -й логістичної підсистеми;

$L_k = f(x_k)$  – цільова функція  $k$ -й логістичної підсистеми;

$x = (x_1, \dots, x_m)$  – варіант економічних трансакцій логістичної системи як композиція типів підсистем;

$c = (c_1, \dots, c_m)$  – вектор значень цільових функцій підсистем логістичної системи;

$X_k$  – безліч допустимих значень варіантів економічних трансакцій  $k$ -й логістичної підсистеми;

$X$  – безліч допустимих варіантів економічних трансакцій логістичної системи в цілому, що складаються з композиції допустимих варіантів підсистем і задовольняють додатковим загальним обмеженням логістичної системи.

Із сукупності моделей підсистем можна скласти задачу векторної оптимізації на множині допустимих варіантів економічних трансакцій підсистем і логістичної системи в цілому з цільовою функцією:

$$L(x) = \sum_{i=1}^m (l_i(x_i)) \quad \text{або} \quad L(x) = [l_1(x_1), \dots, l_m(x_m)]; \quad (13)$$

$$L(x) \rightarrow \min; \quad x = (x_1, \dots, x_m) \in X. \quad (14)$$

Вирішення цієї задачі дозволяє знаходити ефективні варіанти економічних трансакцій логістичних систем, оптимізовані за В. Парето. Допустиме рішення  $x^* = (x_1^*, \dots, x_m^*)$ , якому відповідає вектор  $c^* = (c_1^*, \dots, c_m^*)$ , є ефективним, тобто приймає оптимальне значення параметрів, якщо не існує іншого припустимого рішення  $x = (x_1, \dots, x_m)$ , якому відповідає вектор  $c = (c_1, \dots, c_m)$ , за умови що для всіх  $k = \overline{1, m}$  і

$$\sum_{k=1}^m c_k < \sum_{k=1}^m c_k^*.$$

Ефективне вирішення  $X$ -сукупності логістичних підсистем – це така припустима поведінка логістичної системи (мінімум логістичних витрат), при якому жодна з логістичних підсистем не може поліпшити своє становище (мінімізувати свої логістичні витрати), не погіршуючи становища хоча б одного з решти підсистем.

Схема оптимізації логістичної системи за Парето наведена на рис. 2 [4, с.211].



Рис. 2. Схема оптимізації логістичної системи за В. Парето

В економіці моделі оптимізації логістичної підсистеми за В. Парето є вербальними з певними чисельними параметрами. Критерій В. Парето враховує інтегральну оцінку, внаслідок чого оптимізація є багатокритеріальною, тобто є процесом одночасної оптимізації двох або більше конфліктуючих цільових функцій логістичної підсистеми у заданій області визначення.

Графічну інтерпретацію оптимізації за критерієм В. Парето для системи, що складається з двох логістичних підсистем, представлено на рис. 3.

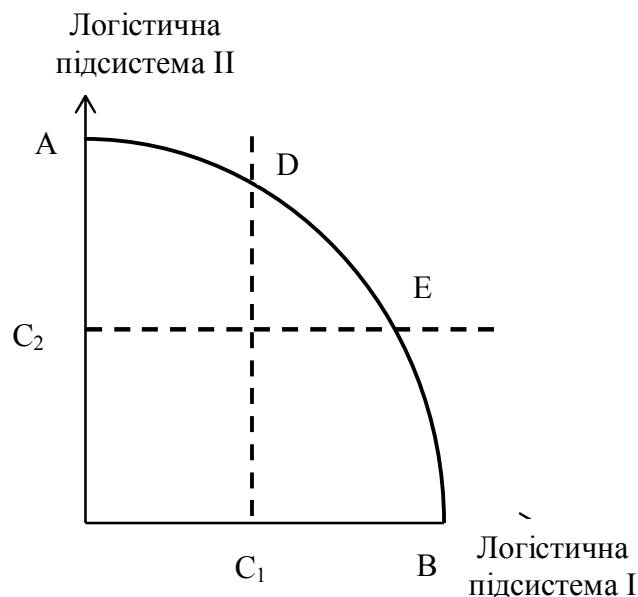


Рис. 3. Безліччя оптимумів за В. Парето

Крива AB відображає безліччя значень цільових функцій якоїсь логістичної системи. Величини  $C_1$  і  $C_2$  – значення цільових функцій логістичних підсистем при їх ізольованому функціонуванні. Для логістичних підсистем бажано таке спільне функціонування, щоб у підсумку вийшли значення підсумкових цільових функцій не гірше, ніж  $C_1$  і  $C_2$ . Отже, рішення необхідно шукати на ділянці DE. Для підсистеми I неприйнятні всі рішення, що лежать лівіше  $C_1D$ , для підсистеми II – нижче  $C_2E$ .

**Висновки і перспективи подальших розробок.** Використовуючи критерій оптимальності В. Парето, можна зробити важливий висновок, що оптимізація економічних трансакцій підсистем і логістичної системи в цілому спрямована на відмову від проведення заходів окремо по раціоналізації матеріально-технічного забезпечення, а є націленою на інтеграцію виробництва, матеріально-технічного забезпечення, транспортування, інформації, комунікації і раціоналізацію всієї сфери обігу і виробництва в сукупності та націлена на концепцію оптимізації логістичних витрат (трансформаційних логістичних витрат та трансакційних витрат логістичних процесів).

Сформульовані в узагальненому вигляді ці положення визначають основні результати, отримані в ході вирішення висунутих у дослідженні завдань. Подальші дослідження будуть спрямовані на пошук найбільш раціональних шляхів забезпечення оптимізації моделювання логістичних процесів.

#### Список використаної літератури

1. Миротин Л. Б. Эффективная логистика / Л. Б. Миротин, Ы. Э. Ташбиев, О. Г. Порошина. – М.: Экзамен, 2003. – 160 с.
2. Плоткин Б. К. Экономико-математические методы и модели в логистике: [учеб. пособ.] / Б. К. Плоткин, Л. А. Делюкин. – СПб.: СПбГУЭФ, 2010. – 96 с.
3. Гоберман В. А. Основы производственного менеджмента: моделирование операций и управленческих решений: [учеб. пособ.] / В. А. Гоберман, Л. А. Гоберман. – М.: Юристъ, 2002. – 333 с.
4. Емельянов А. А. Имитационное моделирование экономических процессов / А. А. Емельянов, Е. А. Власова, Р. В. Дума. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 365 с.
5. Строгалева В. П. Имитационное моделирование: [учеб. пособ.] / В. П. Строгалева, И. О. Толкачева. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. – 280 с.

Прийнято друку 01.11.2012