

УДК: 330.46+007.3:519.711.3

Т. В. МЕРКУЛОВА, М. В. АКУЛОВ

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

**МУЛЬТИАГЕНТНИЙ ПІДХІД ДО АНАЛІЗУ ЕФЕКТИВНОСТІ  
ЛАНЦЮГА ПОСТАВОК**

*У статті розглядається проблема оцінювання ефективності ланцюга поставок. Запропоновано критерій ефективності, заснований на сумарному дефіциті в розподільчій системі. Оцінювання зміни значення критерію виконано за допомогою метарегресійної моделі, яка побудована за статистикою, що була отримана за результатами прогонів авторської мультиагентної моделі «виробник – розподільчий центр – кінцевий споживач».*

**Ключові слова:** мультиагентне моделювання, управління запасами, ланцюги постачань, критерій ефективності.

Управління запасами та поставками в сучасній логістичній системі передбачає вирішення актуальної задачі оптимізації кількості та розміщення розподільчих центрів (РЦ). Вони можуть бути представлені як великими складами, оптовими базами, так і роздрібними магазинами, які реалізують продукцію кінцевому споживачу. Використання кількох розподільчих центрів (РЦ) є поширеною світовою практикою. Деякі ланцюги поставок не будуються одразу в остаточному вигляді, а розширюються еволюційно. Обґрунтування доцільності появи (побудування або аренди) нового РЦ потребує оцінки ефективності всього ланцюга поставок, її зміни після введення нового РЦ. З метою вирішення цього завдання було розроблено мультиагентну модель ланцюга поставок «виробник — розподільчі центри – кінцеві споживачі», яку реалізовано у вигляді прикладної програми.

**Результати та їх обговорення**

Ефективність ланцюга поставок у тій чи іншій формі розглядається у роботах [1–5]. У цій статті у якості ефективності ланцюга поставок використовується інший показник, ніж у зазначених роботах, а саме – середній рівень дефіциту. Під дефіцитом розуміється різниця між попитом на продукцію та її наявним запасом у розподільчому центрі. Показник ефективності ланцюга поставок розраховується як величина сумарного за розрахунковий період дефіциту, яка у середньому приходить на один розподільчий центр системи. Таким чином, ланцюг поставки характеризується середнім дефіцитом розподільчого центру, і якщо введення нового РЦ зменшує цей показник, то таке введення є доцільним. Застосування середнього значення дефіциту дозволяє порівнювати ефективність в логістичних системах з різною кількістю розподільчих центрів.

Модель є однопродуктовою з дискретним часом та наступними основними елементами.

Виробник – це агент, який виробляє продукцію, визначає потребу у ній розподільчих центрів (РЦ), орендує засоби доставки (вантажні автомобілі) відповідно до необхідного об'єму поставки та відправляє партії продукції на РЦ. У межах моделі продукція виробляється миттєво.

Засоби доставки в моделі представлені власними (виконують виключно розпорядження виробника та під час простою знаходяться в його «гаражі») та найманими (під час простою випадково мандрують по системі) вантажівками.

Розподільчий центр – це агент, який одночасно виконує ролі складу та центру дистрибуції, тобто розподіляє продукцію між кінцевими споживачами відповідно до їх попиту та наявності продукції на складі.

Клієнт – це агент, який споживає продукцію та звертається до складу за наступною порцією. Обсяг його замовлення понад накопичену потребу (клієнт може споживати «в мінус») є нормально розподіленою випадковою величиною.

Модель починає працювати «з нуля», тобто відсутня статистика попереднього попиту та будь-які гіпотези щодо його характеру; запаси на розподільчих центрах дорівнюють початковим значенням, встановленим дослідником; черга відправлень (див. далі) порожня. Вважається, що продукція має субститути. Конкуренти відсутні у моделі безпосередньо, але кінцеві споживачі можуть відмовитися від продукції цього виробника та залишити ігровий світ (перейти до конкурентів) у разі незадоволення сервісом.

Детальніше алгоритм поведінки виробника виглядає наступним чином. На кожному такті моделі ним аналізується попит, наявні запаси на усіх РЦ та можливість поставити вчасно необхідну кількість продукції, тобто наявність вільних власних засобів доставки та час, через який можуть прибути наймані вантажівки. Будується прогноз попиту на період, який залежить від відстані до конкретного РЦ та швидкості засобів доставки. Постачання планується таким чином, щоб при черговому надходженні товару залишок на складі дорівнював страховому запасу.

Прогнозування починається не одразу після початку прогону мультиагентної моделі, а з певного такту, номер якого визначається користувачем. Якщо режимом прогнозування встановлено «Автоматичний вибір», то через рівні інтервали часу, які задаються дослідником, модель починає перебір алгоритмів серед доступних з метою оцінки можливої точності прогнозу по наявним статистичним даним.

В моделі реалізовані наступні методи прогнозування. Метод лінійної регресії першого порядку, який має вигляд

$$y(t) = at + b ,$$

де  $y(t)$  – фактичне значення показника на  $t$ -му такті,  $a$  та  $b$  – коефіцієнти регресії, отримані за допомогою методу найменших квадратів.

Метод авторегресії першого порядку, який має вигляд  $y(t) = ay(t-1) + b$ , де  $y(t-1)$  – значення цільового показника на  $t-1$ -му такті,  $a$  та  $b$  також отримуються за допомогою методу найменших квадратів. У внутрішньому коді моделі реалізовано можливість для побудови прогнозів за поліноміальною та авторегресійною моделями майже будь-якого порядку, але через інтерфейсі користувача використання цієї можливості не передбачене, бо з ростом порядку при збільшенні точності апроксимації зменшується прогностична здатність моделей.

Просте середнє – найвний прогноз, де майбутні значення показника шукаються у вигляді арифметичного середнього із показника за минулий період, відкинувши нульові значення.

Метод Хольта – різновид методу експоненційного згладжування, який виконується за формулами:

$$\begin{cases} L_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)(L_{t-1} - T_{t-1}) \\ T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}, \\ \hat{Y}_{t+p} = L_t + pT_t \end{cases}$$

де  $Y_t$  – фактичне значення показника у період  $t$ ;

$L_t, T_t$  – допоміжні змінні, які означають згладжене значення ряду та тренд відповідно;

$\alpha, \beta$  – числа в інтервалі (0; 1);

$\hat{Y}_{t+p}$  – прогноз на  $p$  періодів.

Від вибору чисел залежить, наскільки сильне згладжування. У разі, якщо ці числа ближче до одиниці, то згладжений ряд швидше реагує на зміни у ряді фактичних даних, але гірше згладжує. Якщо числа ближчі до 0, то ряд, навпроти, краще згладжується, але повільніше реагує на нові значення ряду фактичних даних.

Для вибору найкращого методу прогнозування використовується наступна послідовність дій. Якщо довжина часового ряду становить менше, ніж 30 значень, то в якості методу вибирається просте середнє. Якщо довжина ряду перевищує вказане граничне значення, то за 75% наявних даних (якщо 75% ряду становить дробове число, то воно округляється по правилам математичного округлення) для кожного з методів розраховуються параметри та будується прогноз на період, який за довжиною дорівнює 25% наявних даних. Далі підраховується сума квадратів відхилень між фактичними даними та прогнозом, отриманим за допомогою кожного з методів, і в якості метода прогнозування обирається той, для якого ця сума буде найменшою. При цьому для методу Хольта виконується прямим перебором пошук найкращої з точки зору мінімуму суми квадратів відхилень пари ( $\alpha; \beta$ ). Це означає, що для кожної пари ( $\alpha; \beta$ ), починаючи з (0,1; 0,1) та закінчуючи (0,95; 0,95) з кроком 0,05 за 75% наявних даних розраховується прогноз довжиною в 25% від наявних даних, для цього прогнозу та решти наявних даних розраховується сума квадратів відхилень. Кращою парою ( $\alpha; \beta$ ) вважається та, яка забезпечує найменшу суму квадратів відхилень.

На підставі побудованого прогнозу формується та розміщується у черзі на відправку партія продукції. Атрибутами партії є: кількість продукції, цільовий РЦ та планова дата відправки. Усі партії у черзі відсортовано за збільшенням дати відправки, тобто першою завжди стоїть найбільш термінова партія, навіть якщо вона потрапила у чергу не першою. Відправка відбувається у порядку знаходження партій у черзі.

Виробник починає підбирати один чи декілька засобів доставки, в залежності від розміру партії та місткості вантажівок. Спочатку перевіряється, чи є вільні власні вантажівки.

Якщо такі є, одна з них завантажується та виконує доставку, у разі відсутності перевіряється, чи є власні вантажівки, що наразі знаходяться у дорозі, але прогнозний час повернення у гараж відповідає плановому часу відправки до цільового РЦ. За їх наявності вони залучаються під певний заказ та завантажуються, коли настає їх черга. Якщо таких вантажівок нема, шукаються вільні чужі, відстань до яких дозволяє їм вчасно виконати доставку партії. У разі успішного пошуку такі вантажівки орендуються, прямують на завантаження, чекають, коли надійде їх черга, завантажуються та відправляються до цільового РЦ.

Описану вище модель було реалізовано у вигляді прикладної програми. Було проведено низку прогонів моделі, за допомогою отриманих результатів було оцінено максимальне значення сумарного (за весь прогін) дефіциту окремого складу у залежності від кількості складів.

Отримана залежність має вигляд  $y = ax^b$ , її коефіцієнти є статистично значущими; щільність зв'язку, оцінена за допомогою коефіцієнту детермінації, є значною ( $r^2 > 0,99$ ). Слід відмітити, що параметр  $a$  має позитивне значення, а параметр  $b$  – негативне, тобто забезпечує зменшення середнього дефіциту при зростанні кількості складів.

Отримана залежність дозволяє розрахувати максимальне значення середнього дефіциту в системі і, таким чином, оцінити ефективність ланцюгу поставок з урахуванням додаткового розподільчого центру.

### **Висновки**

Перспективою використання отриманого результату на практиці є, з одного боку, зменшення дефіциту у ланцюгах поставок у разі прийняття рішення про необхідність побудовання нових складів. З іншого боку, підприємство буде мати значну економію коштів у разі виявлення недоцільності введення нових складів у зв'язку з недостатнім (у порівнянні з очікуваним) зменшенням дефіциту. Таким чином, запропонований підхід на підставі мультиагентної моделі може бути ефективним інструментом аналізу та планування логістичних систем.

### Список використаної літератури

1. Zgaya H. Negotiation Protocol according to the Perturbation Impact In a Multi-agent Supply Chain System for the Crisis Management / H. Zgaya, D. Tang, S. Hammadi, F. Bretaudeau // IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology. – 2008. – pp. 698–701.
2. Douss S. Réduction de l'effet coup de fouet à base d'agents communicants dans la logistique pour la gestion de crise / S. Douss, S. Chiarena, H. Zgaya, S. Hammadi [та ін.] // In Proceedings of 3rd International Workshop in Logistic and Transport «LT'2007» (Sousse (Tunisia), 18–20 November 2007). – pp. 163–170.
3. Zhang Z. Multi-agent Based Supply Chain Management with Dynamic Reconfiguration Capability / Zili Zhang, Li Tao // IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology. – 2008. – pp. 92–95
4. Гатторна Дж. Взгляд эксперта: живые цепи поставок [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.johngattorna.com/documents/Gattorna\\_Living\\_SC.pdf](http://www.johngattorna.com/documents/Gattorna_Living_SC.pdf)
5. Чейз Р. Б. Производственный и операционный менеджмент / Р. Б. Чейз, Н. Дж. Эквилайн, Р. Ф. Якобс; пер. с англ. – 8-е изд. - М.: Издательский дом – Вильямс . -, 2003. –704 с.: ил.

Стаття надійшла до редакції 11.10.2012

### **Мультиагентный подход к анализу эффективности цепочки поставок**

Меркулова Т. В., Акулов Н. В.

*Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина*

В статье рассматривается проблема оценивания эффективности цепочки поставок. Предложен критерий эффективности, основанный на суммарном дефиците в распределительной системе. Оценка изменения значения критерия проведена с помощью метарегрессионной модели, которая построена по статистике, полученной по результатам прогонов авторской мультиагентной модели вида «производитель – распределительный центр – конечный потребитель».

**Ключевые слова:** мультиагентное моделирование, управление запасами, цепочки поставок, критерий эффективности.

**Multi-agent approach to analyses of supply chain efficiency**

Merkulova T., Akulov M.

*V.N. Karazin Kharkiv National University*

There is discussed the problem of supply chain efficiency in the article. The criteria of efficiency based on a total deficit in a distribution system is offered. Estimation of criterion variation is done by metaregression model that was constructed according to data generated by the original multi-agent model «manufacturer – distribution center – consumer».

**Keywords:** Multi-agent modeling, inventory management, supply chains, criteria of efficiency.