

*Р. В. Шамрін,
к. е. н., старший викладач кафедри економічної кібернетики, Криворізький факультет
ДВНЗ "Запорізький національний університет" Міністерства освіти і науки України,
м. Кривий Ріг*

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ПЕРЕДУМОВИ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ЗАПАСІВ НА ОСНОВІ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПІДХОДУ

R. Shamrin,
PhD in Economics, Senior Lecturer of Department of Economic Cybernetics, the Kryvyi Rih faculty of State Higher Educational Institution "Zaporizhzhya National University" of the Ministry of education and science of Ukraine, Kryvyi Rih

CONCEPTUAL PRECONDITIONS OF STOCKS DYNAMICS BASED ON MULTI-AGENT APPROACH

Загальна концептуальна схема моделювання динаміки запасів, яку запропоновано до розгляду у статті, включає 4 блока: ланцюг постачань, зовнішнє середовище, прогнозування попиту, вибір засобу доставки.

Ланцюг постачань включає виробничо-розподільчий центр, засоби доставки (вантажівки) та віддалені склади, які віддалені від виробничо-розподільчого центру та містять запаси готової продукції. Блок "Зовнішнє середовище" представлено клієнтами та конкурентами, їх поведінка є фактором нестаціонарності системи. Використовується припущення про невизначений попит клієнтів та невідому політику конкурентів, що може вплинути на кількість клієнтів. Безпосередньо з цим блоком пов'язаний блок "Прогнозування попиту", що відповідає за формування розмірів та часу відправлення на склади партій товару. За доставку відправленого товару відповідає блок "Вибір засобу доставки", який включає вибір типу та засобу доставки. У статті представлено три мультиагентних моделі динаміки запасів підприємства: концептуальна модель поведінки агентів (КСДЗ), первинна модель динаміки запасів (ПМДЗ) та розширена модель динаміки запасів (РМДЗ). ПМДЗ та РМДЗ реалізовано у вигляді мультиагентних систем (ПМДЗ на мультиагентній платформі NetLogo, а РМДЗ — на Object Pascal). КСДЗ має вигляд концептуальної моделі (набору алгоритмів поведінки агентів у ланцюгу постачань). Кожна з моделей орієнтована на певне коло задач, які виникають у процесі управління запасами у виробничо-розподільчій системі.

General conceptual diagram modeling the dynamics of stocks, which was proposed for review in the article, includes four units: supply chain, the environment, demand forecasting, choice of means of delivery.

Supply chain includes production and distribution center, delivery vehicles (trucks) and long-term storage, which stand far from the production and distribution center and include stocks of finished products. Block "external environment" represented clients and competitors, their behavior is a factor in non-stationary system. Used assumptions about uncertain customer demand and competition policies unknown, which may affect the number of customers. Directly connected to this unit is block "Forecasting demand", responsible for the formation of the size and time of departure of consignments to warehouses. The unit "The means of delivery" is responsible for the goods that were sent, including the choice of type and means of delivery. The paper presents three models of dynamics of multi-agent stock of the company: a conceptual model of behavior of agents, the primary model of the stocks and expanded model of the stocks. The last two are implemented in the form of multi-

agent systems (the primary model of the stocks — on multi-agent platform NetLogo, and the expanded model of the stocks — in Object Pascal). The conceptual model of behavior of agents looks like a conceptual model (a set of algorithms behavior of agents in the supply chain). Each model is focused on a range of problems that arise in the process of inventory management in production and distribution system.

Ключові слова: нестационарність, динаміка запасів, мультиагентне моделювання, управління запасами, дефіцит.

Key words: non-stationarity, enterprise stocks dynamics, multi-agent modeling, stocks management, deficit.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Моделювання динаміки запасів підприємства є важливим етапом управління запасами. Коректний вибір моделі та правильний підбір її параметрів зменшують дефіцит або дозволяють взагалі його уникнути, не створюючи при цьому надмірних товарних запасів. Це, в свою чергу, в сучасній економічній практиці є обов'язковою умовою ефективного функціонування бізнесу. Існує багато моделей динаміки запасів підприємства. Найбільшу цікавість з практичної точки зору викликають ті, які можуть дати рекомендацію щодо кількості товарів та термінів закупівель, що мінімізують витрати підприємства на товаропотік, або ті, які можуть оптимізувати структуру товаропотоку у підприємстві або ланцюгу постачань.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Теоретичні та прикладні дослідження у галузі управління запасами отримали новий імпульс у зв'язку з розвитком крупних багатонаменклатурних торговельних мереж, які ставлять більш жорсткі вимоги щодо лімітів часу і витрат, фінансової ефективності. Нові завдання у управлінні запасами ускладнюються ще й тому, що переважна більшість підприємств працює у ситуації нестационарного зовнішнього середовища, параметри якого досить швидко змінюються у часі. Різні аспекти проблеми управління запасами досліджували відомі вітчизняні та закордонні вчені: Б.А. Анікін, Д.Дж. Бауерсокс, В.В. Вітлінський, А.М. Гаджинський, В.М. Даніч, Н.Дж. Еквілайн, Т.Я. Лагоцький, Р.М. Лепа, Ю.Г. Лисенко, В.А. Лотоцький, В.С. Лукінський, Т.В. Меркулова, Л.Б. Міротін, Ю. І. Рижиков, М.В. Румянцев, В.І. Сергєєв, П.О. Скобелев, А.М. Стерлігова, Р.Б. Чейз, Л.В. Ширяєва, Р.Ф. Якобс та ін.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Віддаючи належне науковим результатам та прикладним розробкам у цій галузі, слід зазначити, що на цей час існує необхідність створення сучасних моделей, які б з високою ефективністю та досить високою універсальністю дозволяли б в умовах нестационарного середовища вирішувати задачі управління запасами на підприємстві. Вимога універсальності є наслідком багатонаменклатурності запасів: кожна одиниця номенклатури може потребувати своєї моделі управління запасами, тоді як велика кількість одиниць робить неможливим ручний підбір моделі для кожної з них.

Таким чином, побудова моделей, які б були результативними для управління динамікою запасів за умов нестационарного зовнішнього середовища, має важливе теоретичне значення, вона є також актуальною практичною задачею.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Враховуючи переваги мультиагентного підходу, саме він був обраний для моделювання динаміки запасів логістичної системи в умовах нестационарного зовнішнього середовища. Розробка мультиагентних моделей здійснювалася на підставі базових положень, що відображені у загальній концептуальній схемі моделювання виробничо-розподільчої системи та її потоків (рис. 1).

Схема включає 4 блока: концептуальна модель ланцюга постачання (блок "Виробничо-розподільча система"), концептуальна модель зовнішнього середовища виробничо-розподільчої системи (блок "Зовнішнє середовище"), блоки прогнозування і управління засобами доставки. Перші два блоки утворюють власне мультиагентну систему, останні два блоки — це блоки управління запасами у ланцюгу постачань.

Блок "Виробничо-розподільча система" включає виробничо-розподільчий центр, засоби доставки (вантажівки) та віддалені склади (тобто такі, які віддалені від виробничо-розподільчого центру та призначені для обслуговування клієнтів на певній території), що містять запаси готової продукції. Виробничо-розподільчий центр здійснює виробництво продукції і управління її поставками на склади, використовуючи алгоритми прогнозування попиту, управління засобами доставки та чергами заявок. Передбачається, що засоби доставки можуть бути власними або найманими. За доставку товару відповідає блок "Управління засобами доставки".

Безпосередньо з блоком "Виробничо-розподільча система" пов'язаний блок "Прогнозування попиту", що відповідає за формування розмірів та часу відправлення на склади партій товару. У цьому блоці здійснюється не тільки прогноз попиту, але й розрахунок страхового запасу на основі вибору найкращих методів. Можливість вибору методу прогнозування і розрахунку страхового запасу, яка передбачена концепцією моделювання, пов'язана з урахуванням нестационарності зовнішнього середовища, а саме нестационарного попиту клієнтів.

Концепція моделювання передбачає, що зовнішнє середовище представлено клієнтами (покупцями) та

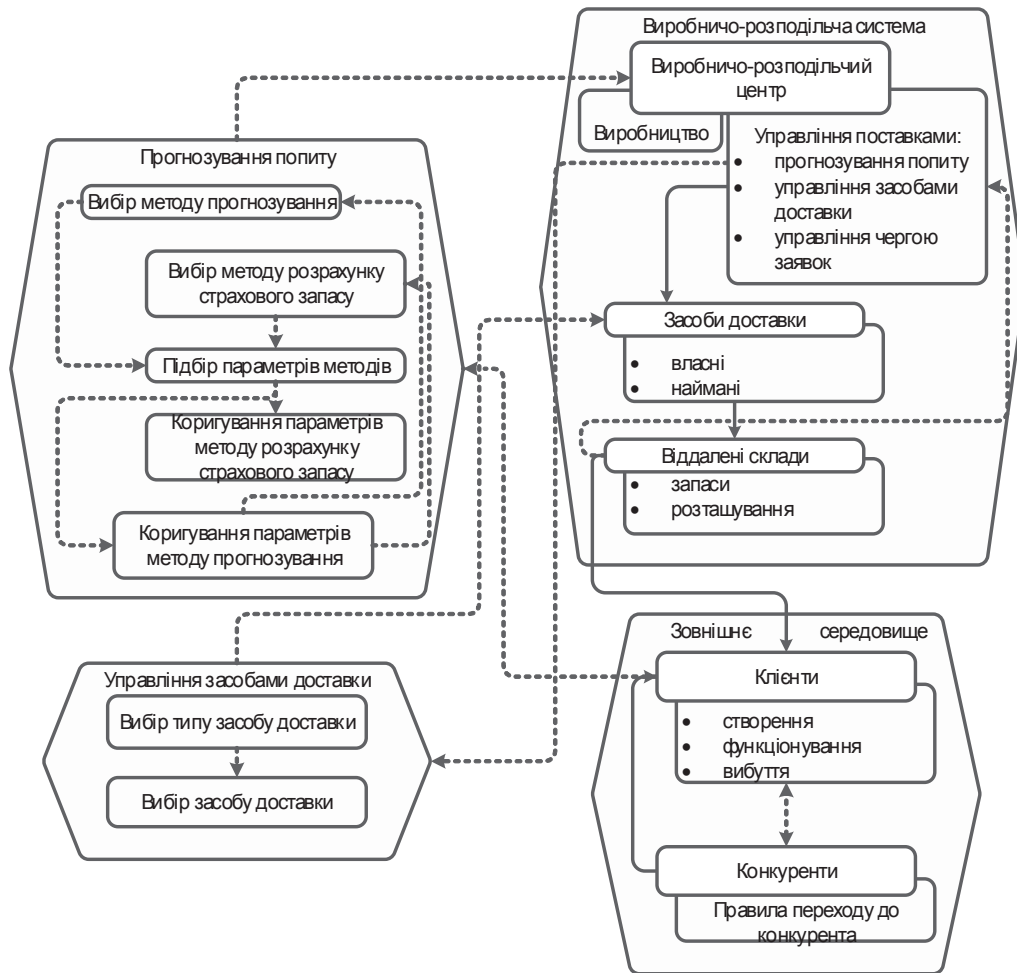


Рис. 1. Концептуальна схема моделювання динаміки запасів виробничо-розподільчої системи

конкурентами, які пропонують товар — аналог або суб-ститут. Саме їх поведінка зумовлює нестационарність зовнішнього середовища: використовується припущення про невизначений попит клієнтів та невідому політи-

ку конкурентів, що може вплинути на кількість клієнтів [4, с. 158— 163]. Конкурентні відносини ланцюга поставчань реалізуються через правила переходу клієнтів до конкурентів.

Таблиця 1. Порівняльна характеристика моделей динаміки запасів

| Хар-ка | Модель | | |
|------------------------------|--|--|---|
| | КСДЗ | ПМДЗ | РМДЗ |
| Призначення моделі | – вибір алгоритму розрахунку страхового запасу; – вибір методу прогнозування попиту | – оцінка дефіциту розподільчої системи та окремих складів; – оптимізація параметрів алгоритму прогнозування попиту з метою мінімізації дефіциту в системі | – управління дефіцитом системи за допомогою її параметрів; – аналіз впливу різних чинників на цільові показники логістичної системи на основі побудови регресійних залежностей; – обґрунтування розташування складів з метою мінімізації дефіциту |
| Принцип управління запасами | Централізований | Децентралізований | Централізований |
| Тип засобів доставки | Власні | Власні | Власні та наймані |
| Доступність засобів доставки | Необмежений доступ | Необмежений доступ | Обмежений доступ |
| Тип клієнтів | Не ідентифіковані | Постійні | Постійні та мігруючі |
| Життєвий цикл клієнта | Не розглядається в моделі | Випадкова поява, випадковий час існування, детерміноване вибуття | Випадкова початкова кількість, випадкова поява, випадковий час існування, випадкове вибуття |
| Формування попиту | Заданий екзогенно | Випадковий | Нестационарний |
| Прогнозування попиту | Адаптивний алгоритм вибору методу прогнозування | Метод Хольта | Заданий метод або адаптивний алгоритм вибору методу прогнозування |
| Реалізація | Блок-схема | Програма, написана спеціалізованою мовою (NetLogo) | Прикладна програма (Object Pascal) |

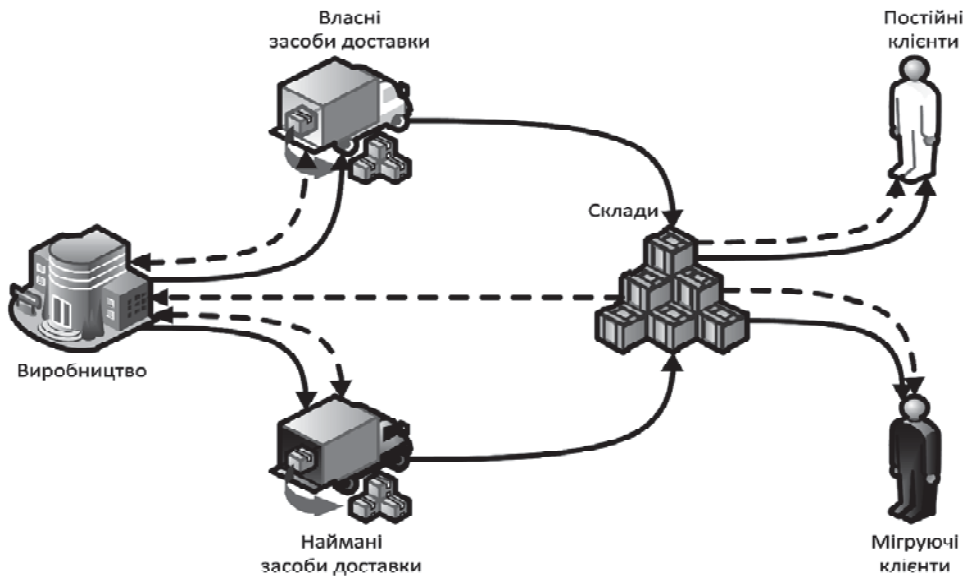


Рис. 2. Інформаційно-матеріальні потоки в КСДЗ

На рисунку 1 тонкі пунктирні стрілочки представляють значущі інформаційні потоки, товсті суцільні — матеріальні. Під значущими потоками маються на увазі ті, які використовуються для розрахунків чи прийняття рішення [1, с. 107—115]. Так, хоча виробничо-розподільчий центр фактично передає засобам доставки інформацію про те, що вони мають прибути до місця завантаження, але у рамках концепції вважається, що засоби доставки жодних рішень не приймають, а лише виконують поставлене завдання.

Нами запропоновано до розгляду комплекс мультиагентних моделей, орієнтованих на різні аспекти управління запасами: концептуальну схему динаміки запасів (КСДЗ), первинну (ПМДЗ) та розширену моделі динаміки запасів (РМДЗ). Загальну характеристику моделей наведено у таблиці 1.

Концептуальна схема динаміки запасів (КСДЗ). Подальшої деталізації загальна концепція моделювання набула у моделі поведінки агентів, яка має умовну назву "концептуальна схема динаміки запасів (КСДЗ)" і описує структуру інформаційно-матеріальних потоків, типи агентів та правила (алгоритми) їх поведінки.

Загальну структуру інформаційно-матеріальних потоків КСДЗ зображено на рисунку 2. Суцільні лінії відповідають матеріальним потокам, пунктирні — інформаційним. Алгоритми поведінки агентів у КСДЗ представлено у вигляді блок-схем на рисунках 3, 4.

1. Загальні положення. Модель КСДЗ є однопродуктовою, мультиагентною, з дискретним часом. В моделі присутні агенти наступних видів: агент-виробництво (завжди один), агенти-засоби доставки (вантажівки), агенти-склади (розподільчі центри) та агенти-клієнти (споживачі).

2. Агент-виробництво. На рисунку 3 представлено схему функціонування агента-виробництва. Оскільки початковий стан КСДЗ відповідає початку діяльності підприємства (так само, як і початковий стан ПМДЗ) і, як наслідок, відсутність даних для аналізу та подальшого визначення параметрів для прогнозу і прийняття рішень, у схемі агента-виробника присутній блок

"Ініціалізація", який імітує відсутні дані. У ньому задаються початкові параметри для побудови прогнозу, а також інші дані, що потрібні для початку виробництва. Вважається, що ці дані вводяться на підставі експертних оцінок.

У блоці "Отримання даних від РЦ" агент-виробництво отримує дані від усіх розподільчих центрів (РЦ) — складів. Дані вже є агрегованими, тобто попит усіх клієнтів зведено у один показник.



Рис. 3. Алгоритм функціонування агента-виробництва

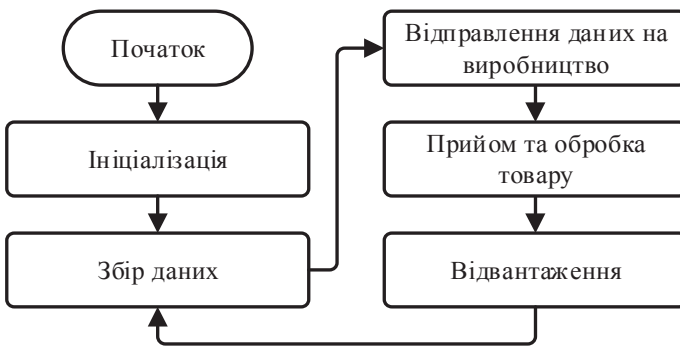


Рис. 4. Принципова схема функціонування розподільчого центру

Перевірка "Корекція потрібна?" визначає, чи потрібно вносити якісь зміни у механізм прогнозування попиту, тобто обирати інші методи прогнозування та розрахунку страхового запасу.

У випадку позитивної відповіді на це запитання у відповідних блоках виконується вибір методів. Але у деяких випадках зміни методів може бути недостатньо для отримання адекватного прогнозу [5].

Можливими причинами можуть бути: престижність товару, яка збільшилася, зміни цін на товари-субститути тощо. Ця ситуація вимагає додаткових заходів. Один із заходів, який доцільно включити до моделі, — цінове регулювання попиту. Проводиться переоцінка товару з урахуванням очікуваної еластичності попиту по ціні. У якості значення еластичності повинна виступати експертна оцінка, бо у системи немає механізмів для розрізнення змін у попиті, які викликані тренд-циклічним, випадковим та сезонним чинниками, від тих, які викликані змінами у ціні. Після виконання корекцій (або якщо під час перевірки "Корекція потрібна?" було отримано негативну відповідь) будується прогноз попиту та розраховується страховий запас. На базі цих величин та фактичних залишків на складах, а також відстані до складів, термінів роботи з постачальниками розраховується замовлення постачальникам. Після цього здійснюється виробництво продукції, яке було заплановане на поточний такт, та відвантаження на розподільчі центри готової продукції у рамках їх потреб. Алгоритм повертається у стан "Отримання даних від РЦ".

3. Агенти-склади. Функціонування агентів-складів є досить простим та не містить розгалужень. Його принципову схему зображено на рисунку 4.

Як вже зазначалося, фактично початковим станом моделі є початок функціонування фірми та, як наслідок, відсутність будь-якої статистики продажів, дефіциту, відвантажень тощо. Для того, щоб не додавати зайві блоки та розгалуження, у алгоритм було додано блок "Ініціалізація", який "імітує" наявність статистики. Дії цього блоку аналогічні до дій однойменного блоку з алгоритму агента-виробництва. У блоці "Збір даних", відповідно до назви, виконуються акумуляція та агрегація даних про попит та дефіцит продукції. Після цього послідовно виконуються відправка накопичених даних на виробництво для проведення аналізу, прийом товару, який було відвантажено та доставлено на поточному такті, та його складська переробка, відвантаження товару клієнтам. Потім алгоритм повертається до блоку "Збір даних".

4. Агенти-засоби доставки за наказом агента-виробництва доставляють розраховану кількість товару, після чого безумовно повертаються до агента-виробництва. Фактично, окрім отримання від нього нарядів на доставку, вони не контактують на високому рівні з навколишнім середовищем та не виконують перевірок (на низькому рівні вони, звісно, оцінюють свій стан, можливість руху у заданому напрямку, чи досягнуто цільовий склад/виробництво, тощо, але такі елементарні операції властиві усім агентам незалежно від специфіки функцій, які вони виконують, і тому не становлять інтересу з точки зору управління запасами).

Тут під високим рівнем розуміються функції агентів, які властиві їм як елементам ланцюга постачань, а під низьким — ті, які властиві усім інтелектуальним агентам взагалі.

Первинна модель динаміки запасів (ПМДЗ). Вона є першим варіантом програмної реалізації КСДЗ і побудована у середовищі розробки мультиагентних систем NetLogo.

Базові припущення моделювання, що закладено у концептуальній схемі (КСДЗ) уточнено наступним чином.

1. Загальні припущення. Є один виробник продукції, від одного до тридцяти п'яти регіональних складів. Кількість товару, що виробляється за один такт, регулюється користувачем. Модель є однопродуктовою.

2. Склади. У ПМДЗ аналізом та прогнозуванням попиту займаються агенти-склади. Місткість складів обмежена. Користувачем задається період аналізу (один такт, сім тактів чи тридцять тактів — день, тиждень чи місяць). Після досягнення кінця періоду кожен склад будує прогноз попиту на базі накопиченої за період суми попиту за методом Хольта [2]. Цей метод був обраний з двох причин.

По-перше, він адаптивний та може коректно прогнозувати часовий ряд із трендом. По-друге, для побудови наступної ітерації достатньо знання параметрів, поточного спостереження та результату однієї попередньої ітерації. Параметри методу Хольта задаються користувачем. Кількість періодів прогнозування залежить від відстані до заводу-виробника та швидкості агентів-вантажівок.

За результатами прогнозу, наявними залишками та товаром, що знаходиться у дорозі, розраховується потреба кожного складу в товарі за наступною формулою:

$$\max \left[0; (E + T * \frac{D}{7} - Q - OW + Def) * b \right] \quad (1),$$

де E, T, — компоненти прогнозу за методом Хольта, D — відстань до складу, Q — залишок товару на складі на момент замовлення, OW — товар в дорозі, Def — дефіцит, який згладжено за методом експоненційного згладжування (по тижнях), b — коефіцієнт страхового запасу.

Страховий запас розраховується як доля від основної частини замовлення (з урахуванням товару у дорозі та наявного запасу) [6, с. 300—309]. Доля задається користувачем. Після розрахунку страхового запасу він додається до основної частини. Результат порівнюється з місткістю складу. Якщо він перевищує її, то на виробництво передається замовлення у розмірі макси-

Таблиця 2. Взаємозв'язок між середньою відстанню до складу та дефіцитом і сукупним запасом системи у моделі ПМДЗ

| Кількість складів | Середня відстань | Квадрат середньої відстані | Залишок | Товар на колесах | Дефіцит | Сукупний запас системи |
|-------------------|------------------|----------------------------|----------|------------------|---------|------------------------|
| 8 | 27.56 | 759.60 | 961.63 | 845.88 | 35.25 | 1 772.27 |
| 8 | 28.03 | 785.76 | 1 002.45 | 877.11 | 37.63 | 1 841.94 |
| 8 | 27.20 | 740.05 | 1 033.81 | 859.60 | 33.13 | 1 860.28 |
| 8 | 20.22 | 408.71 | 924.80 | 676.66 | 41.99 | 1 559.47 |
| 8 | 26.61 | 708.13 | 878.12 | 810.14 | 36.72 | 1 651.55 |
| 4 | 27.65 | 764.34 | 653.78 | 756.00 | 53.71 | 1 356.08 |
| 4 | 26.11 | 681.51 | 525.92 | 756.95 | 48.31 | 1 234.57 |
| 4 | 20.50 | 420.14 | 494.06 | 586.53 | 43.50 | 1 037.09 |
| 4 | 23.01 | 529.36 | 516.36 | 651.60 | 46.81 | 1 121.15 |
| 4 | 20.25 | 410.09 | 440.73 | 576.49 | 45.92 | 971.30 |
| 2 | 26.80 | 718.50 | 256.60 | 606.26 | 62.76 | 800.10 |
| 2 | 14.98 | 224.53 | 244.79 | 380.90 | 52.79 | 572.90 |
| 2 | 33.68 | 1 134.49 | 278.49 | 788.24 | 66.89 | 999.84 |
| 2 | 20.95 | 438.70 | 238.74 | 520.89 | 58.07 | 701.56 |
| 2 | 27.38 | 749.94 | 261.56 | 639.70 | 57.99 | 843.28 |

мальної місткості складу, інакше замовлення передається без змін. Від'ємне замовлення не передається.

3. Клієнти. Агенти-клієнти створюються на кожному такті моделі. Появлення кожного агента є незалежною випадковою величиною з рівномірним розподілом. Імовірність появлення та кількість агентів, які можуть з'явитися за один такт, задаються користувачем. Під час створення агент-клієнт має деякий нормально розподілений попит, параметри якого також задаються вручну. Вважається, що клієнти дотримуються раціональності у своїй поведінці [3, с. 207].

В момент появи у "світі" моделі агент-клієнт орієнтується на найближчий склад та з наступного такту прямує до нього з постійною швидкістю (швидкість задається у кодї моделі і не має відповідного візуального елементу управління). Якщо агент-клієнт наближується до складу на відстань, яка менша за відстань, що він проходить за один такт, йому надається статус "наближається". Це робиться для того, щоб агент не "перескочив" пункт призначення. Тобто, якщо на наступному кроці агент-клієнт вже має статус "наближається", то вва-

жається, що він досяг складу та спробував придбати товар. Мова йдеться про спробу, бо у будь-якому випадку клієнт зникає з системи. Якщо його попит менший за наявний запас складу, то запас складу зменшується на величину попиту клієнта. Якщо попит агента-клієнта більший за товарний запас складу, то запас (якщо він є) списується повністю, а дефіцит збільшується на різницю між попитом та запасом до списання.

4. Вантажівки. Агенти-вантажівки створюються агентом-виробником безпосередньо під час отримання замовлень від складів. Місткість вантажівки задається користувачем. Якщо замовлення більше за місткість, то вантажівки створюються до того моменту, поки все замовлення не буде розміщено. На наступному після створення такті вантажівки вирушають до цільового складу. Алгоритм "наближення" реалізовано так само, як і у агентів-клієнтів. Після досягнення складу вантажівка намагається розвантажитися. Якщо вільне місце у складі більше за вантаж, то запас складу збільшується на величину вантажу, інакше запас складу збільшується до максимального значення, а решта то-

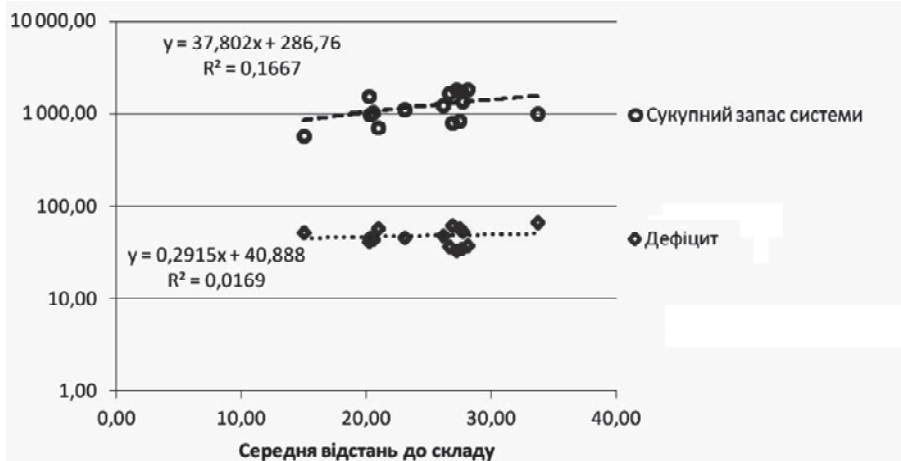


Рис. 5. Взаємозв'язок між середньою відстанню до складу та дефіцитом і сукупним запасом системи (логарифмічна шкала)

вару зникає (вважається, що, не маючи задовільних умов зберігання, товар псується). У будь-якому випадку агент-вантажівка залишає систему. З точки зору припущень моделі це означає, що виробник має практично необмежені можливості з доставки товару, що не відповідає дійсності, але приймається як теоретично можлива ситуація.

5. Виробник. Функцією агента-виробника (виробництва) є виробництво продукції, формування та відправлення замовлень на склади. Усі замовлення складів обробляються та відправляються у повному обсязі.

Важливими показниками ефективності управління запасами є дефіцит та сукупний запас товару в розподільчій системі, до якого в моделі було включено страховий запас на складах та товар "на колесах" (у вантажівках).

Модель ПМЗД орієнтована на оцінку дефіциту розподільчої системи та окремих складів в залежності від параметрів системи та оптимізацію параметрів алгоритму прогнозування попиту з метою мінімізації дефіциту в системі, зокрема, з її допомогою було досліджено питання щодо залежності дефіциту від відстані до складів та їх кількості.

На основі імітаційних експериментів було встановлено, що дефіцит та сукупний запас системи майже не залежать від середньої відстані до складів (рис. 5), дані для розрахунку наведено у таблиці 2.

Це означає, що за умови сталого режиму роботи (тобто коли кількість складів є незмінною протягом тривалого часу, а ринок не спіткають значні коливання) збільшення запасів на віддалених складах не є доцільним з точки зору мінімізації дефіциту та сукупного запасу системи. Підкреслимо, що в реальній логістичній практиці менеджери прагнуть збільшити запаси на більш віддалених складах з метою уникнення дефіциту.

Модель ПМДЗ передбачає прогнозування попиту за допомогою моделі Хольта, яка є адекватним інструментом прогнозування в умовах досить стійких трендів, що досить часто не спостерігається в реальній практиці. З урахуванням нестаціонарності поведінки споживачів виникає необхідність розробки моделі динаміки запасів підприємства, яка б реалізовувала механізм вибору методу прогнозування, найбільш адекватного для конкретного набору даних. Такою моделлю стала розширена модель динаміки запасів (РМДЗ), яка була створена для вибору оптимальних методів прогнозування попиту в умовах нестаціонарного зовнішнього середовища.

ВИСНОВКИ З ПРОВЕДЕНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

За результатами проведених експериментів з ПМДЗ було встановлено, що за умов дотримання припущень моделі дефіцит та сукупний запас системи майже не залежать від середньої відстані до складів. Це означає, що за умови сталого режиму роботи збільшення запасів на більш віддалених складах не є доцільним з точки зору мінімізації дефіциту та сукупного запасу системи, хоча у реальній логістичній практиці спостерігається тенденція до збільшення запасів на віддалених складах.

Модель РМДЗ є достатньо гнучкою для проведення досліджень ланцюга постачань у різних напрямках, якщо конфігурація ланцюга, який досліджують, має вигляд: "виробник (або група виробників, яка для цілей моделювання може бути представлена як один мета-виробник)" — "віддалені склади" — "кінцеві споживачі (до них також можна віднести ланки, які торгують дрібним оптом та вроздріб)".

Література:

1. Ковальчук К.Ф. Интеллектуальная поддержка принятия экономических решений: монография / К.Ф. Ковальчук; отв. ред. О.П. Сулов. — Донецк: НЭП НАН Украины, 1996. — 224 с.

2. Прогноз по методу експоненціального сглаживания Хольта [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.4analytics.ru/prognozirovanie/prognoz-po-metodu-eksponencialnogo-sglajivaniya-xolta.html>

3. Рыжиков Ю.И. Управление запасами / Ю.И. Рыжиков. — М.: Наука, 1969. — 344 с.

4. Высочина О.С. Сравнительный анализ систем имитационного моделирования для решения задачи оптимизации производственных процессов на предприятии / О.С. Высочина, В.Н. Данич, М.К. Дёмин, Д.А. Булавин // Вестник Восточноукр. национ. ун-та им. В. Даля. — Луганск: Изд. ВНУ им. В. Даля, 2012. — № 8 (179), ч. 1. — С 158—163.

5. Иванов А. Агенты и мультиагентные системы. Агентные платформы: Кто в лес, кто по дрова [Електронний ресурс] / А. Иванов. — Режим доступу: <http://aivanoff.blogspot.com/2007/12/blog-post.html>

6. Лагоцький Т.Я. Прийняття оптимальних рішень в управлінні запасами торговельних підприємств / Т.Я. Лагоцький // Соціально-економічні дослідження в перехідний період. Моніторинг соціально-економічного розвитку регіону: методологічні підходи (Збірн. наук. пр.). Випуск 3 (53). — Львів, 2005. — С. 465.

References:

1. Koval'chuk, K.F. (1996), *Intellectual'naja podderzhka prinjatija jekonomicheskikh reshenij* [Intellectual support of economic decision-making], NJeP NAN Ukrainy, Doneck, Ukraine.

2. Baturin, A. (2015), "Forecast for the method of exponential smoothing Holt", available at: <http://www.4analytics.ru/prognozirovanie/prognoz-po-metodu-eksponencialnogo-sglajivaniya-xolta.html> (Accessed 20 Dec 2015).

3. Ryzhikov, Ju.I. (1969), *Upravlenie zapasami* [Management of stocks], Nauka, Moscow, Russia.

4. Vysochina, O.S. (2012), "Comparative analysis of simulation for solving the optimization of production processes in the industrial plant", *Vestnik Vostochnoukr. nacion. un-ta im. V. Dalja*, vol. 8, no. 179, pp. 158—163.

5. Ivanov, A. (2014), "Agents and multi-agent systems. Agent platforms: Who in the woods, who for firewood", available at: <http://aivanoff.blogspot.com/2007/12/blog-post.html> (Accessed 20 Dec 2015).

6. Lahots'kyj, T.Ya. (2005), "Better decisions in managing the stocks of trading companies", *Sotsial'no-ekonomichni doslidzhennia v perekhidnyj period. Monitorynh sotsial'no-ekonomichnoho rozvytku rehionu: metodolohichni pidkhody*, vol. 3, no. 53, p. 465.

Стаття надійшла до редакції 28.12.2015 р.