

# КЛІТИННО-АВТОМАТНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ОБСЯГІВ ПРОДАЖІВ ТОРГІВЕЛЬНОГО ПІДПРИЄМСТВА

ЖИХАРЕВИЧ В. В., МАЦЮК Н. О.

УДК 330.46

## Жихаревич В. В., Мацюк Н. О. Клітинно-автоматне моделювання динаміки обсягів продажів торговельного підприємства

У статті обґрунтовано доцільність використання багатоагентного імітаційного моделювання у дослідженні динаміки складних економічних систем. Продемонстровано принципову можливість використання клітинних автоматів у побудові імітаційних економічних моделей, зокрема моделей поведінки споживачів. Розроблено імітаційну модель, яка може бути в подальшому ускладнена для більш глибокого аналізу досліджуваного явища.

**Ключові слова:** багатоагентне моделювання, імітаційне моделювання, імітаційна модель, клітинні автомати, клітинно-автоматна модель, моделювання складних систем.

**Рис.:** 4. **Формул:** 3. **Бібл.:** 9.

**Жихаревич Володимир Вікторович** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних систем, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (вул. Фрунзе, 21, Харків, 61002, Україна)

**E-mail:** vzhikhar@mail.ru

**Мацюк Наталія Олександрівна** – асистент, кафедра економіки підприємства, Буковинський державний фінансово-економічний університет (вул. Манфреда Штерна, 1, Чернівці, 58000, Україна)

**E-mail:** chernova\_n@i.ua

УДК 330.46

UDC 330.46

## Жихаревич В. В., Мацюк Н. А. Клеточно-автоматное моделирование динамики объемов продаж торгового предприятия

В статье обоснована целесообразность использования многоагентного имитационного моделирования в исследовании динамики сложных экономических систем. Продемонстрирована принципиальная возможность использования клеточных автоматов в построении имитационных экономических моделей, в частности моделей поведения потребителей. Разработана имитационная модель, которая может быть в дальнейшем усложнена для более глубокого анализа исследуемого явления.

**Ключевые слова:** многоагентное моделирование, имитационное моделирование, имитационная модель, клеточные автоматы, клеточно-автоматная модель, моделирование сложных систем.

**Рис.:** 4. **Формул:** 3. **Библ.:** 9.

**Жихаревич Владимир Викторович** – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры информационных систем, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт» (ул. Фрунзе, 21, Харьков, 61002, Украина)

**E-mail:** vzhikhar@mail.ru

**Мацюк Наталья Александровна** – ассистент, кафедра экономики предприятия, Буковинский государственный финансово-экономический университет (ул. Манфреда Штерна, 1, Черновцы, 58000, Украина)

**E-mail:** chernova\_n@i.ua

## Zhikharevich V. V., Matsyuk N. A. Cellular Automata Modelling of Dynamics of Volumes of Sales of a Trade Company

The article substantiates expediency of use of the multi-agent simulation modelling in the study of dynamics of complex economic systems. It shows a possibility to use cellular automata in construction of simulation economic models, particularly models of consumers' behaviour, in principle. It describes a simulation model, which could be sophisticated further for deeper analysis of a studied phenomenon.

**Key words:** multi-agent modelling, simulation modelling, simulation model, cellular automata, cellular automata model, complex systems modelling.

**Pic.:** 4. **Formulae:** 3. **Bibl.:** 9.

**Zhikharevich Vladimir V.** – Candidate of Sciences (Physics and Mathematics), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Systems, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» (vul. Frunze, 21, Kharkiv, 61002, Ukraine)

**E-mail:** vzhikhar@mail.ru

**Matsyuk Nataliya A.** – Assistant, Department of Economy of Enterprise, Bukovina State Finance and Economics University (vul. Manfreda Shterna, 1, Chernivtsi, 58000, Ukraine)

**E-mail:** chernova\_n@i.ua

Успіх будь-якого підприємства, що працює на комерційній основі, напряму залежить від ситуації, що склалася на ринку щодо товарів, які пропонує дане підприємство. Відомо, що на поведінку споживачів впливає безліч факторів, починаючи з їхніх характерологічних особливостей, індивідуальних переваг, соціально-культурних детермінант і психологічних чинників, закінчуючи міжособистісним впливом оточення споживача та поточною ситуацією, в якій споживач опинився. Таким чином, для збільшення продажів та, відповідно, своєї частки на ринку підприємству необхідно не лише об'єктивно оцінювати властивості, переваги та недоліки власної продукції порівняно з продукцією конкурентів, а й розуміти особливості психології конкретного споживача та соціології груп споживачів.

Оскільки дослідження поведінки споживачів в реальних умовах пов'язане із великими витратами, набуває особливого значення питання побудови імітаційної моделі, яка не лише спроможна відбивати більшість властивостей складних систем, а й є керованою, тому експерименти можна повторювати безліч разів і вимірювати їхню ефективність в будь-який момент часу.

Більшість існуючих мікроекономічних моделей теорії споживання розглядають споживача як раціональну одиницю, яка приймає рішення незалежно від поведінки її оточення, у той час, як підходи до даного питання з точки зору маркетингу є орієнтованими на споживача і здебільшого вивчають вплив індивідуальних особливостей конкретного споживача та зовнішніх факторів на прийняття ним рішення щодо придбання того чи іншого

товару. Враховуючи те, що для економічних систем характерною є велика кількість нелінійних взаємодій між членами, неможливо вивчити поведінку системи, досліджуючи лише окремих її індивідів. Це зумовлює доцільність використання багатоагентного імітаційного моделювання при вивченні складних економічних систем.

У даній роботі основним завданням було розроблення такої моделі, яка б описувала поведінку споживача на ринку, враховуючи вплив на нього психологічних та інших факторів, а також особливості взаємодії споживачів між собою. Як інструмент було використано асинхронний клітинний автомат, який на основі нескладних правил імітує еволюцію споживчого ринку та дозволяє отримати прогноз його стану на майбутній момент часу, що є однією з актуальних задач будь-якого комерційного підприємства. Аналіз методів прогнозування обсягів продажів торговельного підприємства та дослідження їх ефективності було проведено раніше в [1].

Незважаючи на те, що клітинні автомати володіють низкою переваг, а саме дають змогу візуально репрезентувати дискретні процеси розвитку систем будь-якої природи, джерел, в яких такий підхід використовується для дослідження складних споживчих систем, не так багато. Зокрема, у статті [2] наведено аналіз застосування клітинних автоматів у моделюванні взаємодії між споживачами, враховуючи комплекс економічних та психологічних чинників їхньої поведінки. У роботах [3, 4, 5] досліджені моделі розповсюдження нових товарів, використовуючи клітинні автомати в процесі прийняття рішень споживачами. У роботі [6] за допомогою клітинних автоматів описано механізм навчання споживачів під час здійснення ними покупок та наведено порівняння ринків нових товарів і поведінки споживачів різних сегментів ринку Китаю та США.

Представлені та інші літературні джерела з даної тематики дозволяють зробити висновок про те, що клітинні автомати знаходять застосування не лише у вирішенні проблем фізики [7], біології [8], екології [9], але й є корисними при дослідженні питань економіки, хоча ця сфера розвинута на теперішній момент часу досить обмежено, особливо у вітчизняних наукових працях.

У нашій роботі ми ставили за мету продемонструвати принципову можливість використання клітинних автоматів у побудові імітаційних економічних моделей, зокрема моделей поведінки споживачів, на основі даних про обсяги продажів продукції кондитерської компанії «Roshen» в Чернівецькій області.

Клітинно-автоматне моделювання динаміки продажів продукції торговельної фірми полягає в організації відповідного імітаційного експерименту.

Розглянемо елементарну систему (ринок), яка передбачає деякий притік, з одного боку, товару, а з іншого – покупців, що мають відповідний фінансовий ресурс для здійснення операції купівлі товару. Покупці, здійснюючи купівлю товару, зменшують свою платоспроможність. Таким чином, операція купівлі товару аналогічна видаленню з ринку товару разом із покупцем.

Описану ситуацію можна представити у вигляді системи взаємодіючих клітинних автоматів. Для наочності

розглянемо двомірне клітинно-автоматне поле (рис. 1), що містить два шари (шар покупців і шар товару). Хоча розмірність поля, у нашому випадку, може бути довільною, ми обрали саме двомірне представлення, що в перспективі може виявитися корисним при моделюванні реальної ринкової ситуації, яка враховуватиме просторове розміщення торговельних точок і потоків покупців. Крім того, можна розглянути поле, що містить один шар, але багат шаровий підхід щодо реалізації клітинно-автоматних полів є більш універсальним [9].

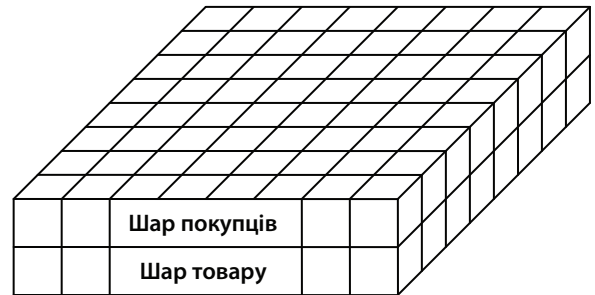


Рис. 1. Структура клітинно-автоматного поля

Вміст комірок поля може набувати булевих значень (0 – комірка порожня, 1 – комірка заповнена). Притік товару і покупців будемо моделювати шляхом імовірнісної появи 1 у довільній порожній комірці поля у відповідному шарі. Причому, опираючись на «розумну» поведінку будь-якого виробника, імовірності появи товарів та покупців на ринку приймемо рівними. Такий вибір зумовлено тим, що перевищення інтенсивності потоку товару над потоком покупців неминуче призведе до «кризи надвиробництва», а протилежна ситуація – до дефіциту товару. Таким чином, саморегуляція ринку обґрунтовує прийняте нами припущення щодо рівності потоків товарів та покупців.

Операцію взаємодії продавців і покупців на ринку також представимо імовірнісним чином. При цьому будемо обирати дві довільні клітини на полі, аналізувати їхній вміст на наявність товару чи покупця у відповідних шарах, та приймати рішення щодо здійснення операції купівлі. Як вже зазначалося, купівлю будемо моделювати видаленням з поля відповідного покупця та товарної одиниці, тобто їх «анігіляцією». Чим вища імовірність здійснення покупки, тим більша інтенсивність «анігіляції» та вище обсяги продажів. Правила взаємодій можна прийняти як локальні (взаємодіють лише сусідні клітини), так і дальні (взаємодіють будь-які довільні клітини поля), оскільки ми не аналізуємо просторову динаміку, а лише часову.

Таким чином, процес моделювання описаної ринкової системи зводиться до ітераційного циклу, що передбачає виконання таких типових кроків:

- ★ вибір довільної клітини на полі;
- ★ імовірнісне заповнення порожньої клітини товаром чи покупцем;
- ★ вибір двох довільних клітин на полі;
- ★ імовірнісна «анігіляція» при умові наявності товару та покупця.

Паралельно з цим ітераційним циклом клітинно-автоматних взаємодій ведеться підрахунок кількості цик-

лів, що використовується для визначення модельного часу системи, а також кількості здійснених операцій купівлі для визначення показників динаміки обсягів продажів.

Створена клітинно-автоматна модель була апробована на реальних показниках обсягів продажів філії «Roshen» в Чернівецькій області (рис. 2).

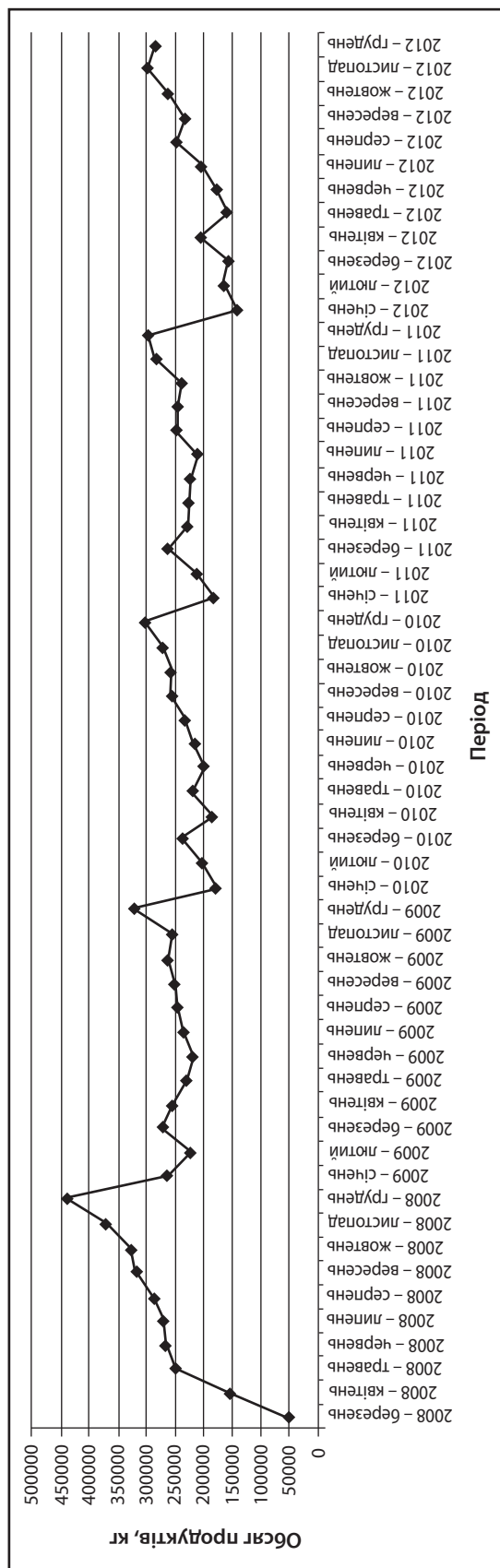


Рис. 2. Обсяги продажів філії «Roshen» в Чернівецькій області за період з березня 2008 р. по грудень 2012 р.

З рис. 2 видно, що динаміка продажів кондитерських виробів «Roshen» є нестационарною та має яскраво виражені періодичні піки, які припадають на грудень (Новорічні свята), а також менш виражені піки, що припадають на березень (Міжнародний жіночий день). Цілом очевидно, що це пов'язано із сезонним зростанням попиту на кондитерські вироби у ці часові проміжки. Крім того, якщо усереднити дані щодо обсягів продажів за весь період спостереження, окрім початкового стрімкого зростання, можна виділити лінійний спадаючий тренд. Така поведінка може бути пов'язана, наприклад, або зі зменшенням купівельної спроможності населення, або із впливом конкурентів (витіснення «Roshen» з ринку іншими кондитерськими підприємствами). Користуючись лише даними, наведеними на рис. 2, точних причин спадаючого тренду визначити неможливо. Початкове стрімке зростання обсягів продажів пов'язане із «переобліком», тобто введенням у ринок товару, за яким в подальшому буде вестися статистичне спостереження.

Усі відмічені характерні особливості динаміки обсягів продажів можна реалізувати у вигляді відповідних імовірнісних характеристик клітинно-автоматних взаємодій. Далі, спостерігаючи за поведінкою клітинно-автоматної моделі, можна налаштувати параметри взаємодій таким чином, щоб отримати узгодження між реальною та модельною динамікою (рис. 3).

Для реалізації клітинно-автоматної моделі динаміки обсягів продажів було обрано поле клітин розмірністю  $100 \times 100$ . Час однієї взаємодії прийнято рівним 0.001 доби. Початковий час – 60 діб, оскільки спостереження почалось з 1 березня 2008 року. Прийmemo, також, що при одній операції купівлі здійснюється придбання 1000 кг кондитерських виробів, оскільки в нашому випадку покупцями філії «Roshen» в Чернівецькій області є торговельно-роздрібні точки, а не індивідуальні споживачі.

Імовірність здійснення операції купівлі ( $P_1$ ) апроксимуємо суперпозицією сигмоїдальних функцій із врахуванням сезонної періодичності:

$$P_1 = 0.5 + 0.5(\sigma(0.05; 90; t_1) - \sigma(0.3; 120; t_1)) + 0.4(\sigma(0.3; 110; t_2) - \sigma(0.3; 120; t_2)), \quad (1)$$

де  $t_1 = (t + 110) \bmod 360$ ;  $t_2 = (t + 50) \bmod 360$  – часові змінні, які визначають розташування «ажіотажних піків» та мають властивість річної періодичності (рис. 4, верхня крива);  $t$  – модельний час системи, що при кожній клітинно-автоматній взаємодії збільшується на 0.001 та має початкове значення рівне 60;  $\sigma$  – сигмоїдальна або логістична функція:

$$\sigma(a; b; c) = 1 / (1 + \exp(a(b - c))). \quad (2)$$

Апроксимація саме цими функціями, які описують експоненціальне зростання із насиченням, на нашу думку, найбільше підходять для опису ажіотажної поведінки споживачів.

Імовірність заповнення порожніх клітин товаром чи покупцем ( $P_2$ ) апроксимуємо суперпозицією спадаючої експоненціальної функції, що описує початкове стрімке зростання обсягів товару на ринку, та функції, що описує лінійний спадаючий тренд (рис. 4, нижня крива):

$$P_2 = 0.01 \exp(-0.025(t - 60)) + 0.006(1 - (t - 60) / 4000). \quad (3)$$

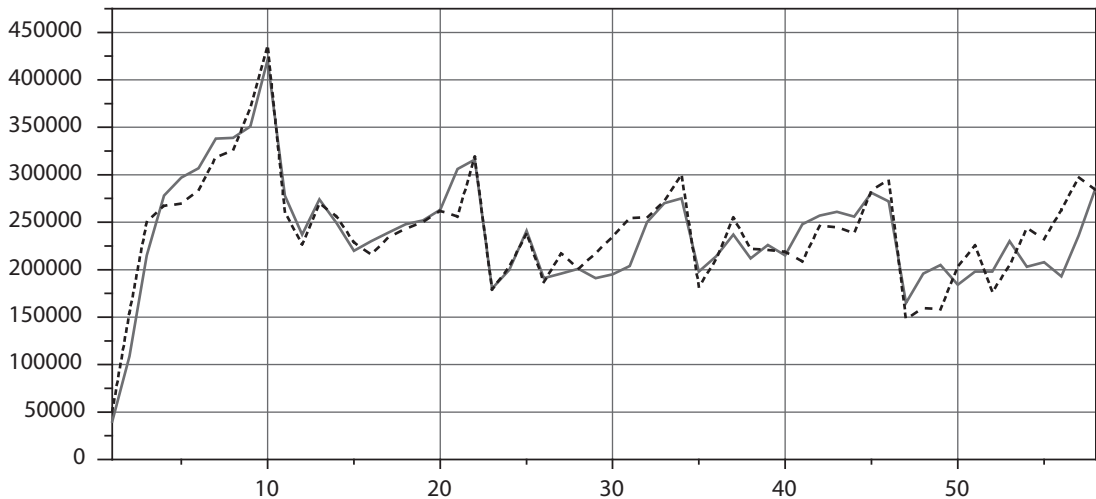


Рис. 3. Приклад моделювання динаміки обсягу продажів (червона крива) у порівнянні із реальним результатом (пунктирна крива)

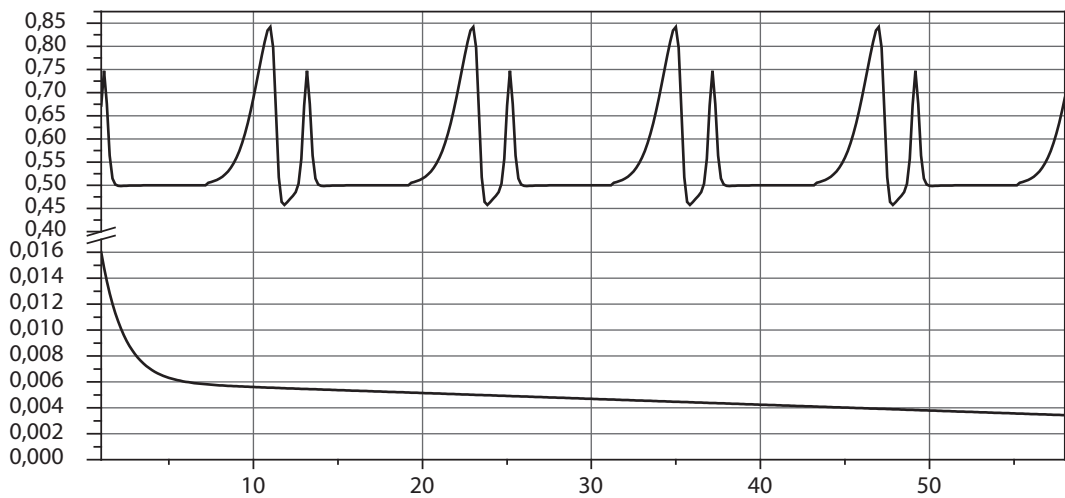


Рис. 4. Часова залежність імовірності здійснення купівлі (верхня крива) та імовірності заповнення порожніх клітин товаром чи покупцем (нижня крива)

Параметри функцій (1) і (3) підбрано із умов узгодження між реальною та модельною динамікою обсягів продажів на фоні випадкової складової.

#### ВИСНОВКИ

У даній роботі ми продемонстрували можливість застосування клітинних автоматів при дослідженні складних економічних систем. Нами була побудована досить проста імітаційна модель, яка може бути в подальшому ускладнена для більш глибокого аналізу досліджуваного явища. Отримані нами результати дозволяють зробити висновок про перспективність даного методу, виходячи з успішного врахування ним як зовнішніх, так і внутрішніх факторів, що впливають на поведінку споживачів, і завдяки цьому досить точному опису динаміки досліджуваної системи. Таким чином, цей інструмент є зручним у використанні і може бути успішно застосований при вивченні та аналізі складних економічних явищ. ■

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Лук'янова В. В. Порівняння методу нейронних мереж і методу декомпозиції часових рядів в прогнозуванні об-

сягів продажів торговельного підприємства / В. В. Лук'янова, Н. О. Мацюк // Науковий вісник Чернівецького університету. – 2012. – Випуск 623 – 626. Економіка. – С. 332 – 338.

2. Rouhaud Jean-Francois. Cellular automata and consumer behaviour / Jean-Francois Rouhaud // European Journal of Economic and Social Systems. – 2000. – № 1. – С. 37 – 52.

3. Mahajan V. New-Product Diffusion Models / V. Mahajan, E. Muller, F. M. Bass. In J. Eliashberg and G. L. Lilien, editors // Handbooks in Operations Research and Management Science. – 1993. – № 5. Marketing. – P. 349 – 408.

4. Goldenberg J. Using Complex Systems Analysis to Advance Marketing Theory Development / J. Goldenberg, B. Libai, E. Muller. // Academy of Marketing Science Review. Special issue on Emergent and Co-evolutionary Processes in Marketing. [Online]. – 2001. – № 1.

5. Goldenberg J. Marketing Percolation / J. Goldenberg, B. Libai, S. Solomon, N. Jan, D. Stauffer // Physica A. – 2000. – № 284. – P. 335 – 347.

6. Ma Fang. Research on Consumer Purchase Behavior Diffusion across Market Using Cellular Automata / Fang Ma, Gangling Chao, Lihua Chen, Yiping Luo // International Journal of Marketing Studies. – 2012. – Vol. 4. – № 5. – P. 108 – 118.

7. **Vichniac G.** Simulating physics with cellular automata / G. Vichniac // PHYSICA D. – 1984. – Vol. 10. – № 1-2. – P. 96 – 116.

8. **Ermentrout G. B.** Cellular automata approaches to biological modeling / G. B. Ermentrout, L. Edelstein-Keshet // Journal of Theoretical Biology. – 1993. – Vol. 160. – №1. – P. 97 – 133.

9. **Жихаревич В. В.** Моделирование процессов самоорганизации и эволюции систем методом непрерывных асинхронных клеточных автоматов / В. В. Жихаревич, С. Э. Остапов // Міжнародний науковий журнал «Комп'ютинг» – 2009. – Т. 8, Випуск 3. – С. 61 – 69.

УДК 519.87:338.43:635.008.1

## ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПЛОДОВООВОЧЕСХОВИЩ

КОНЦЕБА С. М.

УДК 519.87:338.43:635.008.1

### Концеба С. М. Економіко-математична модель оптимізації функціонування плодоовочесховищ

У статті запропоновано використання економіко-математичної моделі оптимального функціонування плодоовочесховищ у сільськогосподарських підприємствах за критерієм максимуму прибутку. Модель враховує використання потужностей ліній приймання та відвантаження плодів та овочів, наявних і залучених трудових ресурсів, інших виробничих ресурсів (тепло, електроенергія, тара тощо) і фінансових ресурсів, також введено додаткові обмеження. Для практичної реалізації моделі рекомендовано порядок розрахунку певних техніко-економічних коефіцієнтів. Розроблена економіко-математична модель функціонування плодоовочесховищ дає можливість оптимізувати такі показники: структуру плодоовочевої продукції на збереженні за її видами; розподіл капіталовкладень за основними напрямками, включаючи реконструкцію діючих потужностей і розширення наявних потужностей.

**Ключові слова:** плодоовочесховище, оптимізація, прибуток, модель.

**Формул:** 7. **Бібл.:** 11.

**Концеба Сергій Михайлович** – кандидат економічних наук, старший викладач, кафедра економічної кібернетики та інформаційних систем, Уманський національний університет садівництва (вул. Інститутська, 1, Умань, Черкаська обл., 20305, Україна)

**E-mail:** kontseba@meta.ua

УДК 519.87:338.43:635.008.1

### Концеба С. М. Экономико-математическая модель оптимизации функционирования плодоовощехранилищ

В статье предложено использование экономико-математической модели оптимального функционирования плодоовощехранилищ в сельскохозяйственных предприятиях по критерию максимума прибыли. Модель учитывает использование мощностей линий приема и отгрузки плодов и овощей, имеющихся и привлеченных трудовых ресурсов, других производственных ресурсов (тепло, электроэнергия, тара и т. д.) и финансовых ресурсов, также введены дополнительные ограничения. Для практической реализации модели рекомендуется порядок расчета определенных технико-экономических коэффициентов. Разработанная экономико-математическая модель функционирования плодоовощехранилищ дает возможность оптимизировать следующие показатели: структуру плодоовощной продукции на сохранении по ее видам, распределение капиталовложений по основным направлениям, включая реконструкцию действующих мощностей и расширение имеющихся мощностей.

**Ключевые слова:** плодоовощехранилище, оптимизация, прибыль, модель.

**Формул:** 7. **Библ.:** 11.

**Концеба Сергей Михайлович** – кандидат экономических наук, старший преподаватель, кафедра экономической кибернетики и информационных систем, Уманский национальный университет садоводства (ул. Институтская, 1, Умань, Черкасская обл., 20305, Украина)

**E-mail:** kontseba@meta.ua

UDC 519.87:338.43:635.008.1

### Kontseba S. M. Economic and mathematical model of optimisation of functioning of fruit and vegetable storages

The article offers use of economic and mathematical model of optimal functioning of fruit and vegetable storages in agricultural companies in accordance with the maximum profit criterion. The model takes into account use of fruit and vegetable infeed and shipment facilities, available and recruited labour resources, other production resources (heat, electric power, containers, etc.) and financial resources with introduction of additional restrictions. Algorithm of calculation of certain technical and economic ratios is recommended for practical realisation of the model. The proposed economic and mathematical model of fruit and vegetable storage functioning provides a possibility to optimise the following indicators: structure of stored fruit and vegetable products by types, distribution of investments by main directions including renovation of operating and expansion of existing facilities.

**Key words:** fruit and vegetable storage, optimisation, profit, model.

**Formulae:** 7. **Bibl.:** 11.

**Kontseba Sergey M.** – Candidate of Sciences (Economics), Senior Lecturer, Department of Economic Cybernetics and Information Systems, Uman National University of Horticulture (vul. Instyutyska, 1, Uman, Cherkaska obl., 20305, Ukraine)

**E-mail:** kontseba@meta.ua

Одним зі стримуючих чинників розвитку галузі плодоовочівництва є неефективність функціонування виробничої інфраструктури, зокрема низький рівень ефективності функціонування плодоовочесховищ. Використання методів моделювання в аналітичному дослідженні господарської діяльності підприємств та їх структурних підрозділів є однією з передумов широкого застосування економіко-математичних моделей. Впровадження останніх сприяє розширенню

вивчення спектра факторів, що впливають на окремі аспекти діяльності суб'єктів господарювання, а отже, і визначенню можливих додаткових резервів підвищення ефективності виробництва та функціонування окремих підрозділів. На сучасному етапі економічного розвитку зростає потреба в оперативності прийняття управлінських рішень, у прогнозуванні варіантів можливих напрямків виробничої діяльності окремих структурних підрозділів підприємств. А це практично неможливо