

УДК 62.50:658.21

Є. П. Хомин; Т. М. Боровська, к. т. н., доц.; С. П. Бадьора, к. т. н.

## ОПТИМІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ РОЗПОДІЛЕНИМ ОБ'ЄКТОМ «ЛІНІЙКА ПРОДУКТІВ»

Побудовано систему робочих імітаційних моделей розподіленого об'єкта «лінійка продуктів», досліджено властивості динаміки і статички лінійки. Запропоновано й реалізовано методи локального і глобального управління лінійкою продуктів.

**Ключові слова:** розподілена система, виробник, продукт, споживач, робоча модель, імітаційне моделювання, лінійка продуктів, локальне управління, глобальне управління, стійкість.

**Постановка проблеми.** Об'єкт моделювання цієї роботи – водночас і масовий, і майже не досліджений. Знайдено чотири близьких аналози моделі лінійок продуктів. Однак це класичні, не адекватні реальності моделі. Система пошуку Google видає роботи авторів (рис. 1). За іншими ключовими словами наші роботи теж видаються у перших рейтингах: усі провідні модельєри (розробники, хто розробляє програми моделювання) працюють на умовах конфіденційності.

Результатов: примерно 133 000 (0,22 сек.) Результаты поиска

1. [МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИНЕЙКИ ПРОДУКТОВ - a knol by Taisa Borovska](#)  
10 сен 2010... Авторы Таиса Боровская, Евгений Хомин. Статья посвящена конструированию математических моделей линейки продуктов. Разработана...  
[knol.google.com/.../моделирование-линейки-продуктов - Сохраненная копия](#)
2. [УПРАВЛЕНИЕ ЛИНЕЙКОЙ ПРОДУКТОВ - a knol by Taisa Borovska](#)  
Не хотели бы повторять материал статьи «Моделирование линейки продуктов». В [knol.google.com/.../управление-линейкой-продуктов - Сохраненная копия](#)  
[Дополнительные результаты с сайта google.com](#)
3. [Средства моделирования \(CASE\) и поддержки всех стадий разработки...](#)  
14 апр 2005... линейка интегрированных средств моделирования (CASE). CASE-средства CA Technologies позволяют моделировать бизнес-процессы, базы данных,... [www.interface.ru/home.asp?artId=99 - Сохраненная копия](#)

Рис. 1. Результаты поиска аналогов, примеры линейок продуктов

**Визначення термінів.** У галузі моделювання лінійки продуктів ще не має усталеної стандартної термінології, подібної до термінології динаміки літальних апаратів, тому визначимося з необхідними термінами.

**Лінійка продуктів 1.** 90% документів у пошуку належать до класу «лінійка програмних продуктів». Це набори програмних продуктів для комплексного розв'язання деякої складної

задачі. Елементи лінійки – самостійні продукти, розраховані на сумісне використання. На побутовому рівні це можуть бути набори «все для борщу», «усе для першокласника».

**Лінійка продуктів 2.** Інші назви – продуктова лінійка, модельний ряд. Це набір продуктів одного цільового призначення, що відрізняються ціною і цінністю. Продукти одного цільового призначення і одного цінового інтервалу можуть утворювати невпорядковані лінійки за категоріями уподобань споживачів. Наприклад, мобільні телефони одного цінового діапазону можуть бути для школярів, для менеджерів, для аквалангістів, пенсіонерів.

**Робоча модель** – модель, яка записана в стандартах наукових публікацій і виконується в середовищі певного пакету моделювання.

**Технологія розробки нових моделей для нових завдань.** Згідно Форрестеру у якості початкової інформації для побудови моделі збираємо розсіяну описову текстову і візуальну інформацію. Під час процесу інтегрування виконуємо послідовно канонічні етапи створення моделі: лінгвістична модель, графова модель, робоча модель. При побудові моделі не використовуються моделі-апроксимації, конструюються моделі на базі вірогідних виявлених “породжуючих” механізмів. При цьому розробляється узагальнена параметризована модель певного класу об’єктів, яку можна налаштувати на відтворення конкретного об’єкту класу. Це не новація, а тільки застосування принципів об’єктного програмування.

**Формалізація задачі моделювання системи «виробники – продукти – споживачі».** Ми розглядаємо складну систему високої розмірності. Формально існують дві альтернативи побудови моделі такої системи: імітація поведінки кожного елемента системи: виробника, продукту, споживача; імітація поведінки цілісних систем: системи виробників, системи продуктів, системи споживачів. Фактично існує одна альтернатива – побудова системи з названих моделей. Звернемось до аналогій з фізики: воду і повітря можна моделювати на молекулярному рівні й на рівні хвиль. Відомо, що існує психофізика, фактично існує й технофізика, що описує закономірності функціонування і розвитку цілісних технічних систем.

**Мета цієї роботи** – створення робочої моделі для прогнозування й планування процесів у системі «лінійка продуктів – споживачі». Ця модель – елемент системи моделей класу «виробники – продукти – споживачі»: NМК-системи [1, 2]. Розділяємо задачу розробки моделі на дві: модель з імітацією кожного елемента розподіленої системи – NLMK-системи; модель з імітацією усіх виробничих елементів, продуктів лінійки й агрегованими споживачами: NLmRk-системи.

Необхідна умова ефективності імітаційних моделей – ще на початковій стадії змінні і параметри моделі сформулювати як структури, зручні для векторизації – розпаралелювання обчислень. Це відображено вже на рівні означень моделей:  $L_m$  – множина продуктів класу «лінійка продуктів»,  $R_k$  – розподіл споживачів за доходами.

**Завдання управління** системою: управління лінійкою продуктів на рівні «виробництво»; управління на рівні «ритейл»; управління на рівні «користувач».

**Словесна модель реальної системи.** Подаємо скорочені словесні моделі елементів.

**Споживач** характеризується доходом і схильністю до споживання, інформованістю – спроможністю розрізняти вироби різних виробників, знаннями про властивості продукту, наявністю власного досвіду використання продукту.

**Система споживачів** характеризується обсягом певного регіону (області тяжіння), розподілом споживачів за доходами, насиченістю попиту і пропозиції, залежністю ймовірностей вибору від рівня доходу, рейтингу продукту та «довжини і висоти полиці», структурою інформаційного обміну.

**Продукт** (марка) на ринку характеризується собівартістю, ціною, корисністю і якістю (цінністю), функцією пропозиції, моделлю споживання (користування) й наявністю «клубу споживачів».

**Система продуктів лінійки** характеризується часткою спільних складників і спільних технологій у продуктах лінійки, виробничими витратами, сертифікатом цінності продуктів певного класу, способами зміни цінності, темпами освоєння виробництва.

**Розробка робочих моделей.** Новизна моделі диктує процес розробки: створення, тестування і дослідження функціональних модулів, збирання з них часткових моделей, дослідження, на останньому кроці збирається повна модель і сервісні модулі для проведення обчислювальних експериментів. Повна система складається з двадцяти основних модулів. Наводимо два приклади центральних модулів: «лінійка продуктів» (рис. 2) та «загальна функція належності вибору споживача на лінійці продуктів» (рис. 3).

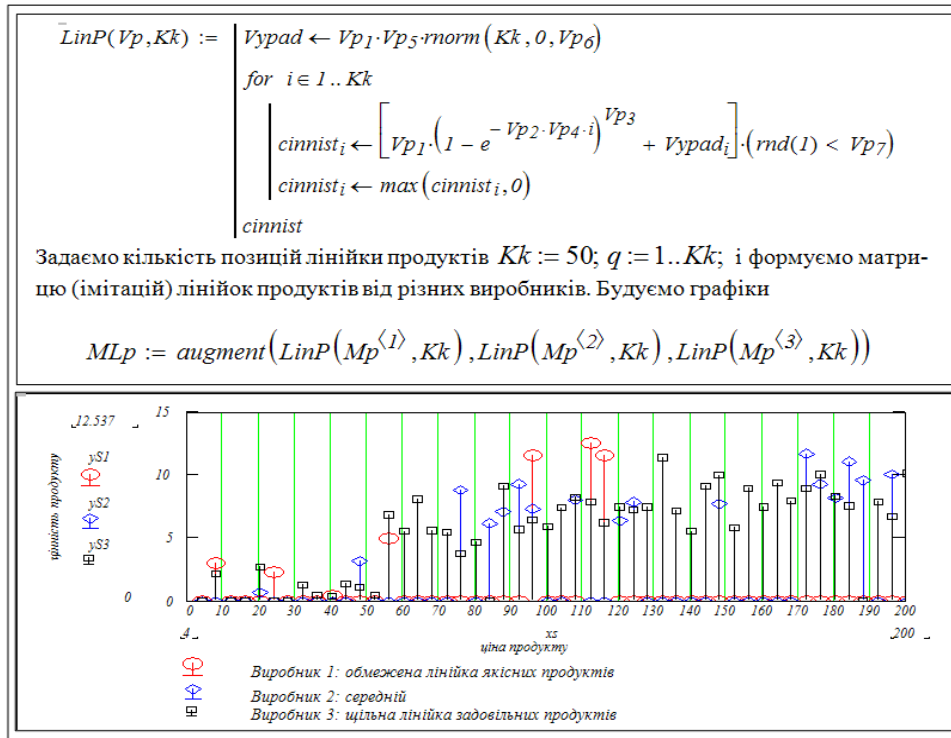


Рис. 2. Приклад робочої моделі «лінійка продуктів від декількох виробників»

Функція користувача  $LinP(Vp, Kk)$  генерує імітацію реальної лінійки для певного класу продуктів, вона бере вектор параметрів  $Vp$  та кількість цінних інтервалів  $Kk$ . Процес вибору споживача на лінійці продуктів принципово відрізняється від процесу вибору з продуктів однієї ціни й цінності [3, 4]. Цей досить складний для формалізації процес реалізований у низці модулів. На рис. 3 наведено підсумковий модуль, що бере такі параметри:

*лінійкаПродФільтрНормаліз(ф\_належн\_доходу, ф\_належн\_цінності, поріг, Кільк\_кроків, крок)*

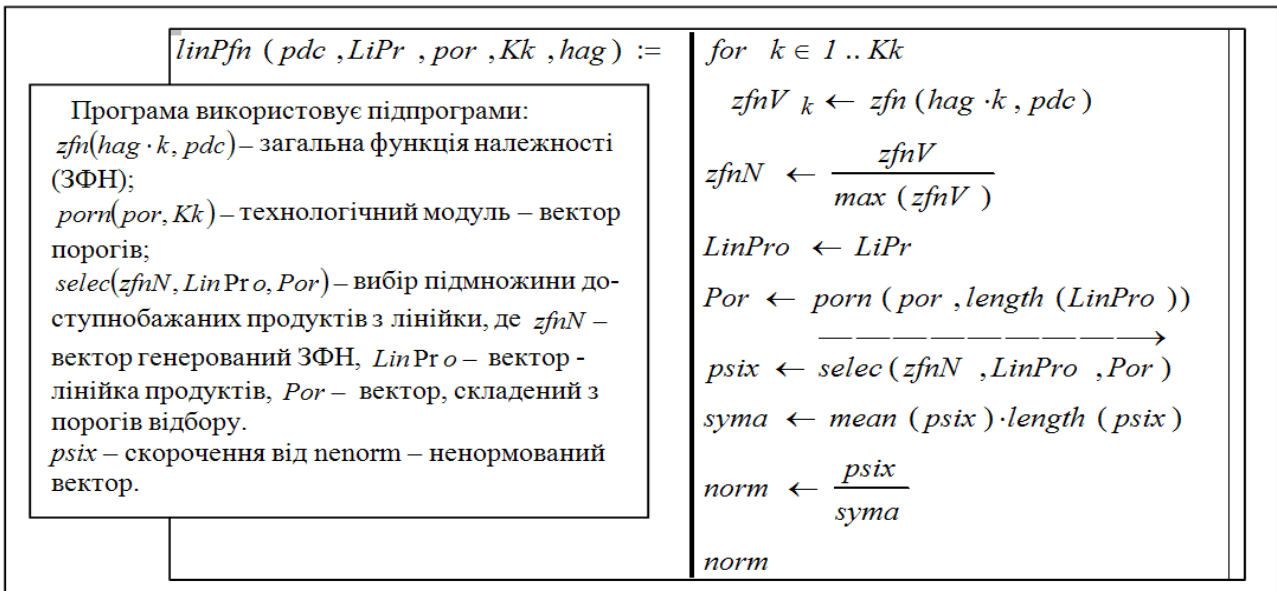


Рис. 3. Приклад робочої моделі «загальна функція належності» для вибору споживача

На базі розроблених моделей динаміки споживання й навчання користувачів розроблено дві альтернативні моделі некерованої системи і проведено відповідні дослідження (рис. 4, 5).

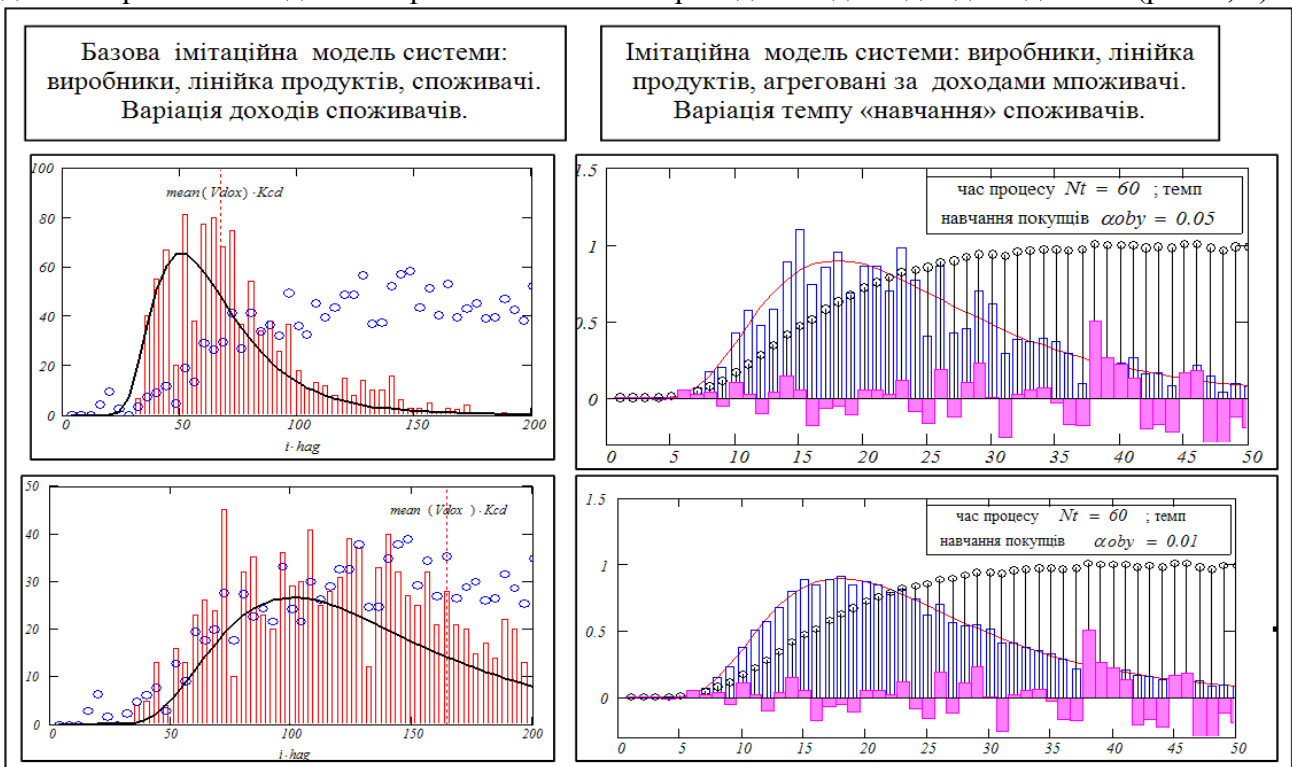


Рис. 4. Результати моделювання динаміки лінійки продуктів за альтернативними моделями

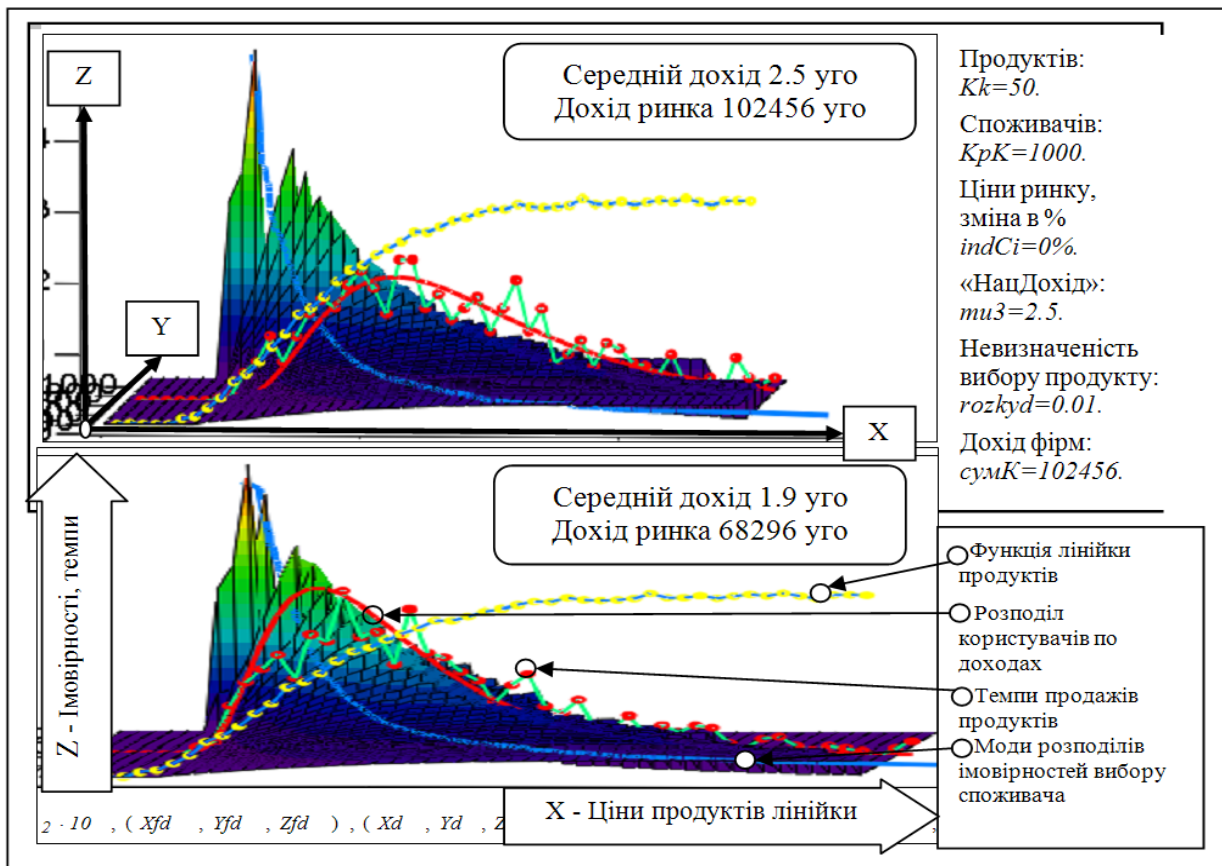


Рис. 5. Вплив середнього доходу на стан сегмента виробництва. Приклад

Аналогічно можна провести аналіз впливу зміни індексу цін. Робоча модель сформована як функція користувача від певних параметрів, тому нескладно обчислити залежність темпу доходів ринку від індексу цін. На рис. 6, 7 наведено приклади таких залежностей. У рамках розробленої моделі отримаємо такий результат: за низького рівня доходів споживачів загальне підвищення цін веде до падіння сумарного доходу ринку, за високого рівня доходів споживачів – до зростання сумарного доходу ринку.

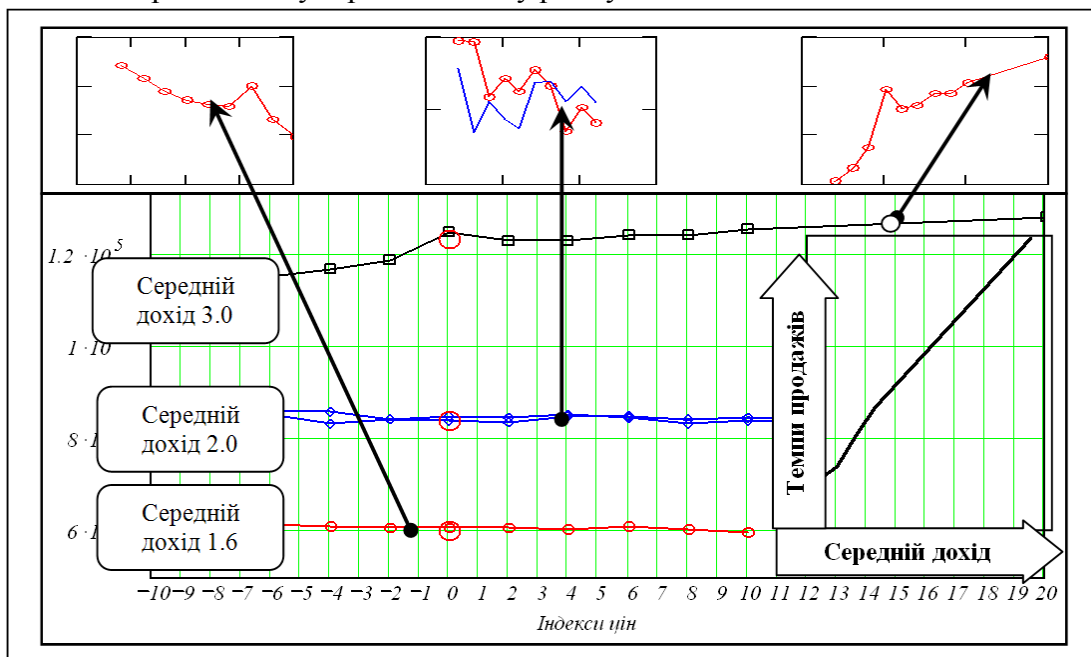


Рис. 6. Вплив зміни індексу цін лінійки за різних рівнів середнього доходу

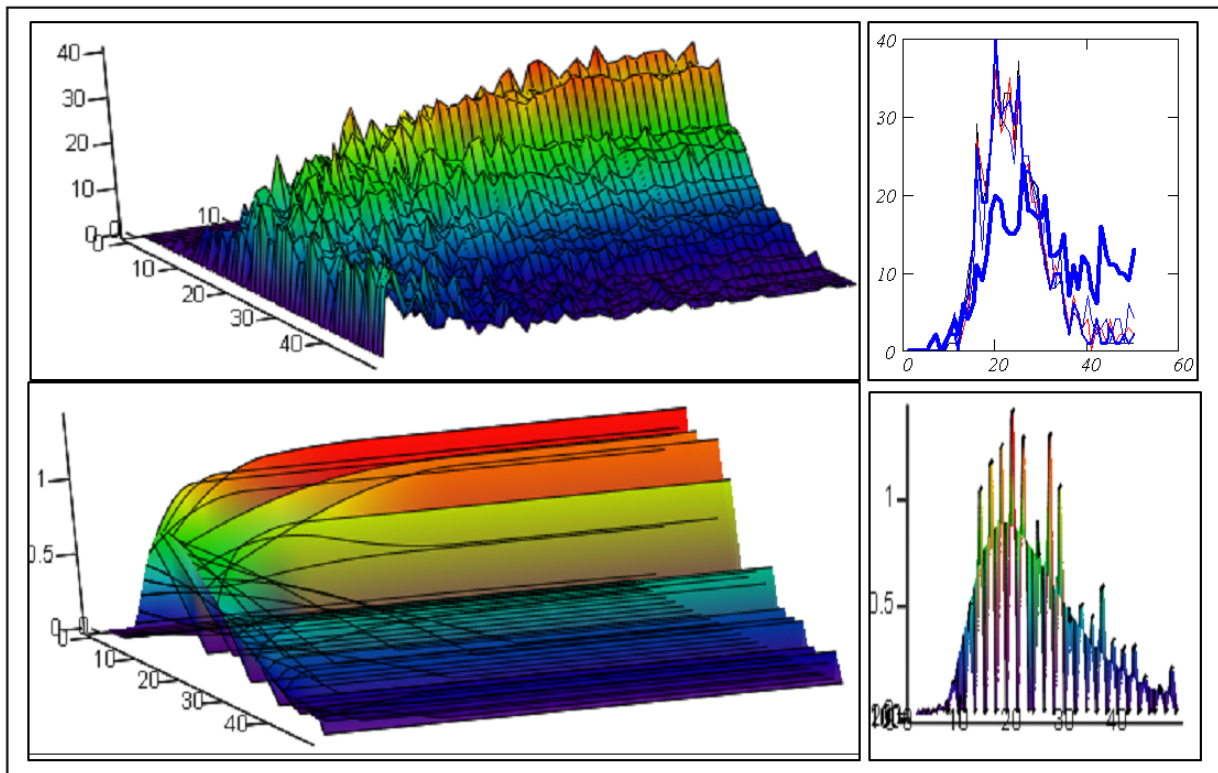


Рис. 7. Перехідні процеси в системі «лінійка продуктів» за альтернативними моделями

Спираючись на базові альтернативні моделі і результати їхнього тестування, виконаємо черговий крок конкретизації цілі цієї роботи – побудови агрегованої моделі системи «виробники – продуктова лінійка – користувачі». Вводимо змінні: «користувачі», «розподіл доходів», «лінійка продуктів», «цінність – ціна», змінну (вектор) «розподіл темпів постачання». Наша мета – отримати ефективний оператор, що відображає дві функції у функцію «розподіл темпів постачання продуктів лінійки»:

$$rtP(t) = Opo(VP(t), dDk(t)), \quad (1)$$

де  $rtP(t)$  – усталений частотний розподіл темпів постачання за цінами;  $VP(t)$  – цінності продуктів ранжирувані за цінами = «ціна – цінність», лінійка;  $dDk(t)$  – частотний розподіл споживачів по доходах.

Натуральні процеси встановлення темпів продажів інерційні. Припустимо, що існує  $rtPo$  – сталий стан розподілу. Розробляємо цій основі модель глобальної динаміки лінійки. Усталений стан:

$$rtPo = \lim_{t \rightarrow \infty} Opo(VP, dDk). \quad (2)$$

Динаміка руху до усталеного стану за відсутності збурень лінійки

$$rtP^{(t+1)} = rtP^{(t)} + Kg \cdot \left( \overline{rtP^{(t)} - rtPo} \right) \cdot \Delta t. \quad (3)$$

На рис. 8 наведено схему агрегованої моделі.

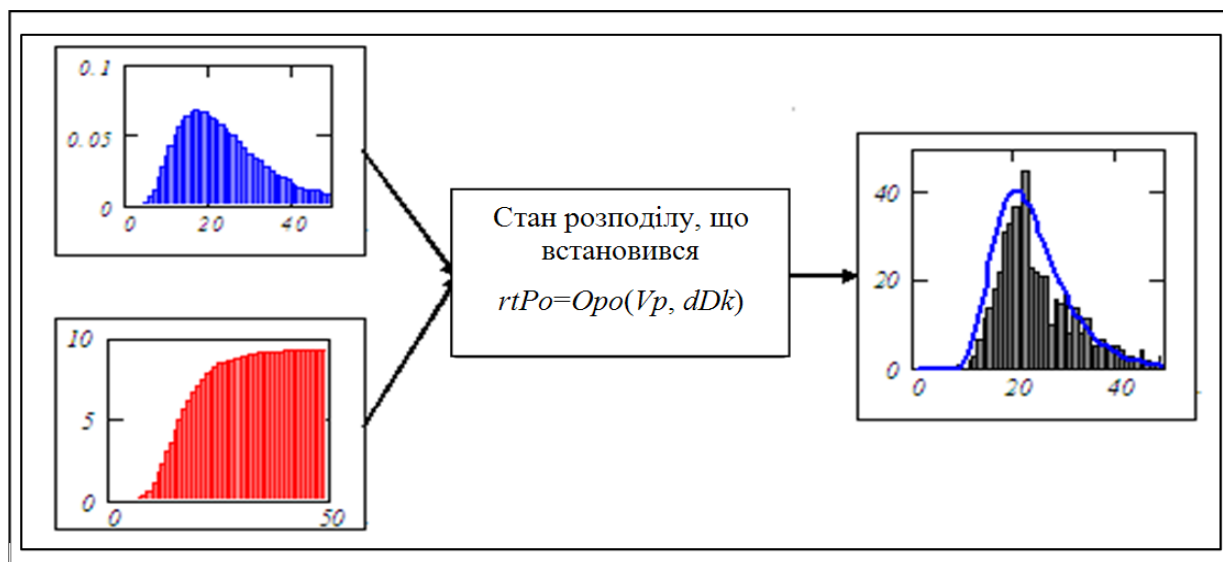


Рис. 8. Схема агрегованої моделі динаміки лінійки продуктів як перетворювача розподілів

Зазначимо, що в імітаційній моделі врахована випадковість вибору користувачів. На рис. 7 наведено ряд графіків – еволюція розподілу темпів постачання (перехідний процес). На рис. 8 наведено усталений стан і «спроєктовані причини» – розподіл користувачів за ресурсами і лінійка продуктів.

**Розробка моделей локальної динаміки лінійки продуктів.** Задаємо швидкість навчання  $\alpha oby = 0,09$ . Виконуємо перше наближення:

$$\begin{aligned} \text{обмін із сусіднім продуктом зліва :} & \quad \text{обмін із сусіднім продуктом справа :} \\ \Delta levo = rtP_{k-1,t} \cdot (VP_k - VP_{k-1}) \cdot \alpha oby; & \quad \Delta prav = rtP_{k+1,t} \cdot (VP_k - VP_{k+1}) \cdot \alpha oby; \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{результат обмінів :} \\ rtP_{k,t+1} = rtP_{k,t} + \Delta levo + \Delta prav. \end{aligned} \quad (5)$$

По суті управління продуктом, а саме – лінійкою, реалізується через зміну ціни  $dp_k$ , зміну цінності через «+50 грамів безкоштовно», нові можливості та ін., що відбивається в калькуляції приросту цінності  $dVP_k$ . Усі ці управління вимагають витрат, враховуємо це в моделі:

$$zVP_k = fzvp1(dVP_k) + fzvp2(dVP_k) \cdot rtP_{k,t}, \quad (6)$$

$$zp_k = dp_k \cdot rtP_{k,t}, \quad (7)$$

де постійні і змінні витрати на підвищення цінності продуктів лінійки дорівнюють зміні ціни, помноженої на темп постачання, вводимо відповідні функції витрат:  $fzvp1(dVP_k)$  – постійні і  $fzvp2(dVP_k)$  – змінні витрати.

Синтез управління може виконуватися за допомогою таких альтернатив: максимум очікуваного приросту потоку прибутку; вихід з «ями» між двома сусідніми домінуючими елементами, хоча б у рівноважну позицію або домінуючу позицію на лінійці.

Вводимо в модель імовірнісний і детермінований вибір споживача. На імовірнісний вибір можуть впливати і слабкі чинники, наприклад, розташування продукту: мала моторна техніка реалізується краще в придорожніх крамницях, якщо її виставити на узбіччі дороги. Для дрібних продуктів – електроприладів, комплектуючих – інтенсивність попиту залежить від «висоти, довжини полиці».

Детермінований вибір користувача по суті означає, що споживач запам'ятовує після єдиної проби продукт, який йому сподобався чи не сподобався, і потім «застрягає» на своєму

виборі. Перехід на новий продукт вимагає інтенсивного впливу інформаційних джерел, яким користувач повністю довіряє. Робимо модуль «локальний перерозподіл попиту», що бере період моделювання, функцію розподілу темпу постачання, функцію «лінійка продуктів», параметри процесу навчання користувачів і повертає процес перерозподілу темпів продажів протягом заданого періоду моделювання:

$$\text{LokDispr}=\text{Lok3}(\text{розпТемпПродажів, Лінійка, Навчання}).$$

В інтегрованій моделі відтворюється поведінка таких об'єктів, як: «система виробників», «система споживачів», «система продуктів». У класі «продукти» можна виділити різні за архітектурою системи продуктів (таксони), наприклад, «автомобілі й супутні продукти і послуги», «продуктова лінійка мобільних телефонів», «продуктова лінійка програм бізнес-аналітики», «кава й супутні продукти», «підручники з моделювання».

За рахунок детермінованих і імовірнісних взаємодій елементи утворюють цілісні об'єкти з досить стабільними властивостями. Ці властивості зазвичай формулюються в термінах деяких упорядкувань елементів, наприклад, рангових і частотних розподілів, одновимірних і багатовимірних.

**Пошук і випробування стратегій розвитку для окремого гравця.** Одна з особливостей розроблених моделей – можливість виділити певний елемент: продукт, виробника, споживача (кластера споживачів) – пошук для нього оптимальних стратегій в імітованому ринковому середовищі. Можна виділити двох виробників і промодельовати варіанти конкуренції і співробітництва. Можна реалізувати інші подібні сценарії. Обсяг статті не дозволяє досить повно розглянути результати моделювання для моделі «N виробників, M продуктів, K споживачів».

**Висновки.** Запропоновано методологію конструювання математичних моделей соціо-техніко-економічних систем і розроблено систему робочих моделей для таких систем. Створено зручну для модифікації імітаційну модульну модель системи «виробники, продукти, споживачі», що потенційно може бути настроєна на специфіку будь-яких продуктів, моделей споживання, «навчання» та технологій.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Нэгл Томас Т. Стратегия и тактика ценообразования. Руководство для принятия решений приносящих прибыль / Т. Томас Нэгл. – М.: «Питер», 2001. – 375 с.
2. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия (пер. с англ.) / Дж. Форрестер. – М.: Прогресс, 1971.– 340 с.
3. Боровська Т. М. Моделювання і оптимізація процесів розвитку виробничих систем з урахуванням використання зовнішніх ресурсів та ефектів освоєння: монографія / Т. М. Боровська, С. П. Бадьора, В. А. Северілов, П. В. Северілов; за заг. ред. Т. М. Боровської. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 255 с.
4. Васильська М. В. Дворівнева модель вибору споживачів на лінійці продуктів / М. В. Васильська, В. А. Северілов, С. П. Хомин // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2008. – № 6. – С. 35 – 40.

*Хомин Євген Петрович* – аспірант кафедри комп'ютерних систем управління.

*Боровська Таїса Миколаївна* – к. т. н., доцент кафедри комп'ютерних систем управління.  
Вінницький національний технічний університет.

*Бадьора Сергій Петрович* – к. т. н., провідний інженер, КСК «Автоматизація».