

Т. М. Боровська, канд. техн. наук, доц.;

Г. Ю. Дерман, асп.

## ОПТИМІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ ІННОВАЦІЙНИМ РОЗВИТКОМ ПРИ НЕВИЗНАЧЕНОСТЯХ

*Вибрано, обґрунтовано і реалізовано у вигляді комплексу програм систему оптимального управління процесами розвитку виробничих систем у випадку невизначеностей зовнішнього і внутрішнього середовищ. Елемент новизни — періодичні корекції стратегії розвитку.*

### Вступ

Високі технології, глобалізація, ефективні програмні засоби автоматизації, великі доступні ресурси створили потенційні можливості для ефективного управління процесами функціонування і розвитку виробничих систем, і, одночасно, створили ще більші «вузлові» труднощі. Існуючі автоматизовані системи не забезпечують задовільного стратегічного управління розвитком технологій і технологічних систем в умовах різноманітних за джерелами та властивостями невизначеностей. Першопричина такого стану — складність проблеми, що не дозволяє вирішити її одним ефективним методом типу «штучних нейронних мереж», «логіко-динамічних систем». Найбільш чітко усвідомлював ці проблеми Р. Беллман: «...требуется иерархическая лестница моделей возрастающей сложности. Каждая из этих моделей должна быть скроена так, чтобы удовлетворить требованиям, возникающим при исследовании многих новых типов многошаговых процессов принятия решений» [1]. В пошуках за темою статті видається півтора мільйони посилань. Недолік фундаментальних робіт — введення «математичних обмежень» — випуклості, неперервності похідних [2, 3]. Сучасні прикладні роботи — корисна словесна інформація, схеми, класифікації без побудови математичних моделей [4, 5]. Програмні продукти класу «аналітика, предиктори» дають тільки високий рівень комунікативного сервісу: після прийняття рішення генерують необхідну проектну документацію, узгодження, замовлення, створюють ефективні бази даних.

*Мета дослідження* — розробка відкритої до змін робочої моделі управління процесами інноваційного розвитку, що завжди пов'язаний з внутрішніми і зовнішніми невизначеностями. База розробки — метод оптимального агрегування, який не має обмежень по виду цільових функцій і обмежень, а обсяг обчислень зростає лише лінійно залежно від розмірності задачі, та модифікований метод принципу максимуму Понтрягіна [6, 7].

### Постановка і шляхи вирішення проблеми

Управління функціонуванням і розвитком виробничої системи відбувається за рахунок розподілу наявних ресурсів у просторі та часі між підсистемами, продуктами і технологіями. Поки однією зі складних проблем в оптимальному управлінні розвитком вважається проблема визначення моментів переходу від одних технологій і виробів до інших — потенційно ефективніших. У рамках запропонованих моделей цієї проблеми не існує: максимум функції Гамільтона для варіаційної задачі знаходиться методом безвідмовного прямого перебору для «еквівалентної оптимальної виробничої системи». Розв'язання задачі оптимального агрегування зведена до послідовності задач одномірної оптимізації, де також використовується метод прямого перебору [1, 2]. Додаткова причина використання методу прямого перебору — для управління в умовах невизначеності нам потрібна не одна точка максимуму, а вся цільова функція.

Сучасні виробничі системи функціонують в умовах різноманітної невизначеності зовнішнього оточення і невизначеності нових технологічних процесів. Сукупність цих факторів вимагає моделей не тільки адекватних реальності, але і можливого майбутнього. Необхідні вимоги до моделі: обчислювальна ефективність; раціональна, зручна для безперервних змін структура. Для моделювання процесів розвитку і модель повинна мати можливість розвиватися [3]. Можна сказати, що модель розвитку має бути параметризована так, щоб випереджати реальність — бути еталоном для реальної системи, інструментом пошуку «провальних», а також оптимальних варіантів розвитку.

На базі аналізу літературних джерел відібрано роботи з конструктивними методами побудови моделей і моделювання. У першу чергу це праці Р. Белмана, В. Глушкова, Дж. Форрестера, Я. Ципкіна, Р. Акоффа, Л. Понтрягіна, В. Опойцева, В. Буркова, М. Пешель.

### Вибір структури моделі

На рис. 1 показана система моделей процесу розвитку.

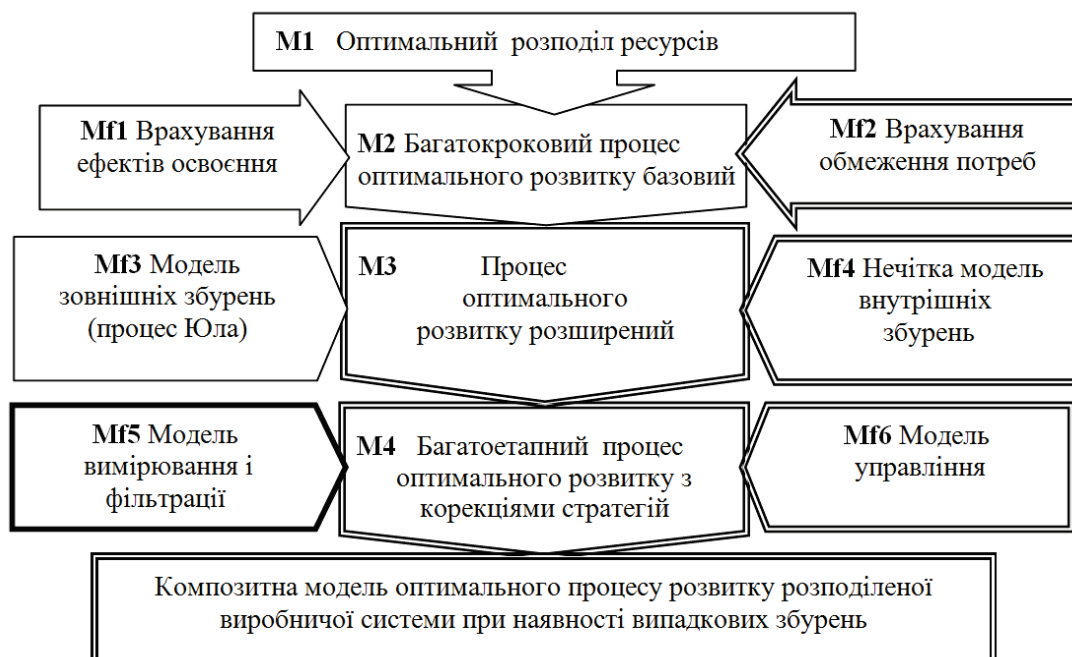


Рис. 1. Схема конструювання композитної моделі процесу розвитку

### Модель оптимізації для однокрокової задачі

Для компактного і цілісного подання моделі оптимального розподілу ресурсів збираємо основні результати в інформаційний блок (рис. 2). Метод повністю теоретично обґрунтований [2, 3]. Ця модель істотно відрізняється від аналогів і є ключовою для всієї розробки. Суть методу оптимального агрегування — заміна багатовимірної задачі нелінійного програмування послідовністю одновимірних задач оптимізації. Результат методу — еквівалентний оптимальний одновимірний виробничий елемент. Переваги методу оптимального агрегування як методу розв'язання задач нелінійного програмування у відсутності обмежень за видом цільових функцій і обмежень типу «безперервні похідні», «опуклість». Для оператора оптимального агрегування визначено обернений оператор — дезагрегування. Програмний модуль оптимального агрегування реалізує бінарний оператор (рис. 2), асоціативний і комутативний для об'єктів — дискретизованих виробничих функцій.

### Модель оптимізації для багатокрокової задачі

Дискретизований процес розвитку можна уявити як багатокроковий процес прийняття рішень, якій оптимізує деякий критерій — суму функцій стану динамічної системи на кожному кроці. Метод принципу максимуму Понтрягіна дозволяє замінити одну задачу знаходження екстремуму функції на послідовність задач знаходження максимуму функції Гамільтона на кожному кроці прийняття рішень. Для агрегованої моделі це функція однієї або двох змінних управління. На рис. 3 подано інформаційний блок моделі розвитку M2. На тривимірному графіку, складеному з функцій Гамільтона для кожного кроку моделювання процесу, накладена траєкторія максимумів функції Гамільтона. Вид зверху на цю поверхню (оптимальна стратегія) — пропорція розподілу ресурсів системи між накопиченням і розвитком. Оптимальна стратегія — складна, немонотонна, розривна функція часу.

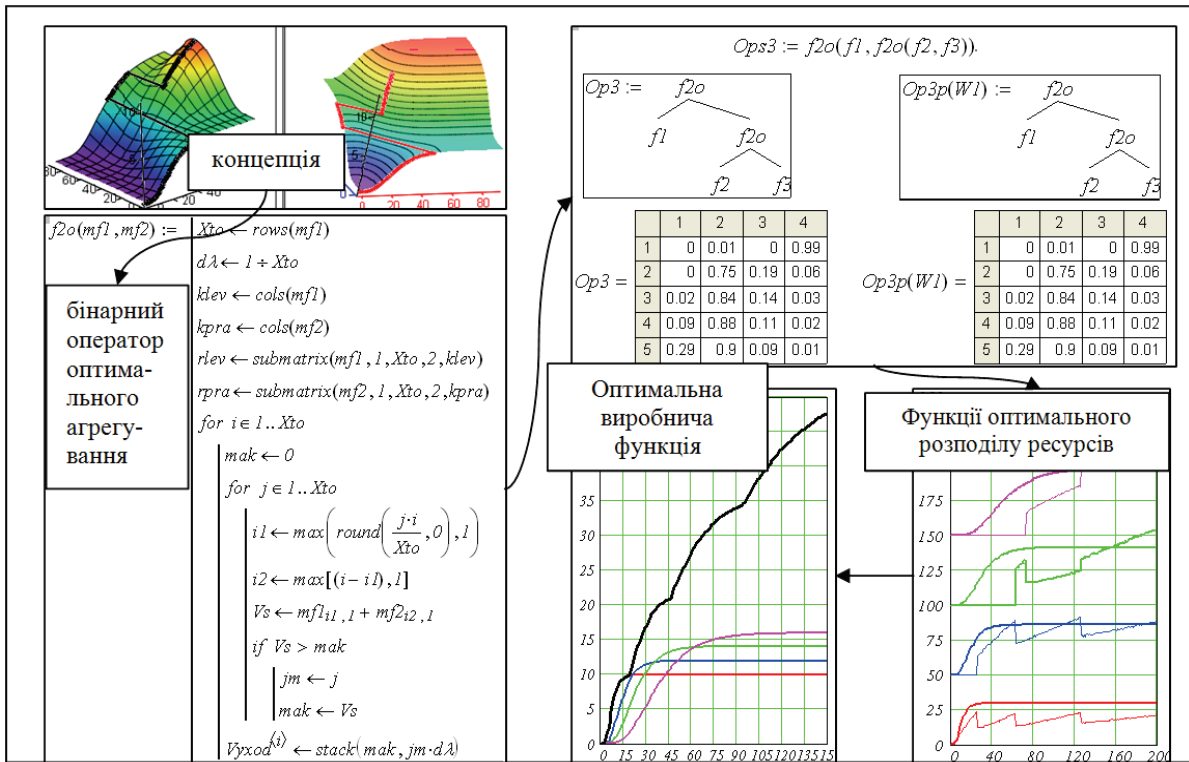


Рис. 2. M1 — модель оптимального розподілу ресурсів

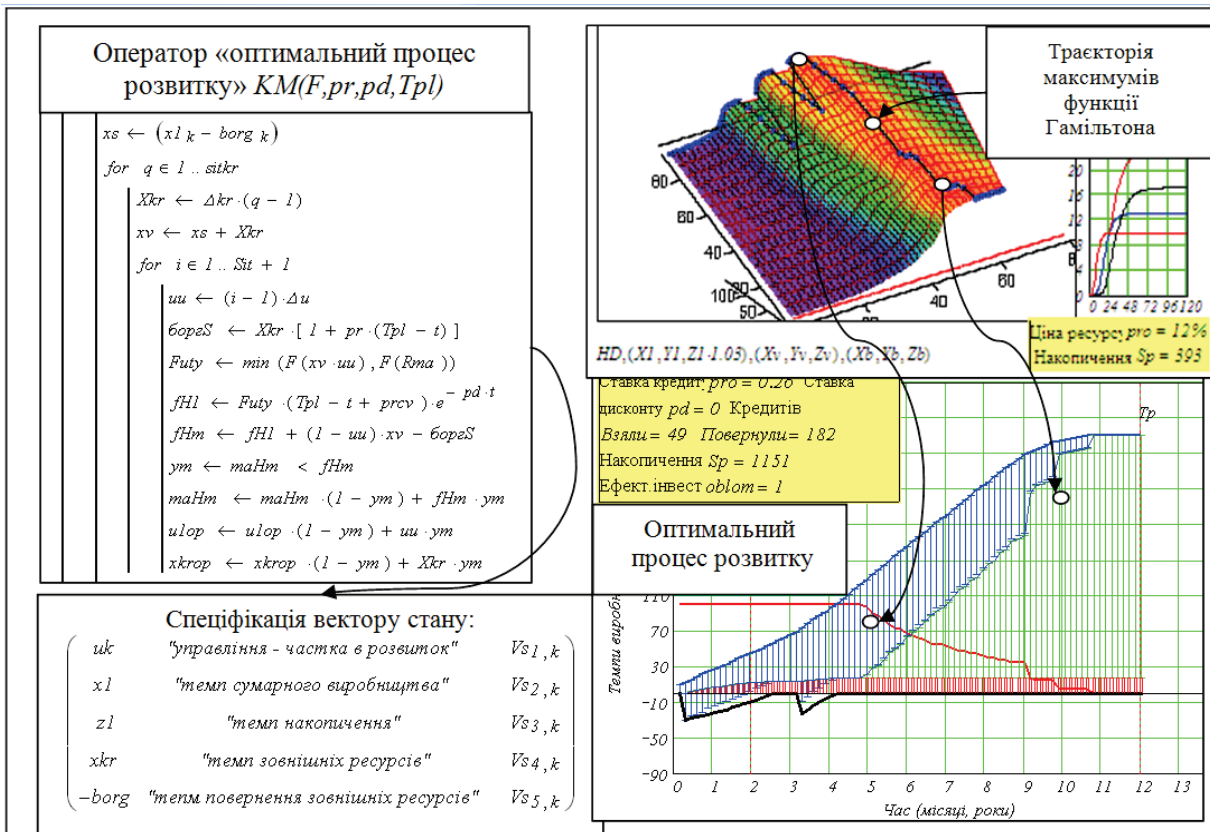


Рис. 3. M2 — модель оптимального розподілу ресурсів в процесі розвитку

В результаті розв'язання варіаційної задачі для багатопродуктової системи зведено до еквівалентної одномірної варіаційної задачі, яка в кінцевому підсумку приводиться до форми «параметризований оптимальний процес розвитку».

Модель виробничої системи подається як «башта моделей» з субмоделей «інновації», «розвиток», «виробництво» (рис. 4).

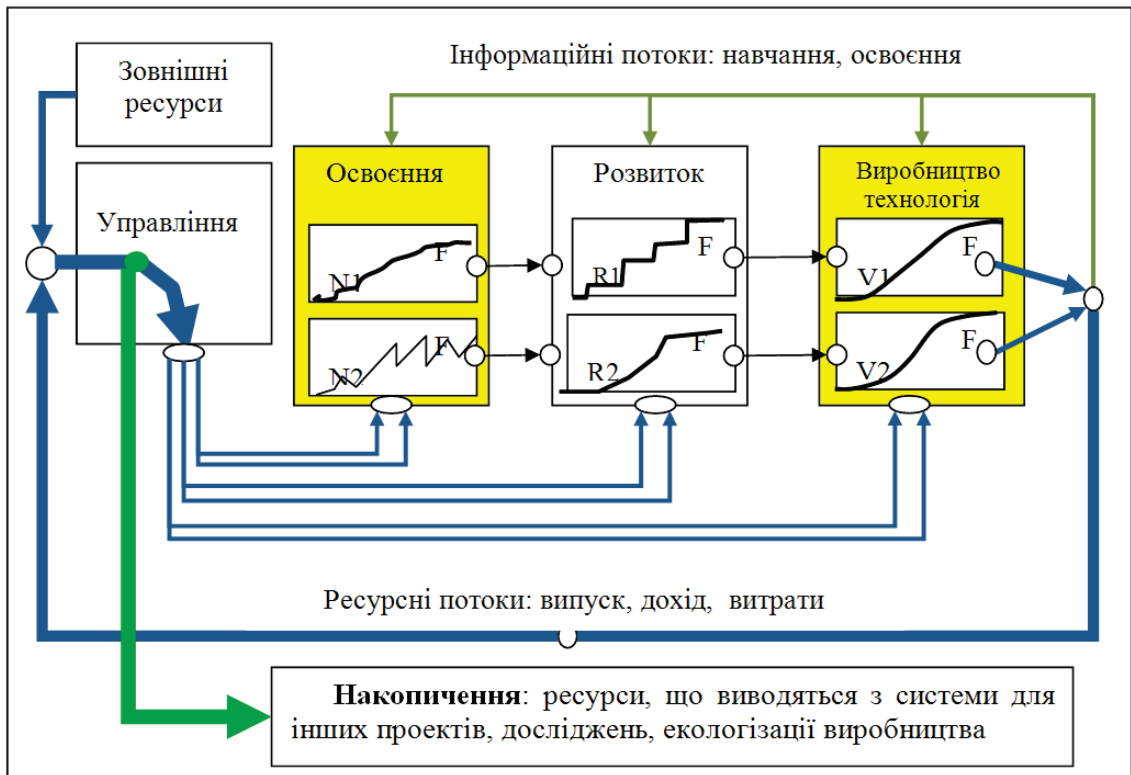


Рис. 4. Схема узагальноної моделі процесу розвитку технологічної системи

На рис. 5 показана технологія інтегрованої розробки моделей: схема у верхній частині розроблялася паралельно з експериментами на моделі нульового наближення. На першому графіку два процеси розвитку, розраховані для різних значень невизначеного параметра, на другому — багатоетапний процес з корекціями стратегії розвитку.

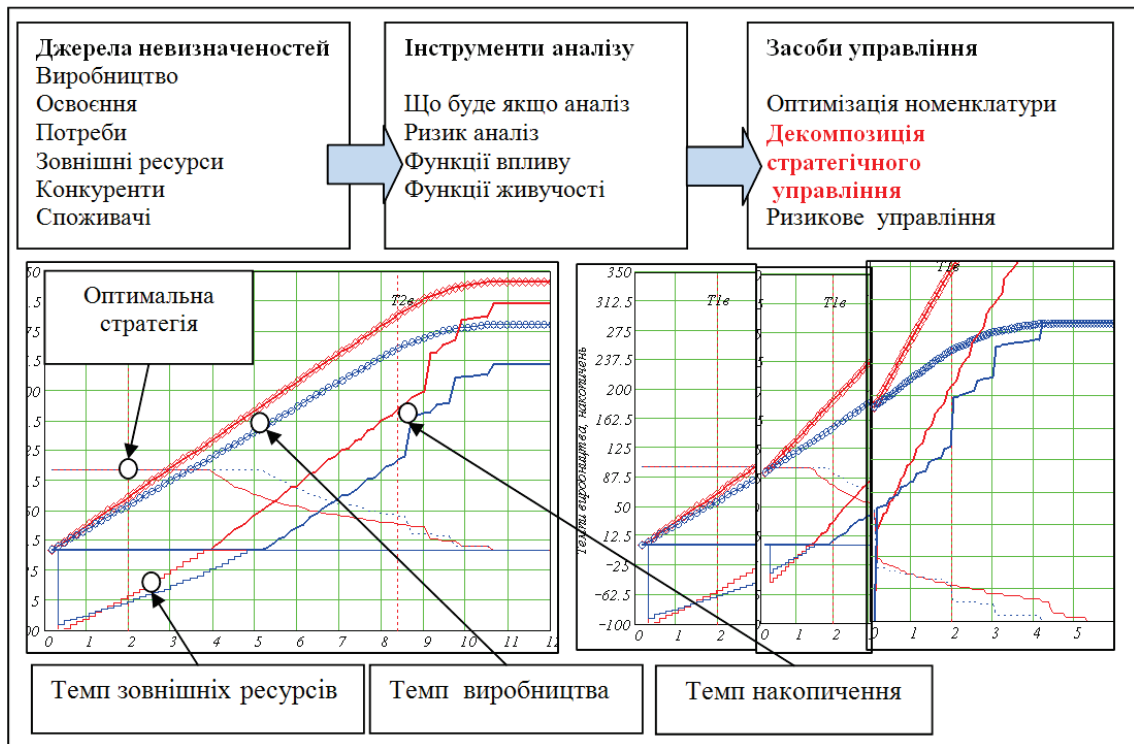


Рис. 5. Схема постановки задачі розробки

Звичайна помилка в класичній технології створення моделей «паперова математична модель—алгоритм—програма» — ігнорування обмежень і можливостей середовища програмної реалізації.

На рис. 6 наведена версія програми «багатоетапний процес». Особливість програми — використання «швидких» вбудованих функцій для роботи з матрицями. На рис. 7 показано тестування цієї програми з використанням векторизації обчислень.

$ER(Fvi, Pfiz, Vso, Kh, Keta) =$

**Тестування модуля «багатоетапний процес»**  
Виводимо результат роботи програми – процес розвитку

$QQ =$

	1	2	3	4	5	6
1	1	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
2	10	10.3	10.62	10.97	11.34	11.75
3	0	0.26	0.27	0.27	0.28	0.29
4	0	0.03	0.05	0.08	0.11	0.14

$Vs \leftarrow Vso$   
"перше значення початкового стану етапу"

$PrS \leftarrow Vso$   
"затравка багатоетапного процесу"

$part \leftarrow 1 \div Keta$   
"частка процесу на етап"

$inter \leftarrow part \cdot Kh$   
"тривалість етапу в кроках моделювання"

for  $j \in 1..Keta$

$Kah_j \leftarrow Kh \cdot [1 - part \cdot (j - 1)]$

$Proc_j \leftarrow PMo(Fvi, Pfiz, Vs, Kah_j)$

$Vs \leftarrow (Proc_j)^{\langle inter+1 \rangle}$

$obrez \leftarrow submatrix(Proc_j, 1, 4, 1, inter)$

$PrS \leftarrow augment(PrS, obrez)$

"стикуємо попередні етапи з поточним"

$PrS \leftarrow submatrix(PrS, 1, 4, 2, cols(PrS))$

Рис. 6. Реалізація моделі з корекціями. Модуль «багатоетапний процес»

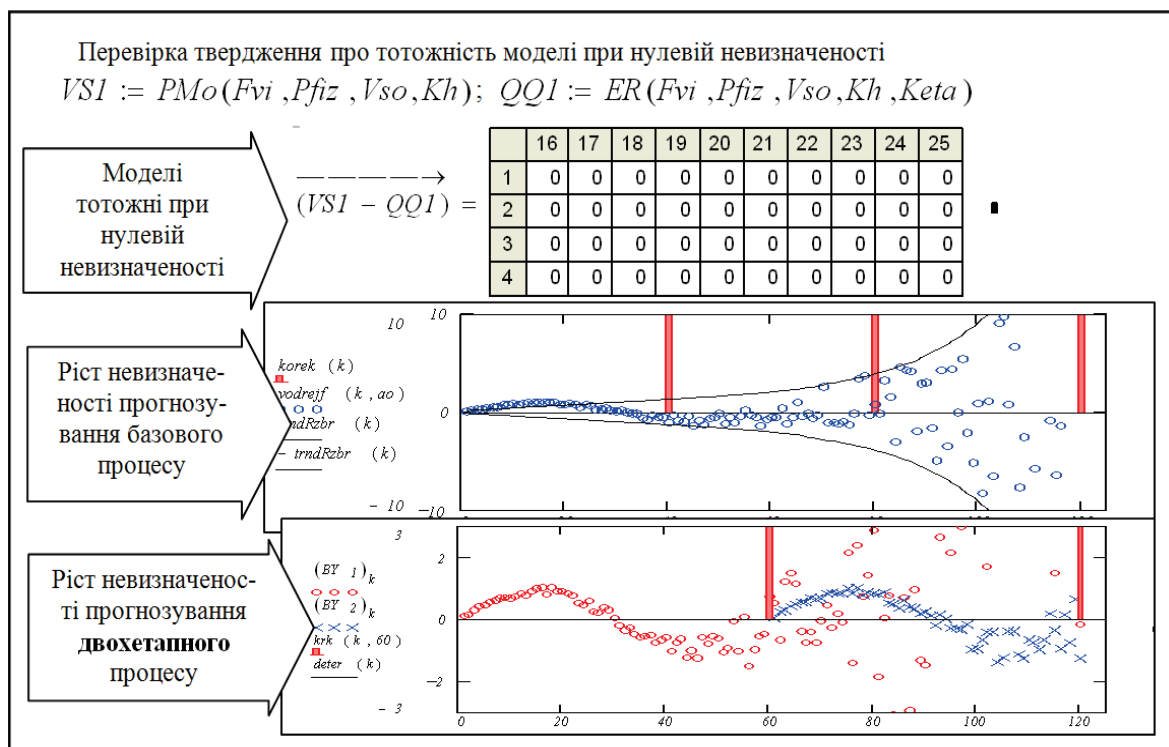


Рис. 7. Тестування моделей невизначеності прогнозування

### Результати розробки моделей і моделювання

На рис. 8 показано приклад тестування розробленої моделі — реалізацію випадкового процесу

розвитку для базової моделі і багатоетапної моделі. На множині реалізацій багатоетапний процес має середню перевагу в 2...6 %. Дослідження залежності цієї переваги від класу і параметрів невідзначеностей та алгоритмів керування є окремою задачею.

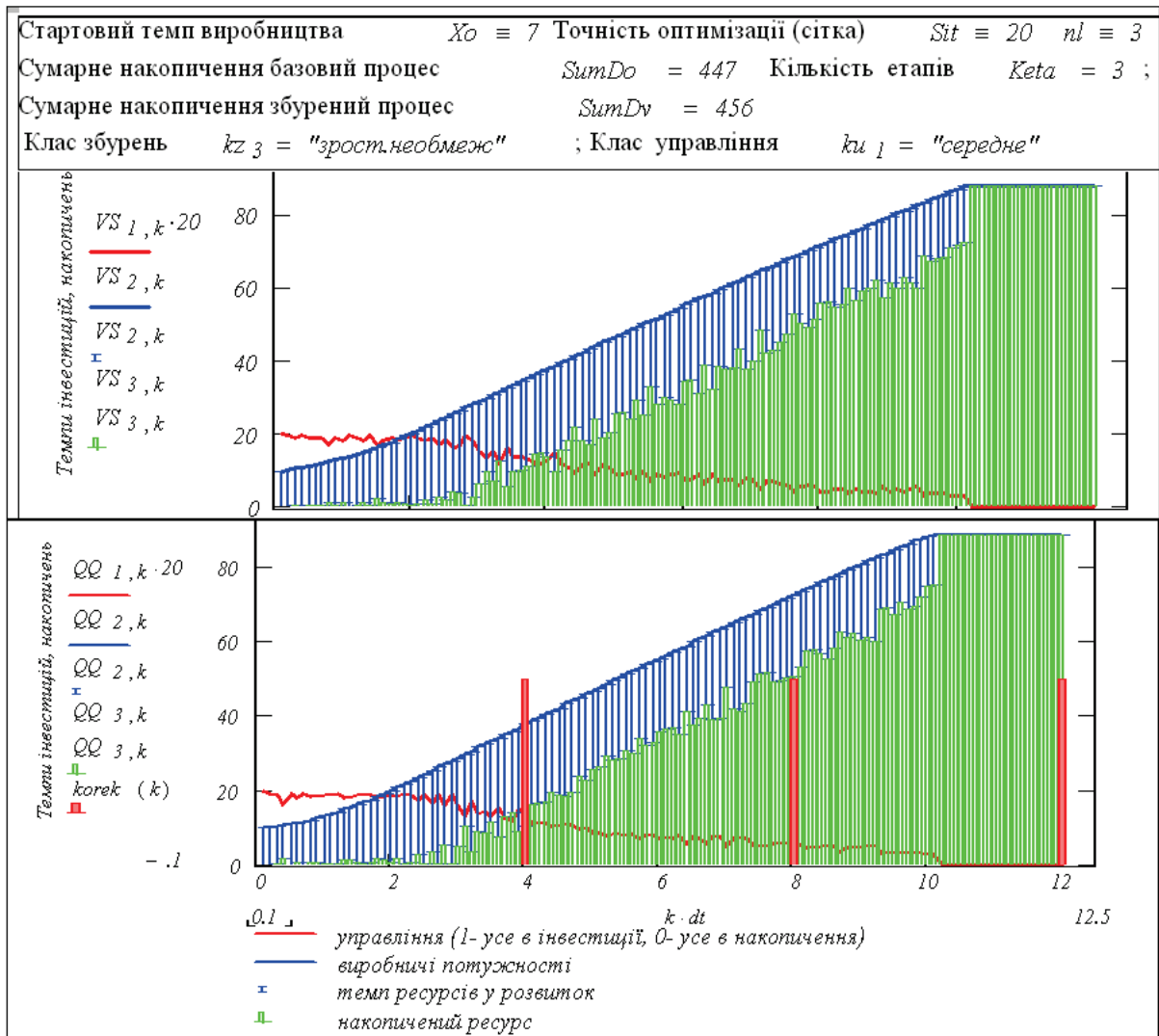


Рис. 8. Тестування моделі: порівняння базового та багатоетапного процесу

Для перевірки адекватності моделі стандартні методи, які застосовуються для моделей-апроксимацій, непридатні. Тому була побудована відповідна процедура встановлення адекватності. На рис. 9 показано схему процесу визначення адекватності багатоетапної моделі розвитку. Модель повинна відтворювати властивості реального об'єкта (стійкість, коливальність, катастрофічні режими). Впевненість в придатності моделі як експериментального інструмента для вивчення результатів змін в виробничій системі базується тільки на впевненості в окремих компонентах — функціональних моделях — і на тому, що в сукупності вони відображають важливі для користувача сторони поведінки системи, що моделюється. Важливий пункт перевірки адекватності моделі до параметричного класу «узагальнена технологічна система» згідно з Форрестером — збирання великих масивів наявної кількісної і описової інформації відносно систем такого ж технологічного класу, наприклад, хімічних реакторів — стиролу, бензину, біореакторів, металообробних комплексів, прокатних станів, технологічних ліній виробництва цукру, кераміки. Синтез такої розсіяної інформації дає можливість надійно визначити загальні топологічні властивості окремих класів нелінійних динамічних систем: стійкість, зокрема, раптова втрата стійкості, коливальні режими, автоколивання, розривність оптимальних управлінь, залежність усталеного стану від початкових умов. Названі характеристики є об'єктами «теорії динамічних систем».



Рис. 9. Схема процесу визначення адекватності багатоетапної моделі розвитку

### Висновки

Подана основна частина розробки системи моделей для оптимального управління процесом розвитку у випадку невизначеностей зовнішнього і внутрішнього середовищ. Головна особливість розробленої моделі — природність і простота модифікації, зумовлена природною структурою робочої моделі, де кожній реальній функціональній підсистемі відповідає субмодель. У результаті модель надає зручну платформу для дослідження можливих моделей збурень і моделей управління на етапах процесу.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Беллман Р. Процессы регулирования с адаптацией / Р. Беллман. — М. : Наука, 1964. — 317 с
2. Новиков Д. А. Теория управления организационными системами — [2-е изд.] / Д. А. Новиков. — М. : Физматлит., 2007. — 584 с.
3. Иващенко А. А. Модели и методы организационного управления инновационным развитием фирмы / А. А. Иващенко, Д. А. Новиков. — М. : КомКнига, 2006. — 336 с.
4. Diedericks, E. M. A. & Hoonhout, H. C. M. (2007) Radical Innovation and End-User Involvement: The Ambilight Case. Know Techn Pol 20, P. 31—38.
5. Coad, A. & Rao, R. (2008) Innovation and firm growth in high-techsectors: A quantile regression approach. Research Policy, 37, P. 633—648.
6. Боровська Т. М. Основи теорії управління та дослідження операцій : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Т. М. Боровська, І. С. Колесник, В. А. Северілов. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. — 242 с. — ISBN 978-966-641-275-4.
7. Моделювання задач управління інвестиціями : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / [Боровська Т. М., Северілов В. А., Бадьора С. П., Колесник І. С.] — Вінниця : ВНТУ, 2009. — 178 с. — ISBN 978-966-641-311-9.

Рекомендована кафедрою комп'ютерних систем управління

Стаття надійшла до редакції 23.02.11  
Рекомендована до друку 30.03.11

**Боровська Тайса Миколаївна** — доцент, **Дерман Галина Юрївна** — аспірантка.

Кафедра комп'ютерних систем управління, Вінницький національний технічний університет, Вінниця