

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА КОМП'ЮТЕРНА ТЕХНІКА

УДК 330.46+338.433

І. С. Колесник;

Т. М. Боровська, к. т. н., доц.;

В. А. Северілов, к. т. н., доц.

МОДЕЛІ І МЕТОДИ ДЛЯ АНАЛІЗУ І ОПТИМІЗАЦІЇ ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОЕКТІВ

Постановка проблеми

Інвестиційний проект звичайно складається з фаз: а) проектних розробок і досліджень, б) виготовлення і випробування дослідних зразків продукції, створення фондів, в) запуску виробництва, просування продукту на ринок, інвестування розширення виробництва; г) модифікації технології і продукту. Успішність інвестиційного проекту закладається вже на фазі проектних розробок, але «збір врожаю» відбувається на фазі запуску та розвитку виробництва. У керівника проекту великі шанси провалити проект саме на цій стадії, якщо він не використовує систему підтримки рішень адекватну реаліям сучасних техніки та економіки. Очевидна ціль виробничого етапу — максимізація сумарного прибутку. Це досягається визначенням оптимальних **інвестиційної, кредитної і цінової** стратегій. Визначення цих стратегій — комплексна задача системного аналізу і теорії управління, де власне економіка дає тільки вхідні дані.

Сьогодні посадка сучасних літальних апаратів фактично неможлива «вручну» без автопілота. Аналогічна система потрібна менеджеру проекту. Оптимальні стратегії не можуть бути визначені на базі інтуїції та досвіду. Пропонується комплекс методів і програмних засобів (= робочих моделей) для побудови системи моделювання та оптимізації інвестиційних проектів.

Актуальність. Аналіз останніх досліджень і публікацій

В умовах глобалізації, виробу і технології виробництва стандартизуються і швидко змінюються. Високий рівень конкуренції та насиченості ринку обмежує норми прибутку. Умова виживання і великих і малих організаційно виробничих систем – мінімізація витрат і втрат. Але традиційні методи оптимального управління тут не працюють, тому що сучасна організаційно-виробнича система в просторі є комплексом досить автономних цільових підрозділів, а в часі – ланцюгом інвестиційних проектів і відповідних ринкових вікон. Підвищення темпів змін вимагає нових підходів до проблем освоєння виробництва, накопичення досвіду і статистики. Сучасні керівники усіх рівнів не тільки не мають «права на помилку», але й не можуть вчитися на помилках попередників. Тому автоматизована система – «помічник менеджера проекту» повинна спиратись на «віртуальну реальність» – комплекс досить узагальнених, адекватних реальним організаційно-виробничим системам і орієнтованих на постійну модифікацію математичних моделей [3, 5].

У всьому світі в цій царині науки ведуться інтенсивні дослідження, постійно створюються програмні системи для автоматизації задач управління інвестиційними проектами [9—14]. В літературі розглядаються переважно організаційно-фінансові аспекти інвестиційних проектів на рівні словесних і простіших математичних моделей. Технології, ефективність виробництва та інвестицій – все це вважається заданими постійними параметрами. Проблеми, що виникають в разі урахування динаміки та зв'язків цих параметрів аналізуються рідко [14].

© Т. М. Боровська, І. С. Колесник, В. А. Северілов, 2004

Моделювання та оптимізація інвестиційних проектів — комплексна задача, що вимагає комплексного системного підходу. Серед потоку робіт з моделювання і оптимізації найпродуктивнішими є роботи-першоджерела, такі як роботи Р. Акоффа, Дж. Форрестера, Н. Моїсеєва, П. Самуельсона, Г. Марковіца, Л. Понтрягіна, М. Болтянського, В. Опойцева, В. Буркова, М. Пешеля. Особливістю цих робіт є те, що вони витримали перевірку часом.

Особливо слід виділити роботи Р. Белмана з теорії процесів управління, де показані шляхи розв'язання певних класів задач [1]. Ці роботи написані 50 років тому. На цьому теоретичному фундаменті з ефективним використанням можливостей сучасних комп'ютерів можна розробити необхідні для практиків системи моделювання та оптимізації інвестиційних проектів. На базі математичних моделей і методів Р. Белмана сьогодні відносно легко створити робочі моделі оптимальних процесів для навчання і підтримки рішень [2—8].

Мета і задачі цього дослідження — розроблення методичних основ і комплексу математичних моделей для побудови системи оптимізації та моделювання процесів реалізації інвестиційних проектів. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі задачі: 1) визначити основні тенденції і особливості розвитку сучасних організаційно-виробничих систем, визначити структуру життєвого циклу проекту і орієнтовану на задачі управління проектами класифікацію оптимізаційних задач; 2) проаналізувати наявні критерії ефективності інвестиційних проектів, визначити критерії ефективності моделей інвестиційних проектів; 3) створити базовий комплекс математичних моделей для оптимізації та моделювання розвитку організаційно-виробничих систем; 3) на базі розроблених моделей розробити програмний комплекс для вбудовування в автоматизовані системи підтримки рішень менеджера; 4) провести обчислювальні експерименти для виявлення структури оптимальних управлінь проектом; 5) враховуючи новизну і актуальність задач розробити електронні книги з аналізу та оптимізації інвестиційних проектів [7, 8].

Робоча гіпотеза полягає в тому, що в сучасних організаційно-виробничих системах функції віддачі інвестицій, функції освоєння виробництва, функції попиту і виробничі функції є невивпуклими. Це якісно змінює характер оптимального управління інвестиційним проектом. Оптимальні інвестиційні, кредитні та цінові стратегії мають розриви, коли в певні моменти часу, за певних умов управління — розподіл узагальнених ресурсів проекту — змінюються релейно. Класичні моделі планування та оптимізації на базі лінійного та нелінійного програмування непридатні для сучасних задач [4—5].

Класифікація інвестиційних проектів

Раніше виконання інвестиційного проекту закінчувалось, коли після наукових пошуків, розробки моделей виробів і технологій здавався «під ключ» виробничий комплекс з певною виробничою потужністю для випуску певної продукції протягом досить великого порівняно з терміном виконання проекту періоду. Сучасна економіка біологічна, і популярна аналогія сучасного виробництва – цикл розвитку «гриба-вискочки», грибниця якого росте роками, а сам гриб виростає за годину і через кілька годин зникає. Так точно діють лабораторії, цільові підрозділи корпорацій — вони десятиріччями можуть вести дослідження, на основі яких потім за рік-два створюються виробничі потужності для випуску унікального продукту протягом 2—10 років – до насичення ринку і появи конкурентів.

Інвестиційний проект — розмите, принципово неформалізоване поняття. Введемо простішу класифікацію інвестиційних проектів (ІІ): ІІ1: нова галузь, ІІ2: нове підприємство, ІІ3: новий виріб. Для етапів раннього аналізу, оптимізації і вибору інвестиційних проектів вибираємо таку просту і узагальнену модель: $K(t) = D(t) - V(t)$, де $K(t)$ — потік платежів — cash flow; $D(t)$ — потік доходів; $V(t)$ — потік витрат. Для багатьох видів продукції характерною є концепція ринкового вікна — періоду часу, протягом якого існує попит на певний конкретний продукт. Таким чином ключовою фазою проекту є фаза розвитку, де маємо головні витрати і прибутки, а центральною задачею — оптимізація сумарного прибутку за певний плановий період.

Оптимізація кредитних стратегій

Як базову вибираємо задачу Марковіца про оптимізацію сумарного прибутку виробничої системи. Р. Белман дав вичерпний аналіз властивостей розв'язань цієї задачі для випадку лінійних обмежень [1]. Нагадаємо її постановку. У виробничій системі виробляються N видів продукції, що випускаються з темпами $x_1(t), x_2(t), \dots, x_N(t)$. Залежності прирощень темпів випуску від інвестицій вважаються лінійними: s_i , де $x(t)_i$ — поточна виробнича потужність по i -му продукту; $y(t)_j$ — поточні інвестиції j -го продукта в розширення виробництва; $a_{i,j} \geq 0$ — параметр рівняння динаміки виробничих потужностей; $x(0)_j = C_j$ — початковий рівень виробничих потужностей по j -му продукту. Інвестиції обмежені умовами: $y(t)_j \leq x(t)_j$. Потрібно визначити оптимальну стратегію інвестицій $uopt(t)_j$ у виробництво, що максимізує сумарний прибуток за певний період. Розв'язання цієї задачі дає «релейні» оптимальні управління типу «спочатку все в інвестиції, потім – все у накопичення». Р. Белман довів, що з довільними функціями віддачі інвестицій оптимальне управління (стратегія) в загальному випадку буде мати три ділянки: $u = 1$ — «все в інвестиції», $0 \leq u \leq 1$ – Ейлерева ділянка, $u = 0$ – «все в накопичення».

Узагальнення задачі Марковіца

Візьмемо рівняння динаміки інвестицій у вигляді $\frac{d}{dt} x(t)_i = Fin(y(t)_i) = Fin(xs(t) u_i)$, де $xs(t) = \sum_{j=1}^N x(t)_j$ — сумарне виробництво в момент t ; $0 \leq u(t)_i \leq 1$ — управління. Для управлінь виконується умова нормування $unak(t) + \sum_{j=1}^N u(t)_j = 1$, де $unak(t)$ — частка ресурсів, що йде в накопичення. Потрібно визначити стратегію інвестицій у виробничі потужності, що максимізує сумарний прибуток за певний період

$$JN = \int_0^T xs(t) unak(t) dt. \quad (1)$$

Таким чином ми ввели повну конвертованість видів продукції і нелінійні залежності прирощення темпу виробництва від темпу інвестицій — функції віддачі (ефективності) інвестицій $fin(y)$, що повинні задовольняти тільки дві умови

$$a) \forall y \geq 0: fin(y) \geq 0; \quad б) \forall y_1 \geq 0, y_2 \geq 0, y_2 \geq y_1: fin(y_2) \geq fin(y_1).$$

Для цієї базової задачі відпрацьовано метод розв'язання і програму моделювання процесу функціонування виробничої системи. Наступні кроки узагальнення — модифікація базової задачі для випадків: використання кредитів, дисконтування прибутків, урахування еластичності попиту та ін. У випадку дисконтування майбутніх прибутків критерій оптимальності має вигляд $JN = \int_0^T xs(t) unak(t) e^{-pt} dt$, де p – процент дисконтування.

З урахуванням еластичності ринку критерій оптимальності буде

$$JN = \int_0^T Rvs(t) unak(t) dt, \text{ де } Rvs(t) = \sum_{j=1}^N Rv(x(t)_j, el_j, b_j, c_j) \text{ — сумарний поточний прибуток від продажу продуктів виробництва на ринку в момент } t, \text{ а}$$

$Rv(x(t)_i, el_i, b_i, c_i) = \left[b(x(t)_i)^{el} - c_i \right] x(t)_i$ — прибуток від реалізації i -го продукту.

Розв'язання узагальненої задачі Марковця

Узагальнена задача відноситься до задач управління першого роду — з лінійним функціоналом. Для розв'язання вибрано метод принципу максимуму. Основна проблема — визначення функції Гамільтона $H(x, \psi, u)$, де x — вектор стану, u — вектор управління, ψ — вектор спряжених функцій. Якщо така функція отримана, то на кожному кроці процесу слід тільки знайти максимум цієї функції по усім змінним управління. «Плата» за узагальнення задачі — неможливість аналітичного визначення екстремуму. Виграш — математична модель працює для довільних функцій інвестицій, цін, собівартості, для довільних критеріїв з класу «узагальнений сумарний прибуток». Додаткова перевага використання принципу максимуму в тому, що функція Гамільтона має «фізичний» зміст — вона є «проекцією» поточного управління на сумарний прибуток в кінцевий момент планового періоду Tp . Для базової одновимірної (з одно продуктивним виробництвом) задачі ця функція має вигляд

$$H(x, u) = x(t)(1 - u(t)) + \text{fin}(x(t)u(t))(T - t). \quad (2)$$

Складові цієї функції мають таку інтерпретацію: перша складова — те, що йде в накопичення в даний момент, друга складова — продукція, яку можна отримати від прирощення темпу виробництва до кінця процесу — за час $(T - t)$. Запропонований підхід дозволяє отримувати функцію Гамільтона без складання і розв'язання диференціальних рівнянь для спряжених функцій — шляхом модифікації базового виразу для багатьох задач даного класу.

Розглянемо приклад отримання цієї функції для задачі оптимізації процесу розвитку виробничої системи з урахуванням кредитів. Вводимо додаткову змінну — розмір поточного кредиту Xk . Будемо вважати, що кредит взятий в момент t , повертається рівними частками до кінця процесу. Таким чином, до кінця процесу треба сплатити за кредит з доходів виробництва суму, що віднімається з сумарного прибутку $S4 = Xk \cdot (1 + pr \cdot (T - t))$, де pr — відсоток плати за кредит. Аналогічно будуються моделі для інших форм кредитування. Функція Гамільтона з урахуванням кредитів матиме вигляд

$$H(Xv, u) = Xv(t)(1 - u(t)) + \text{fin}(Xv(t)u(t))(T - t) - Xk[1 + pr(T - t)]. \quad (3)$$

На кожному кроці процесу визначаються розмір кредиту та розподіл інвестицій, такі, що дають максимум цієї функції.

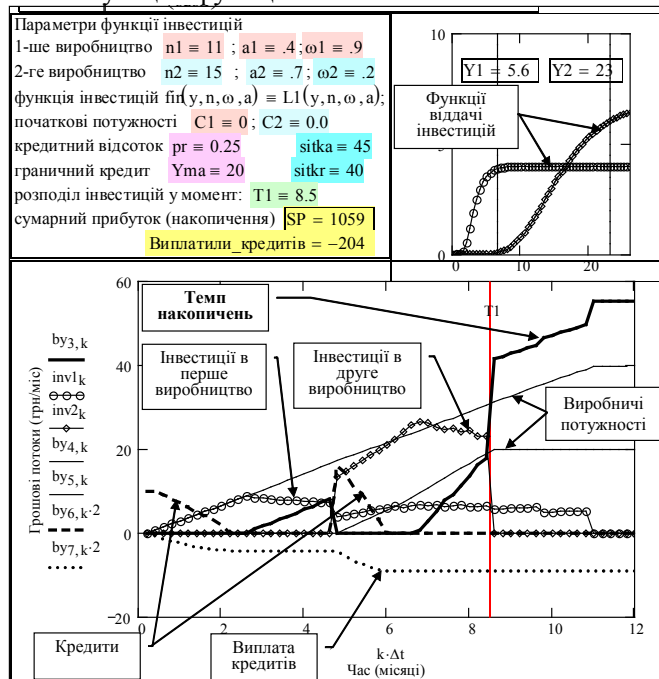


Рис. 1. Приклад оптимального процесу розвитку

Програма оптимізації і моделювання може бути реалізована в багатьох програмних середовищах. На рис. 1 показано приклад оптимального процесу розвитку. Це копія екранної сторінки, де зібрані усі «входи» і «виходи» задачі. Вибрана ситуація дорогого, — під 25 % річних, кредиту і двопродуктової виробничої системи з увігнуто-випуклими функціями віддачі інвестицій. Згідно з оптимальною стратегією спочатку треба взяти малий кредит — для «стартового поштовху» 1-го, «швидкого» виробництва, потім кредитів не брати, чекати, поки воно не досягне певного рівня, «зайві» кошти направити в накопичення, а в 2-ге виробництво нічого не вкладати, до певного моменту, коли слід брати кредити і всі ресурси вкладати в розвиток 2-го виробництва.

Таке управління не може бути знайденим по інтуїції, а відхилення від нього помітно зменшують сумарний прибуток інвести-

ційного проекту. Взагалі логіка оптимального управління системами «нової економіки» з невипу-клими узагальненими виробничими функціями є «антиінтуїтивною»: зі збільшенням ставки кре-диту слід більше витратити на кредити, з певними критичними значеннями залежність «ставка кредиту – витрати на кредити» має розриви, кількості яких залежить від кількості видів продуктів, що випускає виробнича система [6—8]. Розроблена базова модель дозволяє побудувати клон ро-бочих моделей, що дають можливість не тільки визначати оптимальне управління, але й оцінюва-ти ризику безпосередньо – імітаційним моделюванням.

Оптимізація цінових стратегій

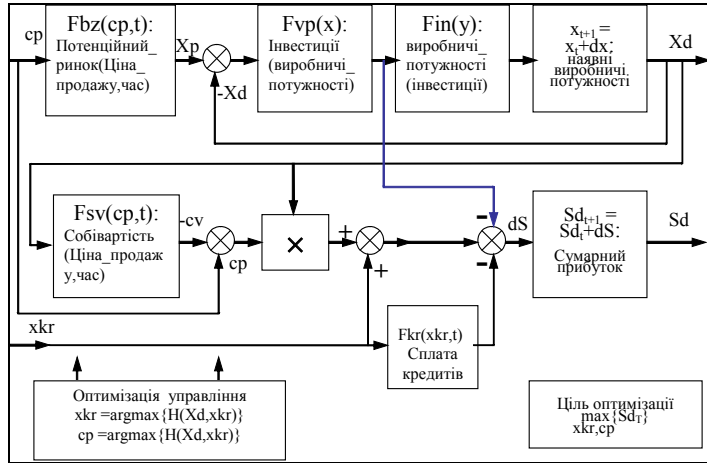


Рис. 2. Схема організаційно-виробничої системи

В сучасній економіці процеси навчання і освоєння є вирішальним фактором ефекти-вності інвестиційного проекту. Собівартість продукції може змінюватись в десятки разів протягом життєвого циклу. В таких випад-ках **ціна продажу змінює собівартість**. Ціна продажу стає змінною управління задачі оптимізації сумарного прибутку ви-робничої системи за плановий період. В практичному аспекті це приводить до інте-грації виробництва і маркетингу: менша ціна — більший потенційний попит — ме-нша собівартість. На рис. 2 показана блок-схема системи, що є формалізацією даного словесного опису. Змінні управління (вхо-ди) системи — ціна продажу та розмір по-

точного кредиту, виходи системи — сумарний прибуток та виробничі потужності. Верхня лінія функ-ціональних блоків відповідає висловлюванню: «ціна продажу визначає обсяг попиту, рівень виробниц-тва доводиться до рівня попиту за рахунок інвестицій». Середня лінія блоків подає послідовність утво-рення накопичення. Темп виробництва та швидкість його зміни визначають темп зниження собіварт-сті продукції. Різниця між ціною продажу і собівартістю помножена на обсяг продаж дає валовий до-ход, до якого можуть додаватись кредити. З цих коштів сплачуються борги по кредитах та фінансуєть-ся розширення виробництва, а те, що залишається, йде в накопичення.

Розв’язання задачі оптимізації цінової стратегії для базової задачі

Слід знайти функцію $cp(t)$ — залежність ціни продажу певного нового, високотехнологічного продукту від часу. Зауважимо, що ціна продажу сама по собі не забезпечує бажаного попиту, ці-нова стратегія реалізується через відповідну маркетингову стратегію: покупець, коли змінюється ціна, повинен знати і вірити, що він сьогодні за одні і ті ж гроші отримає більшу цінність, ніж вчо-ра. Для базової, однопродуктової системи маємо варіаційну задачу

$$J = \int_0^{Tp} fj(cv, cp) dt \text{ — критерій, сумарний прибуток за період } Tp;$$

$\frac{d}{dt} J = fj(cv, x, cp); \frac{d}{dt} cv = fcv(cv, x, cp); \frac{d}{dt} x = fin(cv, x, cp)$ — обмеження у формі ди-ференційних рівнянь для критерію, собівартості, виробничих потужностей.

В цих рівняннях cv — собівартість одиниці виміру продукту, cp — ціна продажу, змінна управ-ління. Вибрано принцип максимуму для розв’язання цієї задачі.

На відміну від задач оптимізації розвитку та кредитної стратегії в даному випадку неможливо «вгадати» вираз для функції Гамільтона

$$H(cv, cp) = \sum_{i=0}^n \psi_i f_i = \psi_j fj + \psi_{cv} fcv + \psi_x x. \tag{4}$$

Для її знаходження запишемо систему диференціальних рівнянь для визначення спряжених функцій

$$\frac{d}{dt} \psi J(t) = -\frac{\partial}{\partial J} H(cv, x, cp); \quad \frac{d}{dt} \psi cv(t) = -\frac{\partial}{\partial cv} H(cv, x, cp); \quad \frac{d}{dt} x(t) = -\frac{\partial}{\partial x} H(cv, x, cp).$$

Розв'язання цієї системи в загальних випадках знаходиться числовими методами. Розроблена програмна система для аналізу і оптимізації цінових стратегій дозволяє знаходити оптимальні стратегії, а також проводити дослідження і параметричну оптимізацію емпіричних стратегій.

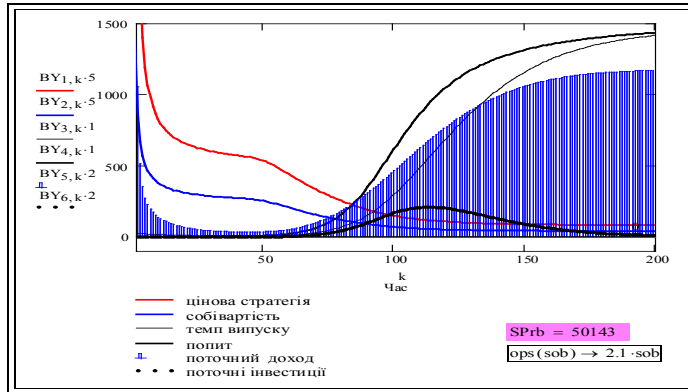


Рис. 3. Оптимальний процес розвитку для стратегії «постійна норма прибутку»

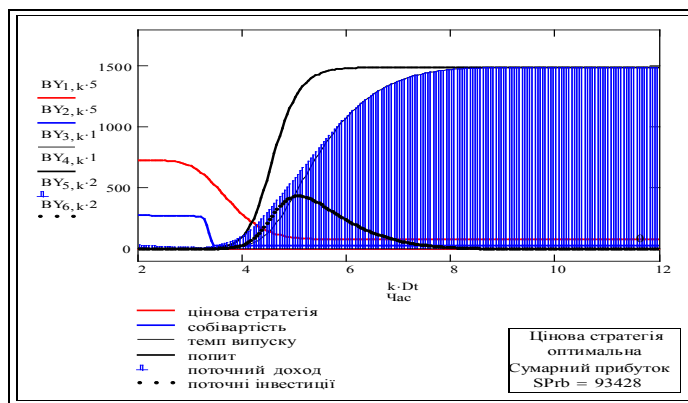


Рис. 4. Оптимальний процес розвитку для оптимальної цінової стратегії

На рис. 3 показаний приклад оптимального процесу розвитку для емпіричної стратегії «постійна норма прибутку». Змінною управління — норма прибутку (в даному прикладі оптимальною виявилась ціна продажу $cp(t) = 2,1 \cdot \text{собівартість}(t)$).

На рис. 4 показаний приклад оптимального за критерієм накопиченого прибутку процесу розвитку виробничої системи. Отримана стратегія дає більший прибуток ніж стратегія «постійна норма прибутку».

Переведемо отриману цінову стратегію в «експертні» правила для практика.

Правило 1. Встановити стартову ціну, що відповідає уяві користувача про цінність продукту. Ця ціна може бути і збитковою і прибутковою. Тримати цю ціну, поки будуть «випалені» усі дефекти технології і конструкції і буде підготовлено все для переходу на масове виробництво.

Правило 2. Коли процес «навчання» в основному закінчиться – скинути за короткий термін ціну згідно собівартості масового виробництва. Показати користувачу, яку саме цінність він отримає по новій

ціні. Можливо ввести сегментацію ринку на «простіше-дешевше» та «більше сервісу-дорожче».

Правило 3. Тримати приблизно постійну ціну масового виробництва, поки ринок не буде заповненим, або вичерпаним. Почати новий інвестиційний проект. Моделювання показало, що стратегії орієнтовані на масове виробництво і низькі ціни є більш прибутковими і ризиковими, ніж стратегії орієнтовані на високі ціни.

Висновки

Виконано теоретичне узагальнення і подано ряд нових робочих математичних моделей інвестиційних проектів для фази розвитку виробництва. Вперше досліджено властивості кредитних і цінових стратегій з довільними функціями віддачі інвестицій, виробничими функціями і функціями «ціна-попит». Оптимальні управління для невивуклих функцій є розривними і не можуть бути визначені класичними методами.

Перспективи. Отримані базові моделі придатні для подальших модифікацій — збільшення розмірності виробничих систем, деталізації моделей попиту і освоєння виробництва, невизначеностей. Це дає можливість побудови дійсно корисних систем – «аналітичних помічників менеджера».

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Беллман Р., Гликсберг И., Гросс О. Некоторые вопросы математической теории управления. — М.: Издат. иностр. литер., 1962. — 233 с.
2. Боровська Т. М., Колесник І. С., Северілов В. А. Основи кібернетики та дослідження операцій: Навч. посібн. — Вінниця: ВДТУ, 2002. — 242 с.
3. Боровська Т. М., Колесник І. С., Северілов В. А. Спеціальні розділи вищої математики: Навч. посіб. — Вінниця: ВДТУ, 2002. — 182 с.
4. Боровская Т. Н., Северилов В. А., Северилов П. В. Что будет, если? Имитационное моделирование в Mathcad // Компьютеры + Программы. — 2000. — № 12. — С. 37 — 41.
5. Боровская Т. Н., Северилов В. А., Колесник И. С. Детская экономика. Моделирование и оптимизация производственных систем // Компьютеры + Программы. — 2002. — № 2. — С. 43 — 47.
6. Колесник, І. С., Северілов В. А. Оптимальне управління розподіленням ресурсів в децентралізованих системах / Доповіді МНК «КУСС-2001». — Вінниця, 2001. — С. 73—78.
7. Северілов В. А., Колесник І. С. Узагальнення задач оптимального управління розподіленням ресурсів в часі. / Доповіді МНК «КУСС-2001». — Вінниця, 2001. — С. 142—146.
8. Северілов В. А., Колесник І. С., Бадьора С. М. Електронна книга «Моделювання та оптимізація в економіці». Проблема трьох «не» — НЕлінійності, НЕстаціонарності та НЕвипуклості. // Доповіді НМК «Проблеми підручника вищої школи». — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2001. — С. 138—141.
9. Кобиляцький Л. С. Управління проектами: Навч. посіб. — К.: МАУП, 2002. — 200 с.
10. Федоренко В. Г., Гойко А. Ф. Инвестознавство: Підручник / За наук. ред. В. Г. Федоренка. — К.: МАУП, 2000. — 408 с.
11. Васюренко О. В. Банківський менеджмент: Посібник. — К.: вид. центр «Академія», 2001. — 320 с.
12. Банківська справа: Навчальний посібник / За ред. Р. І. Тиркала. — Тернопіль: Карт-бланш, 2001. — 314 с.
13. Крушвиц Л. Финансирование и инвестиции: Базовый курс. — М.: «Питер», 2000. — 389 с.
14. Нэгл Т. Стратегия и тактика ценообразования. — М.: «Питер», 2001. — 375 с.

Рекомендована кафедрою комп'ютерних систем управління

Надійшла до редакції 29.05.03
Рекомендована до опублікування 20.09.03

Боровська Таїсія Миколаївна — доцент, **Колесник Ірина Сергіївна** — здобувач.

Кафедра комп'ютерних систем управління. Вінницький національний технічний університет

Северілов Віктор Андрійович — доцент кафедри інформаційних технологій.

Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна», м. Вінниця.