

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА КОМП'ЮТЕРНА ТЕХНІКА

УДК 62.50:658.21

Т. М. Боровська, к. т. н., доц.;

В. А. Северілов, к. т. н., доц.;

С. П. Бадьора;

І. С. Колесник

МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТОПРОДУКТОВИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ

Постановка проблеми

Сьогодні прогнозування розвитку соціо-техніко-економічних систем принципово відрізняється від прогнозів еволюції сонячної системи тим, що ми можемо, свідомо, чи не свідомо, *змінювати майбутнє своїми діями*. Вплив прогнозів дослідив на практиці і узагальнив відомий фінансист і філантроп Дж. Сорос. Це явище аналізував фундатор індустріальної динаміки Д. Форрестер. Академік Н. Н. Моїсєєв писав, що сьогодні майбутнє не прогнозується, а конструюється, і вкрай незадовільно. Прискорення темпів технологічних та економічних змін призвело до того, що прогнозування на базі екстраполяцій статистичних даних неефективніше, ніж просто гадання. Сьогодні поширені системи для прогнозування на базі моделювання, що можна назвати *активним прогнозуванням* — ми моделюємо на комп'ютері різні варіанти майбутнього, відбираємо сприятливі для нас варіанти майбутнього і дивимось, що треба зробити сьогодні, щоб настало бажане завтра. Іноді для цього достатньо найменшого поштовху. Головна проблема у застосуванні активного прогнозування — дефіцит адекватних моделей швидкоплинної реальності [3].

Мета даної роботи — аналіз і вибір математичних моделей, що відображують головні аспекти функціонування системи виробників. Розглядаємо багатопродуктове виробництво, коли кожна фірма випускає ряд продуктів певного класу — автомобілі, комп'ютери та ін. Головна увага приділяється побудові моделей розподілу ресурсів фірми між різними продуктами і розподілу ринків цих продуктів між фірмами.

Робоча мета — розробка програми для прогнозування розподілів ринку між фірмами і оптимізації розподілу ресурсів фірми між продуктами. На прикладі розробки програм подається технологія розробки і використання для підтримки прийняття рішень моделей функціонування розподілених виробничих систем. Програма складається із модулів «виробництво», «витрати виробництва», «інвестиції», «невизначеності», «прийняття рішень».

Виробництво та інвестиції

Характерним для сучасної економіки є еволюційні процеси, розвиток. Сучасна економіка взагалі стає біологічною, тому природно за основу взяти узагальнені моделі росту з обмеженням [2, 8]. Назвемо «виробництвом» повний цикл від грошей (оплати виробничих витрат) до грошей (отриманих за продукт). Припускаємо, що виробнича система субоптимізована, тобто інвестиції розподіляються так, щоб вирівнювати виробничі потужності усіх фаз інтегрованого виробничого процесу. Записуємо рівняння для такої інтегральної виробничої потужності i -го елемента в дискретний момент часу $t + 1$:

$$X_{i,t+1} = X_{i,t} + \left[kr_i \left(\frac{R_{yn} - S_{u_t}}{R_{yn}} \right) Inv_{i,t} \right] krok, \quad (1)$$

де $X_{i,t+1}$ — виробнича потужність, kr_i — показник ефективності інвестицій; R_{yn} — ємність ринку; S_{u_t}

— сумарне виробництво — заповнення ринку; $Inv_{i,t}$ — розмір інвестицій; $krok$ — крок моделювання. На перший погляд модель може здаватись незвичною — вираз у круглих дужках може бути від'ємним. Інвестиції ведуть до скорочення виробництва? Але відомо, що для згортання виробництва теж потрібні витрати, іноді більші, ніж для розгортання. Наша модель придатна для деталізації цих аспектів виробничої діяльності.

Модель витрат виробництва

В умовах високого темпу зміни моделей виробів і технологій витрати виробництва суттєво змінюються протягом життєвого циклу моделі виробу. Узагальнені виробничі витрати на одиницю продукції і на поточний випуск можна відобразити такою моделлю:

$$sv(Xs, X, p, vv, vp) := vv \cdot p^{\frac{\ln(Xs)}{\ln 2}} + vp \cdot X^{-1}, \quad (2)$$

де vv — коефіцієнт «змінних» витрат, vp — коефіцієнт «постійних» витрат, $0 < p < 1$ — коефіцієнт освоєння виробництва (чим він менше, тим швидше зменшуються витрати), X — темп випуску, Xs — сумарний випуск за весь період виробництва товару. Перша складова характеризує ефекти «навчання» персоналу і обладнання, друга складова — зменшення частки постійних витрат зі збільшенням обсягу виробництва. Ця модель є теж придатною для деталізації. Зокрема, відомо, що немає чисто «постійних» і чисто «змінних» витрат, і це може бути ураховано в деталізованіших моделях.

Моделі невизначеностей і ризиків

Будемо розглядати на першому етапі детерміноване виробництво та невизначений, імовірнісний ринок. Конкретизуємо ці невизначеності. Перше джерело випадкових втрат — стихійні лиха, аварії, війни та інші конфлікти. Друге джерело — поведінка покупців і конкурентів. Бізнес подібний до лотереї, але в лотереї є детерміновані невеликі втрати—програші та малоімовірні великі виграші, у бізнесі маємо майже детерміновані малі виграші (стабільна норма прибутку 5—15 %) і зрідка великі програші (стихійні лиха, власні провали, обвали економіки) і ще рідше великі виграші. Ще одна особливість випадкових подій у бізнесі — якщо якійсь фірмі пощастило/не пощастило на ринку, то через обмеження обсягу ринку це з протилежним знаком позначається на конкурентах.

Аналіз галузевих статистичних даних дає підстави вважати, що випадковість у економіці має негаусову статистику — великі відхилення не є «фактично неможливими» як у гаусовій статистиці. Відомо також, що для великих фірм, корпорацій, що міцно сидять у свідомості покупців фортуна є стабільнішою, ніж для малих фірм. Згідно зі статистикою стабільність доходів фірми залежить від її розміру, терміну існування та інших факторів. Ці залежності можуть бути відображені у моделі ризику.

Формалізуємо залежність степеня детермінованості доходу від розміру та терміну існування фірми. В першому наближенні будемо вважати ймовірність, того що доход знаходиться в певних межах $\pm \Delta d$ є лінійною функцією від частки ринку фірми X/R_{yn} та нормованого терміну існування фірми Tf/Td . Параметри цієї залежності підбираємо так, щоб для граничних розмірів фірм отримати значення близькі до статистики. Число параметрів для настроювання моделі повинно бути мінімальним. Запишемо модель в такому вигляді:

$$Garant = kl \frac{X}{R_{yn}} + (1 - kl) \frac{Tf}{Td}, \quad (3)$$

де $Garant$ — імовірність, того, що доход фірми буде знаходитись в заданому діапазоні; $0 < kl < 1$ — параметр, що характеризує вагу факторів; X — обсяг виробництва; R_{yn} — обсяг ринку; Tf — термін існування фірми; Td — параметр, що інтерпретується як «ця фірма була завжди».

Формально $0 < Garant < 1$. Згідно зі статистикою навіть для лідерів ринку $Garant \leq 0,95$, а для малих малих фірм $0,4 \leq Garant$. Ці умови враховані в моделі «імітатор успіху в бізнесі» $Rozmaz(X, Tf, Distr)$, аргументами якої є X — обсяг виробництва, Tf — термін існування фірми, та $Distr$ — гіпотетичний розподіл імовірності успіху (для даної галузі).

На базі цього модуля розроблено модуль імітації «успіху бізнесу» для N фірм, де враховано обмеження на суму «успіхів» (якщо комусь щастить, то іншим — навпаки). Входами модуля $Vez(D,$

$Tf, X, k2$) є: D – вектор номінальних, (планових) доходів; Tf – вектор «віку» фірм; X – вектор обсягів виробництва; $k2$ – параметр, що характеризує вплив розміру фірми на гарантію успіху.

Цей модуль включається в головну програму моделювання. Нагадаємо, що модель ринкової невизначеності не є остаточною — вона чергова сходинка в процесі створення моделі із часткових за «фізіологічним» та «анатомічним» принципами [2].

Модель прийняття рішень

Розробимо робочі моделі для логіки прийняття рішень про розподілення ресурсів (фінанси, обладнання, персонал) елемента виробничої системи (фірми, корпорації) між своїми підрозділами — виробництвами різних видів продукції. Мета розподілу — максимізація сумарного прибутку, змінні управління — частки (наявного на поточному кроці процесу) ресурсу, що виділяються на розвиток виробництва відповідних видів продукції.

З можливих альтернатив [1, 2, 4—6] оптимізації розглядаємо механізми розподілу на базі принципів відкритого управління [1]. Суть цих механізмів в тому, що кожен елемент системи намагається максимізувати свій власний критерій. За виконання певних умов, така система розподілу може бути стійкою, і в стані рівноваги досягаються одночасно максимумами локальних критеріїв і глобального критерію системи в цілому. Відкрите управління є фактично реалізацією принципу «невидимої руки» Адама Сміта. Моделі таких механізмів розподілу ресурсу («торгів», «аукціонів») мають дуальну інтерпретацію: а) це імітаційні моделі імітації процесів прийняття рішень радами директорів, зборами трудових і нетрудових (акціонерами) колективів; б) алгоритми знаходження екстремуму функції багатьох змінних на базі розпаралелювання і реалізації в багатопроекторних системах. Ті, хто приходять до цих алгоритмів не від реалій виробництва і менеджменту, можуть називати це «нейронними мережами», «мурашиними алгоритмами, «штучними соціальними системами».

В програмі моделювання використовуємо такі альтернативи розподілу ресурсів між окремими продуктами: а) наявні на певному кроці ресурси діляться *детерміновано*, пропорційно рейтингам продуктів. Рейтинги формуються за певною процедурою; б) певна частина ресурсів *випадково* виділяється одному з продуктів. Імовірності вибору певного продукту залежать від їх рейтингів. Рейтинг продукту природно визначити як згортку таких показників:

- приріст продажу за попередні періоди (або обсяг незаповненого ринку);
- поточний обсяг продажу та прибуток;
- перспективи: скільки ще можна випускати продукт до заміни;
- еволюція попиту і цін на ринках, еволюція собівартості продукту та ін.

Підкреслимо, що ми вводимо випадковість у процедуру прийняття рішень, не тільки для відображення реальності, але й як засіб оптимізації методами випадкового пошуку. Випадковість — це фактично мутації. В бізнесі, як і в біології корисні мутації закріплюються. Для розвитку системи, популяції в цілому потрібен оптимальний рівень випадкових дій — «мутацій». Відомо, що найкращі фірми, геніальніші менеджери іноді роблять помилки, а іноді все робиться безпомилково, але ж, просто «не везе».

Розроблено програмний модуль «вибір з навчанням», що імітує, з урахуванням факторів випадковості і невизначеності, вибір фірмою розподілення ресурсів між товарами або сегментами ринку. Модуль дозволяє реалізувати дві альтернативи розподілу ресурсів: а) «пропорційну» — на кожному кроці ділимо ресурс пропорційно поточним показникам ефективності товарів (продуктів, послуг); б) «релейну» — на кожному кроці ресурс даємо тільки одному підрозділу, чи товару — кращому.

Проаналізуємо ці альтернативи. З теорії автоматичного управління відомо, що закони управління можуть бути неперервними — «пропорційними» і релейними — «імпульсними». У випадку опуклих (вгору) узагальнених виробничих функцій (ВФ) оптимальні розподіли є неперервними функціями від обмеження по ресурсу. У випадку неопуклих ВФ оптимальні розподіли мають розриви і, головне інтервали, на яких «переможець отримує все», тобто, певні підрозділи не отримують ресурсу [3—7]. Щоб узгодити процедуру розподілу до цих реалій, вибираємо релейне розподілення. Вважаємо, що процедура розподілу ресурсів виконується регулярно і досить часто — раз на місяць, тиждень. Виберемо на першому етапі і першому наближенні альтернативу б) — «релейну».

Розроблено програмний модуль, що реалізує такий сценарій розподілу і навчання: дано стартове розподілення імовірності вибору «Вибір», на кожному кроці генерується випадковий вибір згідно цьому розподілу, визначається корисність цього вибору — отриманий «Дохід». Корисність порівнюється з се-

реднім доходом і відповідна імовірність коректується (збільшується, якщо «Доход» більше середнього, і навпаки) з певним коефіцієнтом «підсилення».

На рис. 1, 2 показано приклади роботи модуля «Вибір». Можемо бачити, що ймовірності вибору альтернатив стають пропорційними ефективностям альтернатив, які точно невідомі учасникам (подано квадратними точками). Точки-ромби подають події «вибір i -ї альтернативи. Стартові ймовірності вибору задаються однаковими. Можна бачити, що ймовірності вибору кращих альтернатив зростають. Коли різниця в корисності альтернатив (продуктів) значна, то наша «система керівництва» досить стійко віддає перевагу кращому продукту. Коли товари майже рівноцінні, і є випадковий розкид доходів від реалізації товарів — рішення «нарад» є нестабільними. Так буває в фірмах, де немає безумовного лідера-менеджера та (або) продукта-лідера. В таких випадках часто виникають конфлікти і кадрові зміни та ін. В цілому програма є зручною платформою для побудови більш деталізованих версій.

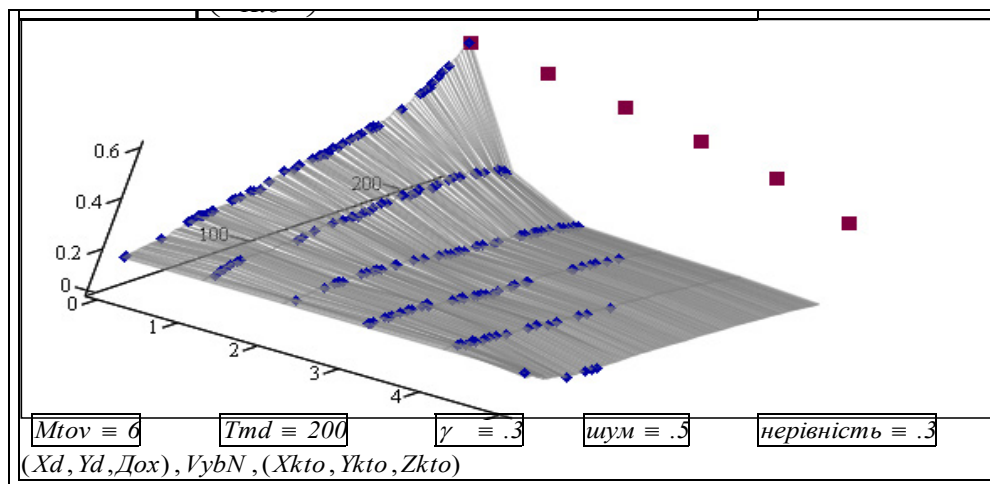


Рис. 1. Тестування програми моделювання процесів прийняття рішень в умовах невизначеності. Випадок малої різниці в ефективності альтернатив.

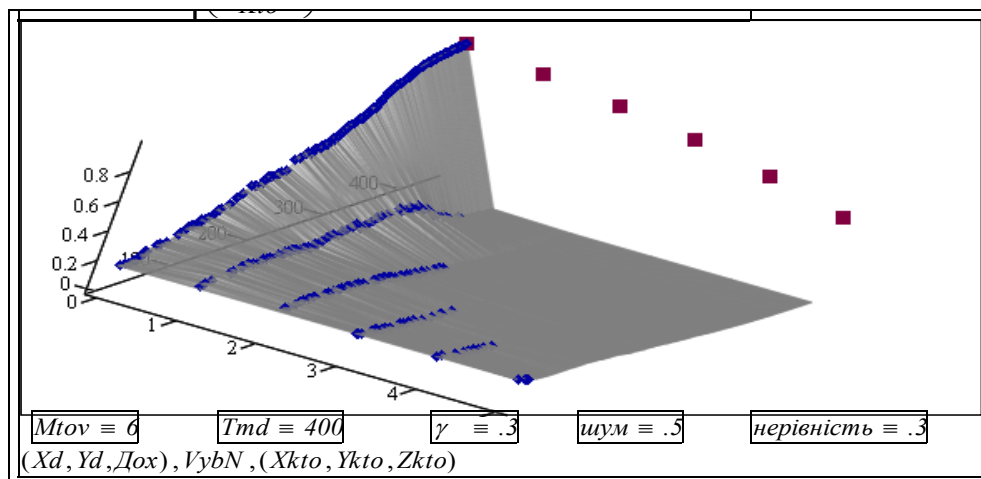


Рис. 2. Тестування програми моделювання процесів прийняття рішень. Випадок великої різниці в ефективності альтернатив.

Підпрограма «вибір-навчання» для моделювання процесів прийняття рішень розподілення ресурсів фірми між продуктами оформлена як функція трьох змінних: $VbNv(Krit, Vy1, \gamma)$, де $Krit$ – вектор оцінок потенціалу альтернатив (продуктів, підрозділів); $Vy1$ – вектор розподілу апріорних імовірностей вибору; γ — параметр «швидкість навчання». Функція повертає $Vy2$ – вектор розподілу апостеріорних імовірностей вибору альтернатив, $Komu$ – скаляр, номер альтернативи, якій віддані поточні ресурси.

На базі модулів $Vez(D, Tf, X, k2)$ та $VbNv(Krit, Vy1, \gamma)$, розроблено модуль «Одна фірма на М-товарному ринку». На рис. 3 показано схему програми, а на рис. 4 — приклад процесу функціонування

фірми. Можна бачити, що в кінці процесу обсяги виробництва відповідають їх ринковому рейтингу. За результатами тестування програми виявилась можливість оцінювати ризики бізнесової діяльності з заданими умовами і робити якісні прогнози розвитку. На цій основі може бути виконаний другий етап аналізу – пошук параметрів діяльності фірми — прийняття рішень, вибору технологій та ін., що забезпечують зменшення ризику з заданим рівнем доходів.

```

VrIf(Xv, Rv, ef) = "Ввід стартових значень:"
                  " вектор темпу виробництва X"
                  "вектор накопиченого виробництва Xs"
                  "обчислення витрат виробництва Vytr"
                  Inve<1> ← (Xv·cp) → "обчислення інвестицій"
                  for t ∈ 1..Tm0 – "цикл по крокам моделювання"
                    for j ∈ 1..Mtv – "цикл по видам продукції"
                      "обчислення поточного приросту виробництва"
                      "по кожному продукту даної фірми:"
                      ΔXj,t+1 ← [ ef · ( (Rvj - Suj,t) / Rvj ) · Invej,t ] · krk
                      Xj,t+1 ← max[ (Xj,t + ΔXj,t+1), 0 ]
                      Xsj ← (Xsj + Xj,t+1) □ – "накопичений обсяг виробництва"
                      "обчислення витрат (собівартості):"
                      Vytrj,t+1 ← [ [ vva · (posj)ln(2) ] · Xj,t + vpo ] · krk
                      Doxj,t+1 ← cpj · Xj,t+1 – "плановий дохід"
                      Dxkj,t+1 ← vez( Dox<t>, Tf<t>, X<t> )j – "реальний дохід"
                      Prbj,t+1 ← Dxkj,t+1 - Vytrj,t+1 – "реальний прибуток"
                      Invej,t ← (Rvj - Suj,t) / Rvj · max( Prbj,t, kredit )
                      kritj ← a1 · (Prbj,t+1 - Prbj,t) + Prbj,t+1 + (Doxj,t+1 / Vytrj,t+1) · 10
                    bybu ← VbNv(krit, Vy1, γ) – прийняття рішення
                    Кому ← bybu2 – "кому на цьому кроці дано ресурс"
                    Vy1 ← bybu1 – "нові значення імовірності вибору"
                    "додаткова інвестиція для перспективного продукту:"
                    Dobt ← ∑k=1Mtv Prbk,t - ∑k=1Mtv Invek,t
                    InveКому,t+1 ← max[ (InveКому,t + Dobt), 0 ]
                    vух<t> ← stack( X<t>, Inve<t>, Dobt )
                  vух
    
```

Рис. 3. Схема програми моделювання діяльності фірми

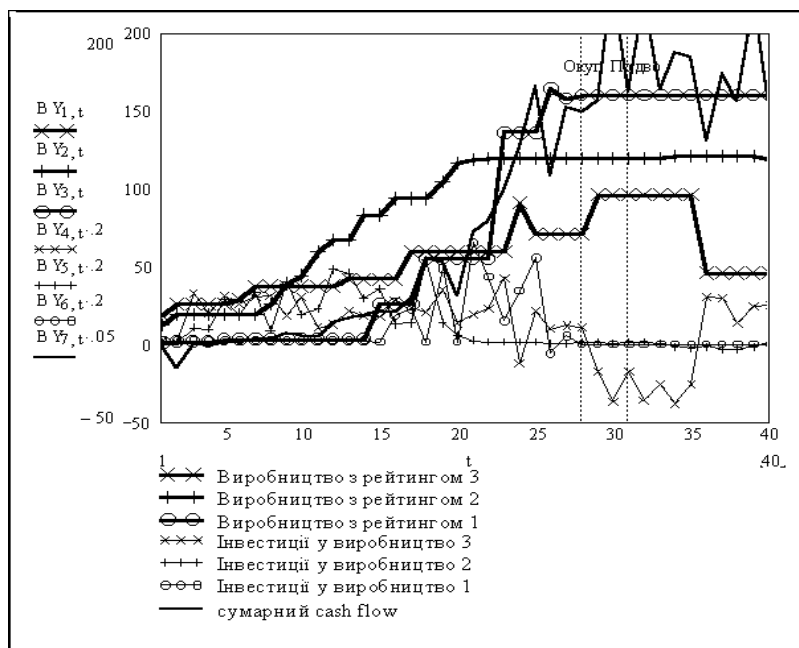


Рис. 4. Тестування програми моделювання розвитку багатопродуктової

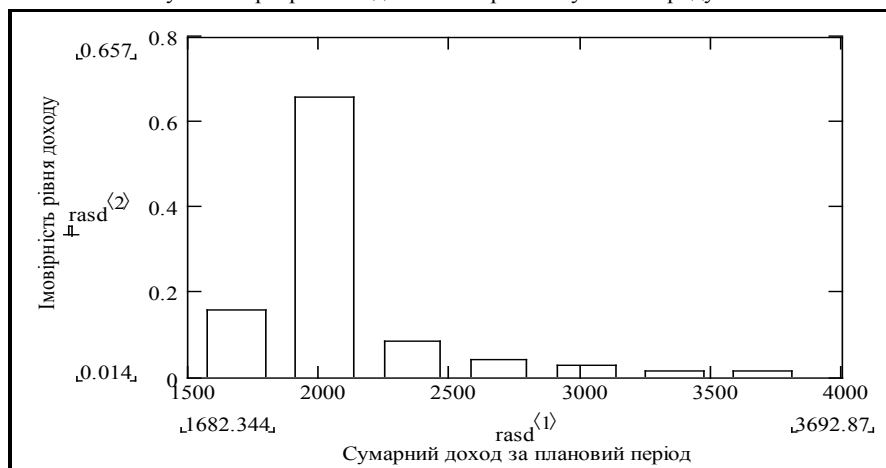


Рис. 5. Частотний розподіл розміру сумарного доходу фірми

Програма дозволяє набирати віртуальну статистику діяльності фірми. На рис. 5 показано частотний розподіл доходу фірми. На вибірці з 200 прогонів програми отримано відношення максимального до мінімального доходу 2,5. Приблизно 70 % значень вибірки звичайно (виконано 20 випробувань по 200 прогонів) концентруються біля мінімального значення. Частотний розподіл має довгий «хвіст» доходів, що у два-три рази перевищують середній. Є багато теоретичних розподілів такого виду: логнормальне, хі-квадрат та ін.

Загальний висновок для практика: у 70—90 % випадків фірма отримує стабільний сумарний дохід біля нижньої границі діапазону можливих доходів. У 10—20 % випадків фірмі «везе» — вона може отримати в 2—3 рази більше очікуваного доходу. Програма моделювання має біля десяти параметрів, за рахунок яких її можна настроїти на різні галузі і сектори економіки. На базі модуля «Одна фірма на М-товарному ринку» розроблено програму «N фірм на М-товарному ринку».

Висновки

Розроблено математичну модель і базову програму моделювання багатопродуктової системи виробників. Програма випробувана, отримані результати подібні реальним. За результатами моделювання можна висунути гіпотезу про існування оптимального рівня ризику і оптимального рівня різноманітності — розкиду параметрів елементів виробничої системи. Це аналогічно необхідності певного рівня шумів і збурень для настроювання адаптивних систем управління. Показана продуктивність запропонованої технології розробки робочих моделей системи виробників.

Перспективи. Базова програма моделювання може стати джерелом для створення клону програм моделювання організаційно-виробничих систем різних масштабів. За умов ретельного настроювання на реальні параметри виробництв конкретної галузі, розроблена програма може використовуватись для оцінки ризиків бізнесу, а саме розкиду сумарного доходу за певний період.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Опойцев В. И. Равновесие и устойчивость в моделях коллективного поведения. — М.: Наука, 1977. — 311 с.
2. Пешель М. Моделирование сигналов и систем. — М.: Мир, 1981.. — 301 с.
3. Боровская Т. Н., Северилов В. А., Колесник И. С. Детская экономика. Моделирование и оптимизация производственных систем // Компьютеры +Программы. — 2002.. — № 2. — С. 43—47.
4. Боровська Т. М., Северілов В. А. Електронна книга «Моделювання у менеджменті». Технології навчання, орієнтовані на моделювання // Доповіді МНК «Інтернет – освіта – наука – 2002». Том 2, — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2002. — С. 285—288.

5. Бадьора, С. П., Колесник І. С. Інтеграція навчання, наукових досліджень і практики на прикладі узагальнень задачі Марковиця // Доповіді МНК «Інтернет – освіта – наука – 2002». Том 2, — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2002. — С. 275—279.
6. Колесник, І. С., Северілов В. А. Оптимальне управління розподіленням ресурсів в децентралізованих системах // Доповіді МНК «Контроль і управління в технічних системах». — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2001. — С. 73—78.
7. Колесник І. С., Бадьора, С. П. Інтернет-орієнтовані технології виробництва інтелектуальної продукції. Структура малих дослідницьких груп // Доповіді МНК «Інтернет – освіта – наука – 2002». Том 2, — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2002. — С. 280—284.
8. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия (индустриальная динамика). Пер с англ. — М.: Прогресс, 1971. — 340 с.

Рекомендована кафедрою комп'ютерних систем управління

Надійшла до редакції 20.05.03
Рекомендована до опублікування 27.06.03

Боровська Таїсія Миколаївна — доцент, **Бадьора Сергій Петрович** — аспірант, **Колесник Ірина Сергіївна** — здобувач.

Кафедра комп'ютерних систем управління. Вінницький національний технічний університет
Северілов Віктор Андрійович — доцент кафедри економічної кібернетики.
Вінницький державний аграрний університет