

С. В. Устенко, д-р екон. наук,
ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана»

АНАЛІЗ СИСТЕМИ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ІНВЕСТИЦІЯМИ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ

АНОТАЦІЯ. Обґрунтовано задачу синтезу керування інвестиціями на підприємствах з випуском високотехнологічної продукції. Запропоновано алгоритм керування інвестиціями в інтегрованій виробничій системі. Проведено аналіз результатів моделювання динамічної моделі оптимального керування інвестиціями з урахуванням функції штрафу, які можуть бути використані на високотехнологічних підприємствах у різних галузях економіки України.

АННОТАЦИЯ. Обосновано задачу синтеза управления инвестициями на предприятиях по выпуску высокотехнологической продукции. Предложено алгоритм управления инвестициями в интегрированной производственной системе. Проанализировано результаты моделирования динамической модели оптимального управления инвестициями с учетом функции штрафа, которые могут быть использованы на высокотехнологических предприятиях в разных отраслях экономики Украины.

SUMMARY. Given the reason for the synthesis of investment management in the companies, which produce highly-technological products. Introduced the algorithm of investment management in the integrated production system. Analyzed the results obtained with the help of the dynamic investment management model taking into account the function of fine, which can be used at various industries in Ukraine.

КЛЮЧОВІ СЛОВА. ВФ — виробнича функція.

Майбутній стан економіки України пов'язаний з перетворенням виробничого, фінансово-економічного й у результаті спільного середовища існування людини в єдиному потоці загального переходу до інноваційних систем, які адекватно реагують на будь-які зміни кон'юнктури ринків, що забезпечують масове створення, розповсюдження і використання інновацій на основі інтенсивного технологічного освоєння нових наукових знань і оптимізації інноваційних, виробничих, фінансових та інвестиційних процесів, утворюючих єдину високотехнологічну систему [1].

Формування інвестиційної стратегії підприємства являє собою складний творчий процес, що ґрунтується на прогнозуванні окремих умов здійснення інвестиційної діяльності і формується в рамках загальної стратегії економічного розвитку, погоджується з нею за цілями, етапами, строками реалізації. Як довгострокові конкретизовані цілі підприємства на різних етапах можуть виступати [2]: досягнення певних норми і маси прибутку, зростання масштабів шляхом збільшення торгового обороту і частки контролюваного ринку, виробництво високотехнологічної продукції, зміна зношеного і застарілого обладнання для зниження витрат виробництва, захист навколишнього середовища й ін.

Тому проблема здійснення інвестиційної діяльності стала однією з найактуальніших у процесі реформування підприємств, особливо при створенні інтеграційних виробничих утворень. Пошук і мобілізація джерела інвестування, з одного боку, та реалізація програм інвестування, з іншого, стали актуальними в усіх сферах економічної діяльності. Інвестиційна діяльність підприємства — це об'єктивний процес, що має свою логіку, розвивається відповідно до властивих йому закономірностей і відіграє важливу роль у виробничій діяльності підприємства, оскільки за своєю економічною природою інвестиції являють собою відмову від сьогочасного споживання заради одержання прибутків у майбутньому. Проблема розподілу інвестицій завжди залишається гострою для будь-яких ринкових структур, так як інвестиції на відміну від споживання є ресурсом обмеженим. Так чи інакше постає питання: розподіл обмеженої кількості ресурсів між усіма рівнями інтегрованої структури в умовах постійної потреби.

Одним із шляхів розв'язання проблеми максимізації ефективності високотехнологічного підприємства (системи) є розробка та впровадження багаторівневих моделей функціонування систем [4] та механізмів розподілу інвестицій динамічної системи. Для формування ефективних інвестиційних стратегій високотехнологічних підприємств необхідно, щоб величина реально доступних інвестиційних коштів була достатньою для здійснення мети окремого модуля виробничої системи.

У роботі [5] запропоновано основні принципи організації інвестування:

1. Принцип перерозподілу ресурсів на підґрунті «золотих правил» накопичення інвестицій. Процес інвестування високотехнологічних підприємств має бути безперервним і одночасним для всіх модулів системи. Даний принцип доцільно використовувати в магистральній зоні функціонування інтегрованої виробничої системи.

2. Принцип «слабкого модуля» системи. У інтегрованої виробничої системи всі модулі повинні ефективно працювати як самостійно, так і спільно в системі. В системі вибирається модуль за найбільш недостатньою фондоозброєністю і всі інвестиції спрямовуються на підвищення фондоозброєності цього слабкого модуля. Це можна зробити за рахунок перерозподілу ресурсів у самій динамічній системі.

3. Принцип конвеєрної організації модульного інвестування. Використовується при недостатній фондоозброєності кількох «слабких модулів» системи пропорційно залежно від програми випуску продукції.

Мета роботи — побудувати алгоритм керування інвестиціями в задачі синтезу керування динамічної системи.

У роботі [3] розглянуто модель функціонування інтеграційної виробничої системи, структуру якого складають кілька модулів: ресурсний, науково-виробничий, виробничий і ремонтно-сервісний.

Динамічна модель оптимального економічного розвитку такого інтеграційного утворення має вигляд

$$c(k_0, k^*, \alpha) = (1 - \sum_{i=1}^4 \alpha_i(t)) \Pi(k(t)) \rightarrow \max \quad (1)$$

для системи

$$\dot{k} = \alpha \Pi(k) - M k, \quad (2)$$

з краєвими умовами на інтервалі розвитку $[0, T]$: $k(0) = k_0$, $k(T) = k_1$, стаціонарним станом $k(t) = k^*$ на проміжку часу t інтервалу T та з фазовим обмеженням

$$f_0(k) \geq y_0, \quad (3)$$

де α — вектор долей інвестицій, $\Pi(k) = p_1 f(k) - B$ — прибуток, B — витрати, p_1 — ціна одиниці НМПР, M — діагональна матриця коефіцієнтів амортизації μ_i , k — вектор фондоозброєності, $f(k)$ — агрегована виробнича функція (ВФ) для ресурсного, наукового та виробничого модулів, $f_0(k)$ — агрегована ВФ для ресурсного та ремонтно-сервісного модулів, y_0 — мінімально-необхідний рівень ремонтно-сервісного обслуговування. Вважається, що коли $\sum_{i=1}^4 \alpha_i = 1$, то увесь прибуток іде на інвестиції і чистого прибутку немає, тобто $c(t) = (1 - \sum_{i=1}^4 \alpha_i) \Pi(k) = 0$. При $\sum_{i=1}^4 \alpha_i < 1$, $c(t) > 0$ чистий прибуток є і виробництво рентабельне.

Також у роботі [3] отримано структуру оптимальних траєкторій фондоозброєності динамічної системи і доведено існування трьох зон зони керування: початкова, магістральна (стаціонарна) та кінцева. З економічної точки зору динамічна система в початковій та кінцевій зонах керування нарощує виробничий потенціал, а в магістральній зоні зберігає оптимальний розподіл інвестицій та споживання в багатомодульній структурі високотехнологічного підприємства.

Виходячи з структури оптимальної траєкторії [3] робимо висновок, що оптимальне керування має вигляд:

$$\alpha^0(t) = \begin{cases} \alpha^1(t) \quad \forall \quad t \in [0, t_{\min}^1], \\ \alpha^* \quad \forall \quad t \in [t_{\min}^1, T - t_{\min}^2], \\ \alpha^2(t) \quad \forall \quad t \in [T - t_{\min}^2, T], \end{cases} \quad (4)$$

де $t_{\min}^1$ і $t_{\min}^2$ — мінімальні значення часу відповідно в початковій та кінцевих зонах керування; $\alpha^1(t)$ — керування, яке відповідає часу $t_{\min}^1$, а $\alpha^2(t)$ — $t_{\min}^2$.

Для спрощення побудови алгоритму синтезу керування врахуємо обмеження $f_0(k) \geq y_0$ за допомогою функції штрафу $\lambda(x)$

$\Pi(k) = f(k) - \ell \lambda(y_0 - f_0(k)) - B$, де $\lambda(x) = \begin{cases} 0, & x < 0; \\ x, & x > 0, \end{cases}$ ℓ — міра штрафу.

Невідомими значеннями керування в (4) є керування $\alpha^1(t)$ та $\alpha^2(t)$. Керування $\alpha^1(t)$ є задачею оптимального переходу з початкової точки x у точку k^* , тоді як $\alpha^2(t)$ є задачею оптимального переходу з точки k^* (магістраль) у кінцеву точку y . Оскільки ці задачі рівносильні, то вкажемо алгоритм знаходження керування $\alpha^1(t)$.

Проводимо дискретизацію задачі

$$c(x, y, k(\cdot), \alpha(\cdot), T) = \int_0^T (1 - v(t)) \Pi(k(t)) dt \rightarrow \max, \quad (5)$$

$$\dot{k}_i = \alpha_i(t) \Pi(k(t)) - \mu_i k_i(t),$$

$$f_0(k(t)) \geq y_0, \quad k(0) = x, \quad k(T) = y, \quad v(t) = \sum_{i=1}^4 \alpha_i(t) \leq 1,$$

на інтервалі $[0, T]$ на N рівних частин і враховуючи те, що динамічну систему (2) можна замінити за методом Ейлера різницеvim наближенням $k^{n+1} = k^n + h(u^n \Pi(k^n) - M k^n)$, маємо $y = x + h(\alpha \Pi(x) - M x)$, де y, x, α, Π — векторне зображення, M — діагональна матриця коефіцієнтів $\mu_i, i = 1, \dots, 4$, отримуємо загальний прибуток

$$\Pi(x) = \frac{1}{v} \left[\frac{\sum_{i=1}^4 (y_i - x_i)}{h} + \sum_{i=1}^4 \mu_i x_i \right]. \quad (6)$$

З урахуванням виразу (6) цільова функція (5) набуде вигляду

$$\Psi_h(x, y) = \Pi(x) - \frac{\sum_{i=1}^4 (y_i - x_i)}{h} - \sum_{i=1}^4 \mu_i x_i.$$

Тоді на проміжному кроці z значення цільової функції (5) дорівнює

$$\Psi_{2h}(x, y) = \sup_z (\Psi_h(x, z) + \Psi_h(z, y)) = \Psi_2^0(x, y) + \sup_z [\Pi(z) - \sum_{i=1}^4 \mu_i z_i],$$

$$\text{де } \Psi_2^0(x, y) = \Pi(x) - \sum_{i=1}^4 \mu_i x_i - \frac{\sum_{i=1}^4 (y_i - x_i)}{h}.$$

Позначимо $f(\mu, x) = \sup_z [\Pi(z) - \sum_{i=1}^4 \mu_i z_i]$. Тоді, врахувавши наближене значення $z = x + h(\alpha \Pi(x) - Mx)$, маємо

$$f(\mu, x) = f_0(\mu, x) + h \Pi(x) \sup_{\alpha} [\sum_{i=1}^4 \alpha_i (\frac{\partial \Pi(x)}{\partial x_i} - \mu_i)],$$

$$\text{де } f_0(\mu, x) = \Pi(x) - h \Pi'_x Mx - \sum_{i=1}^4 \mu_i x_i + h \sum_{i=1}^4 \mu_i^2 x_i.$$

Позначимо

$$m(x) = \max_i (\frac{\partial \Pi(x)}{\partial x_i} - \mu_i). \quad (7)$$

Тут можливі два випадки:

а) коли $m(x) < 0$, тоді вектор

$$\alpha^1(x) = 0; \quad (8)$$

б) при $m(x) > 0$ оптимальним керуванням буде

$$\alpha_i^1(x) = \begin{cases} 1, & \frac{\partial \Pi(x)}{\partial x_i} - \mu_i = m(x), \quad i = 1, 2, 3, 4. \\ 0. \end{cases} \quad (9)$$

Вважаючи, що в задачі синтезу керування $x \equiv k$ (7), позначимо

$$b_i(k) = \frac{\partial \Pi(k)}{\partial k_i} - \mu_i. \quad (10)$$

Тоді вектор $b(k)$ (10) можна інтерпретувати як вектор об'єктивно обумовлених оцінок дефіцитності вектора k фондоозброєності модулів високотехнологічного підприємства. Дійсно, якщо $k = k^*$, тобто при збалансованому розвитку на магістралі, відповідно до «золотих» правил накопичення

$b_i(k) = \frac{\partial \Pi(k)}{\partial k_i} - \mu_i = 0$. При цьому фондоозброєність усіх модулів системи достатня для випуску продукції. Якщо для деякого i виконується умова $b_i(k) < 0$, тобто $\frac{\partial \Pi(k)}{\partial k_i} < \mu_i$, то фондоозброєність

i -го ресурсу є надлишковою або, по-іншому, фондоозброєність i -го модулю перевищує необхідну фондоозброєність для випуску продукції. Коли $b_i(k) > 0$, то, навпаки, $\frac{\partial \Pi(k)}{\partial k_i} > \mu_i$, тоді фондоозброєність i -го модулю недостатня для роботи підприємства.

У випадку а) (8) фондоозброєність усіх модулів є надлишковою, і тому весь прибуток підприємства йде на споживання ($\alpha^1(k) = 0$). Для випадку б) (9) у системі вибирається i -й модуль за найбільш недостатньою фондоозброєністю й усі інвестиції спрямовуються на підвищення фондоозброєності цього модулю.

На рис. 1 в одновимірному зображенні показано графічну інтерпретацію умов розглянутих випадків. Коли пряма похідної $\frac{\partial \Pi(k)}{\partial k_i}$ йде паралельно прямій μk , то точка 1 на рис. 1 є магістральною $k = k^*$. Інші варіанти в точках 2 та 3 на рис. 1 обумовлюють, відповідно, випадки по дефіциту та надлишкам ресурсу k .

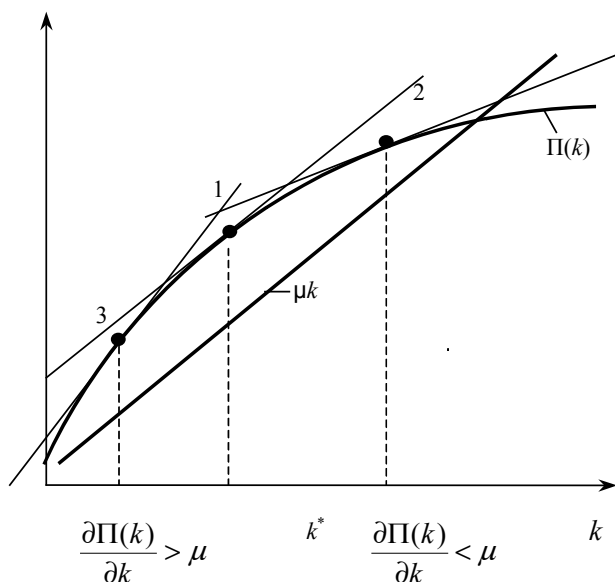


Рис. 1. Графічна інтерпретація умов (8),
(9) задачі синтезу керування

Проведемо моделювання задачі синтезу керування динамічної системи.

Підприємство випускає один агрегований тип продукції на певному періоді $T = 100$. ВФ i -х модулів $F(k) := A \cdot \prod_{i=0}^3 (k_i)^{a_i}$,

$$a := \begin{bmatrix} 0,1 \\ 0,2 \\ 0,3 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad A := 1, \quad F_0(k) := A_0 \cdot (k_0)^{a_0} \cdot (k_3)^{a_3}, \quad a_0 := 0,2, \quad a_3 := 0,4, \quad A_0 := 1,$$

$y_0 := 2$ з початковими значеннями фондоозброєності $k_0 = (5,1,1,4)$, інтервалом $T := 100$, а кінцева точка траєкторії системи $k_1 = k_i(T)$ буде співпадати зі стаціонарним станом системи $k^* = (3,660; 4,363; 3,272; 2,957)$, кількість точок моделювання динамічної системи $N = 5000$. Таким чином, залишаємо дві зони керу-

вання, з них перша підлягає синтезу керування, а друга – стаціонарна — досягне магістралі і в кінці періоду досягне кінцевої точки $k = k^*$. Крім того, введемо функцію штрафу, рівень міри штрафу незначний $\ell = 0,45$.

Такий приклад характерний для виробництва, коли заданий певний період T розвитку системи для проектування, розробки та обслуговування заданої агрегованої продукції. Тому динамічна система буде мати дві зони керування: початкову та стаціонарну. Як правило, певний період T системи складає до 3—5 і більше років від початку проектування до серійного випуску високотехнологічної продукції. Тому будемо вважати, що на даному проміжку часу потрібно в початковій зоні провести синтез керування системи за перерозподілом базових ресурсів (в першу чергу направляти інвестиції в той i -й модуль системи, який у заданий момент часу цього найбільше потребує) для виходу на магістраль. У магістральній зоні керування здійснюється синтез керування з перерозподілу ресурсів згідно «золотих» правил.

У даному випадку на протязі всього періоду розвитку системи технологія виробництва не змінюється. Тобто вважається, що $k^* = k_1$, і в кінці цього періоду ще не визначено нову виробничу програму для розробки іншої продукції. Іншими словами — динамічна система на проміжку часу T не виходить на нову магістраль.

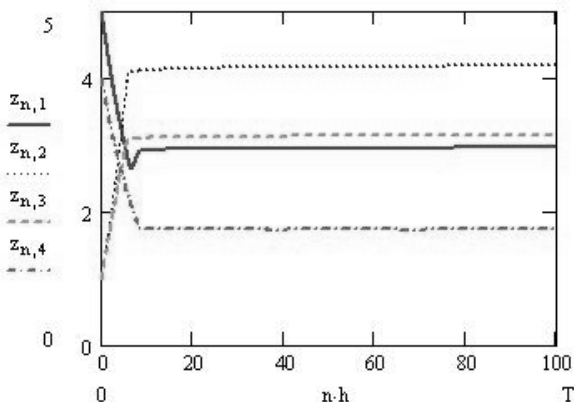


Рис. 2. Результат моделювання траєкторій фондоозброєності $Z_{n,i} = k_i$, $i = 1, \dots, 4$ початкової зони динамічної системи в задачі синтезу керування динамічної системи при $k_0 = (5, 1, 1, 4)$, $T = 100$, $N = 5000$, $\ell = 0,45$

На рис. 2 показано результати моделювання оптимальних траєкторій фондоозброєності $Z_{n,i} = k_i$ у задачі синтезу керування динамічної системи при заданих вище початкових значеннях динамічної системи $k_0 = (5,1,1,4)$.

Результат моделювання оптимальних траєкторій фондоозброєності в задачі синтезу керування динамічної системи показує, що динамічна система:

— виходить на нову траєкторію зі стаціонарним станом $kk = (2,953, 4,180, 3,135, 1,727)$;

— досягає магістралі за менший інтервал часу (приблизно в 2 рази швидше) ніж у загальній моделі (2), що пов'язано з підвищенням точності моделювання динамічної системи за рахунок зменшення кроку $h = 100 / 5000 = 0,02$;

— отримала більший умовний чистий прибуток $\Pi_1(k) := \Pi(k) - \mu k$,
 $\Pi(k) := F(k) - B + \nu \cdot \chi(F_0(k) - y_0)$, $\chi(x) := \begin{cases} 0 & \text{if } x \geq 0 \\ x & \text{otherwise} \end{cases}$, який для даної траєкторії дорівнює $\Pi_1(kk) = 0,435$, ніж чистий прибуток на магістралі kk_1 — $\Pi_1(kk_1) = 0,329$;

— у початковій зоні та магістралі підпорядкована оптимальному керуванню інвестицій (9) (рис. 3, а—д). Сума середніх часток інвестицій $P0_n$ на магістралі kk складає $\alpha_0 = 0,777$ (рис. 3, г), а на основній магістралі kk_1 — $\alpha_1 = 0,842$.

Загальний висновок даного прикладу моделювання динамічної системи такий: малі значення міри штрафу ℓ (невеликі штрафи, які накладаються на систему при невиконанні умови $f_0 > y_0$) не настільки істотно впливають на отриманий прибуток, що дозволяє більшу частину інвестицій з чистого прибутку направити на розвиток виробництва або збільшення випуску, тим самим магістраль може істотно відрізнятись від основної $kk_1 = k^* = (3,660; 4,363; 3,272; 2,957)$, що і бачимо на рис. 2, а також при визначенні середніх значень часток інвестицій на магістралях, коли $\alpha_0 < \alpha_1$.

Введемо надмірно великі міри штрафу $\ell = 500.00$.

Тоді отримуємо наступні результати:

$$k_0 = (5,1,1,4), T = 100, N = 5000, h = 0,020, y_0 = 2$$

$$kk_1 = (3,660; 4,363; 3,272; 2,957), kk = (3,633; 4,357; 3,268; 2,910),$$

$$\Pi_1(kk) = 0,333, \Pi_1(kk_1) = 0,329,$$

$$\alpha_0 = 0,840, \alpha_1 = 0,842, 1 - \alpha_0 = 0,160$$

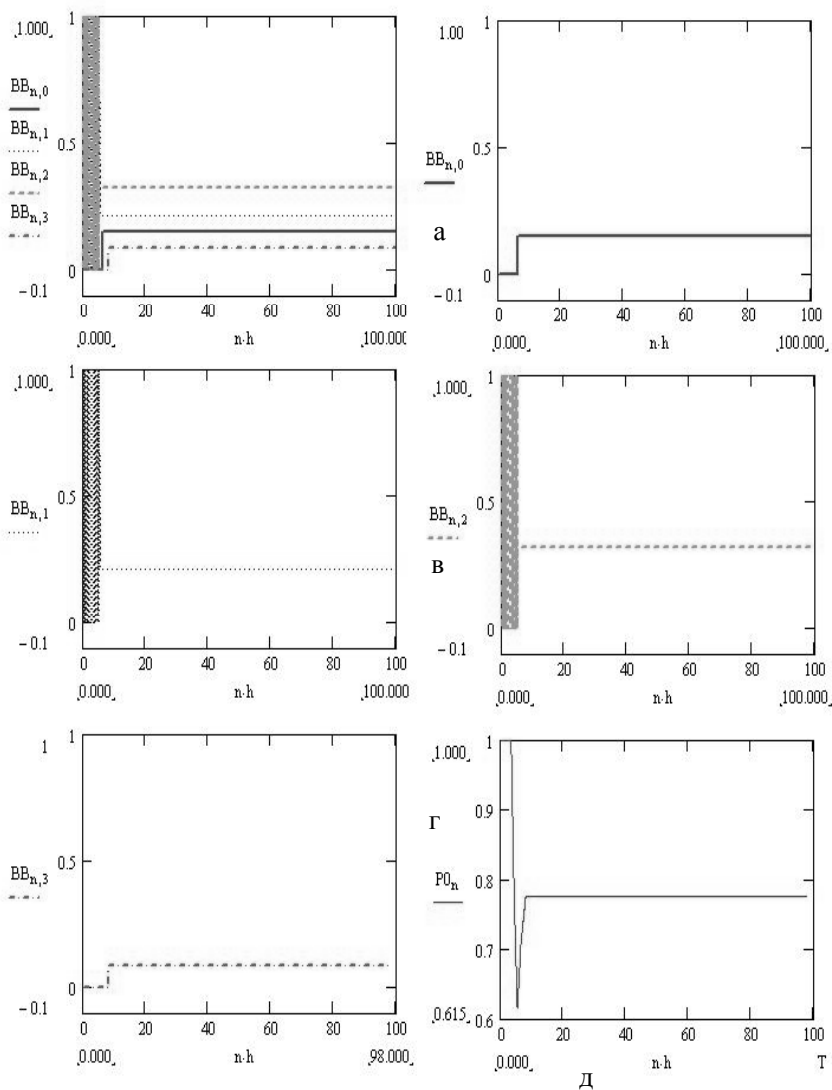


Рис. 3. Результат моделювання траєкторій оптимального керування $BB_{n,i} = \alpha_i$, $i = 0, \dots, 3$ динамічної системи в задачі синтезу керування динамічної системи при $k_0 = (5, 1, 1, 4)$, $T = 100$, $N = 5000$, $\ell = 0,45$

На підприємстві всі модулі повинні ефективно працювати як самостійно, так і спільно в системі. Якщо фондоозброєність ремонтно-сервісного модуля недостатня для виконання гарантійних зобов'язань по обслуговуванню перед споживачами продукції, тобто порушуються умови $f_0 > y_0$, то потрібно прагнути уникати штрафів, тим більше великих. Це можна зробити за рахунок перерозподілу ресурсів у самій динамічній системі. Наприклад, у кожний момент часу направляти інвестиції у той модуль системи, що є «слабкою ланкою». Якщо теоретично слабкими ланками будуть два модуля, то інвестиції, як $1/2$ частки від загального обсягу інвестицій, направляються відповідно у два модулі одночасно і т. д. У системі для слабких чотирьох ланок — по $1/4$ частини у кожний модуль. Однак на практиці завжди знайдеться найгірший стан одного з чотирьох модулів системи, тому оптимальним керуванням буде керування, коли виконується умова (9). При великих штрафах система виходить з початкової зони на траєкторію магістралі kk зі значно більшими витратами. Сума часток інвестицій $\alpha_0 = 0,840$, $\alpha_1 = 0,842$, і прибутки $\Pi_1(kk) = 0,333$, $\Pi_1(kk_1) = 0,329$ на двох магістралях збігаються.

Література

1. Меркулов М. М. Науково-технологічний розвиток і управління інноваціями / М. М. Меркулов. — О.: ОНУ ім. І. Мечникова, 2008. — 344 с.
2. Інвестиції і інвестиційна діяльність. Економічна суть інвестицій / 2005. — Режим доступу <http://www.refine.org.ua/pageid-1696-1.html>.
3. Галіцин В. К., Устенко С. В. Розвиток наукомістких підприємств України: методи і моделі // Моделювання та інформаційні системи в економіці. — 2010. — Вип. 81. — С. 102—133.
4. Устенко С. В. Багатомодульна модель функціонування наукомісткого підприємства // Моделювання та інформаційні системи в економіці: Зб. наук. пр. — Вип. 76. — К.: КНЕУ, 2007. — С. 62—81.
5. Устенко С. В. Зінов'єва І. С. Синтез керування інвестиціями у виробничо-промислових структурах // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. — 2010. — Вип. 5(55). — С. 185—189.

Стаття надійшла до редакції 11.11.2010 р.