Технічні науки

УДК 336.72

Онипко Богдан-Микола Олексійович
студент кафедри математичного моделювання економічних систем
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Оныпко Богдан-Микола Алексеевич
студент кафедры математического моделирования экономических систем
Национального технического университета Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»
Onypko Bogdan-Mykola
Student of the Department of Mathematical Modeling of Economic Systems
of the National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ МЕТАЛУРГІЙНИМ ВИРОБНИЦТВОМ В УКРАЇНІ
ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМ ПРОИЗВОДСТВОМ В УКРАИНЕ
ECOLOGICAL-ECONOMIC MODEL OF MANAGEMENT OF METALLURGICAL PRODUCTION IN UKRAINE

Анотація. *В роботі досліджується еколого-математична модель управління металургійним виробництвом в Україні з урахуванням екологічних проблем, які виникають при розширенні цього виробництва. Основна увага приділена аналізу впливу зростання капіталу ,робочої сили на випуск продукції (споживання) та пов'язаному з цим шкідливих викидів (забруднення).*

Ключові слова: *металургійне виробництво, економіко-екологічна модель, управління, продукт, капітал, споживання, забруднення.*

Аннотация. *В работе исследуется эколого-математическая модель управления металлургическим производством в Украине с учетом экологических проблем, возникающих при расширении этого производства. Основное внимание уделено анализу влияния роста капитала, рабочей силы на выпуск продукции (потребления) и связанном с этим вредных выбросов (загрязнения).*

Ключевые слова: *металлургическое производство, экономико-экологическая модель, управление, продукт, капитал, потребления, загрязнения.*

Summary. *The paper examines the ecological and mathematical model of metallurgical production management in Ukraine, taking into account the environmental problems that arise in expanding this production. The main attention is paid to the analysis of the influence of capital growth, labor force on output (consumption) and related harmful emissions (pollution)*

Key words: *iron and steel production, economic-ecological model, management, product, capital, consumption, pollution.*

Постановка проблеми. Необхідно знайти виробничу функцію, яка відображає зв'язок основних факторів, що впливають на металургійне виробництво, а саме капітал, робочу силу, та встановити математичні зв'язки цих параметрів з споживанням та забрудненням. На базі пошуку доцільного управління знайти оптимальне співвідношення для зростання споживання при зниженні ступеню забруднення.

Актуальність. Визначається значний рівень забрудненням навколишнього середовища в районах металургійного виробництва таких міст як Запоріжжя, Маріуполь, Дніпро та інші**.**

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження складають праці таких фахівців у економічній галузі, як В. Е. Болгов [1], С. А. Ашманов [2], О. І. Пономаренко, [3], Р. С. Гутер [4], Б. В. Овчинский [5].

Методологія: застосоване математичне моделювання виробництва, численне диференціювання та інтегрування функцій, що входять в модель.

Виклад основного матеріалу. Для вирішення задачі знайдена еколого-математична модель у вигляді диференціального рівняння і системи рівнянь, які пов'язують параметри із сталими коефіцієнтами, що характеризують металургійне виробництво. Пошук сталих коефіцієнтів виконано на базі аналізу статистичних даних по основним металургійним підприємствам України.

Найбільше підходить для металургійного виробництва двофакторна виробнича функція Кобба-Дугласа [1], параметри якої можливо визначити по статистичним даним.

$$Y = AK^{b1}L^{b2}. \qquad (1.1)$$

Де К-основний капітал, L-витрати праці, A – технологічний прогрес.

A,b1,b2 – числові параметри б які відповідають умовам : $b1 > 0$, $b2 > 0$, $b1 + b2 = 0$

Моделювання економічних процесів на виробництві дозволяє виконувати аналіз діяльності підприємства, прогнозувати результати його роботи та виконувати оптимальне керування для досягнення поставленої мети. При цьому, звичайно, метою є економічне зростання. Для цього випадку найчастіше застосовується моделі, де випуск, або дохід підприємства є функцією виробничого капіталу – K(t) та праці (трудових ресурсів) - L(t). Як зазначено вище для металургійного виробництва важливо враховувати забруднення, яке виникає при виробництві - P(t). Тоді основне рівняння для металургійного виробництва буде мати вигляд[2,3,]:

$$Y(t) = C(t) + I(t) + P(t), \qquad (1.2)$$

де C(t) – обсяг споживання; P(t) - обсяг забруднення;
I(t) - обсяг капіталовкладень; Y(t) - випуск продукції.

Мабуть, доцільно припустити, що споживання C(t) та забруднення P(t) пропорційні випуску продукції. Тобто

$$C(t) = \alpha Y(t), \quad P(t) = \varepsilon Y(t), \tag{1.3}$$

де α, ε – коефіцієнти пропорційності.

Тоді рівняння (1.1) прийме вигляд

$$Y(t) = \alpha Y(t)+ \varepsilon Y(t) +I(t) = F(K,L). \tag{1.4}$$

Враховуючі , що функція F(K,L) не залежить безпосередньо від часу t і є двічі диференційована[3,4] функція, причому для будь якого α більше: нуля виконується рівняння:

$$F(\alpha K, \alpha L) = \alpha F(K,L) = \alpha Y. \tag{1.5}$$

Співвідношення (1.4) означає, що виробнича функція характеризується сталим доходом від розширення масштабів виробництва. З урахуванням цієї властивості виробничої функції зводимо задачу до вигляду, де всі змінні нормовано (в розрахунку на одного працівника).

$$\begin{gathered} y(k) = Y/L = F(K/L,1) = f(K/L), \\ c(t) = C(t)/L(t), \\ i(t) = I(t)/L(t), \\ p(t) = P(t)/L(t). \end{gathered} \tag{1.6}$$

Тоді

$$y(t)= c(t) + i(t) + p(t). \tag{1.7}$$

Припустимо, що амортизація капіталу пропорційна розміру капіталу K, тоді капіталовкладення , яке визначається зміною наявного капіталу з часом

dK/dt = $\dot{K}$ з урахуванням частини інвестицій, яка витрачається на зміну зношеного (використаного) капіталу:

$$\dot{I}(t)= K(t) + \mu K(t) \qquad (1.8)$$

де μ – коефіцієнт пропорційності.

або в нормованому вигляді:

$$i(t) =k(t) +\mu k(t) \qquad (1.9)$$

Швидкість змін капіталооснащеності ($\dot{k}$) можна обчислити по формулі для диференціалу:

$$\dot{k} = \frac{d}{dt}\left(\frac{K}{L}\right) = \frac{\dot{K}L - \dot{L}K}{L^2} = \frac{\dot{K}L}{L^2} - \frac{K\dot{L}}{L^2} = \frac{\dot{K}}{L} - k\frac{\dot{L}}{L}.$$

Припустимо, що чисельність робочої сили L змінюється таким чином ,щоб відношення приросту $\dot{L}$ до чисельності L дорівнює

$$\dot{L}/L = (n - \gamma L) \qquad (1.10)$$

де n – темп зростання чисельності робочої сили;

γ – норма амортизації трудових ресурсів.

Застосовуючи нову норму амортизації капіталу та праці:

$$\lambda= \mu + n - \gamma L \qquad (1.11)$$

Можна записати рівняння

$$\dot{k} = f(k) - (\mu + n - \gamma L)k - c(t), \qquad (1.12)$$

Отримане основне диференціальне рівняння є основним рівнянням неокласичної теорії економічного зростання. В загальному випадку це рівняння є нелінійним і неавтономним рівнянням першого порядку (рівняння Коші). Універсального методу інтегрування такого рівняння в елементарних функціях або в квадратурах не існує. Виходячи з цього запропоновано застосування чисельного методу розв'язання задачі.

Для цього в даній роботі застосовується досить простий та достатньо точний метод Єйлера [4] для визначення похідних та i-тих значень функцій.

Завдання роботи знайти таке керування металургійним виробництвом, яке забезпечить максимальний приріст капіталу та максимальне споживання при мінімальному забрудненні.

Для оцінки динаміки росту вказаних показників пропонується введення функції корисності [3] у вигляді:

$$\mathrm{U(c,p)} = \mathrm{A}c^{\alpha} - \mathrm{B}p^{\beta}, \tag{1.13}$$

$$W = \int_0^T \mathrm{U(c,p)}\, e^{-\delta t}\mathrm{dt} \tag{1.14}$$

Де A>0, B>0 , 0 < α <1, 0 < β <1. При цьому α +β= 1.0

Тоді разом з рівняннями (1.1;1.11) створюється система рівнянь для рішення поставленої задачі.

При численному рішенні рівняння (1.14) можна використати метод трапецій [4].

В цьому випадку інтеграл функції замінюється сумою площин елементарних трапецій , що утворюються при заміні реальної площі інтегралу шляхом дискретизації (розбивання на N-часток) змінної перемінної на відрізку інтегрування [a ,b]. Функцію корисності (1.14) можна для спрощення розрахунків та аналізу замінити на різницю двох інтегралів , кожний з котрих може бути визначений числовим методом трапецій , як показано нижче:

Тобто формула для трапеції співпадає з формулою для середнього прямокутника, тому ми

$$W = \int_0^T (A_2 C(t)^{\alpha_i} - B_3 p(t)^{\beta_i}) e^{-\delta t} dt. \qquad (1.15)$$

Це рівняння можна записати, як різницю інтегралів: W = $W_{1s} - W_{2s}$:

$$W_{1s} = \int_0^T A_2 C(t)^{\alpha_i} e^{-\delta t} dt, \qquad (1.16)$$

$$W_{2s} = \int_0^T B_3 p(t)^{\beta_i} e^{-\delta t} dt. \qquad (1.17)$$

Тоді функцію корисності може бути обрахована за формулою:

$$W = W_{1s} - W_{2s} = \int_0^T A_2 C(t)^{\alpha_i} e^{-\delta t} dt - \int_0^T B_3 p(t)^{\beta_i} e^{-\delta t} dt =$$

$$= \sum_{i=1}^{N-1} A_2 \Delta t \left(\text{C}_{\text{сер}}(t)\right)^{\alpha_i} e^{-\delta t} - \sum_{i=1}^{N-1} B_3 \Delta t \left(P_{\text{сер}}(t)\right)^{\beta_i} e^{-\delta t}. \qquad (1.18)$$

Згідно з економіко-екологічною моделлю вираженою в системі рівнянь (1.11), а також з системою дискредитаційних рівнянь (1.12-1.21) для числового рішення задачі необхідно виконати розрахунок таких функції:

Залежність динаміки зміни капіталу від часу $\dot{K} = f(t)$ та $K_i = f(t_i)$

1) Залежність динаміки зміни праці від часу $\dot{L} = f(t)$ та $L_i = f(t_i)$
2) Залежність зміни забруднення від часу $\dot{P} = f(t)$ та $P_i = f(t_i$
3) Залежність зміни споживання від часу $\dot{C} = f(t)$ та $C_i = f(t_i)$
4) Залежність виробу продукції від часу $\dot{Y} = f(t)$ та $Y_i = f(t_i)$
5) Розрахувати функцію корисності W для кожного моменту часу t_i

Згідно з виробничою функцією (1.1) можна допустити начальні значення, таких параметрів як K_0 і L_0 для початкового моменту часу t = 0. При цьому застосовуються статистичні із підрозділу 1.3 данні по 7 великих металургійних комбінатів (табл. 1.1). Припускаємо, що капітал K протягом року збільшується на 20%. Тоді на початок року K_0 = K· 0,8 = 4,5 · 0,8 = 3,6

Для визначення початкового значення L_0 приймаємо тезу, що затрати на працюю мало змінюються. Це справедливо для стабільних компаній, які давно вже на ринку, якими безумовно є розглянуті підприємства. Тому будемо рахувати, що ці витрати збільшилися на 1%, тобто

$$L_0 = L \cdot 0{,}99 = 0{,}7 \cdot 0{,}99 = 0{,}693.$$

Коефіцієнти b1 і b2 приймаємо такими[4]:

b1=0,363,

b2=0,062.

Значення амортизації капіталу приймаємо рівним 10%, тобто: $\mu = 0.1$

Значення темпу зростання чисельності робочої сили: n=0.1

Амортизація робочої сили γ з врахуванням оцінки росту L не більше ніж на 1% за місяць, вибираємо з рівняння для

$$\frac{dL}{dt} = L_0(n - \gamma L_0) = 0{,}01,$$

$$(n - \gamma L_0) = \frac{0{,}01}{L_0},$$

$$n - \frac{0{,}01}{L_0} = \gamma L_0,$$

$$\gamma = \frac{n}{L_0} - \frac{0{,}01}{{L_0}^2} = \frac{0{,}1}{0{,}639} - \frac{0{,}01}{0{,}639^2} = 0{,}1443 - 0{,}021 = 0{,}1233.$$

Рахуємо, що частина виробленої продукції викликає пропорційне забруднення P: P= εY

Цю частину доцільно визначити, як не більше 30% від виробленої продукції, тому приймаємо ε = 0,3. Забруднення зменшується за рахунок асиміляції середовищем на частину, яку визначає коефіцієнт ν (ν > 0). Враховуючи тяжкий стан середовища біля металургійних комбінатів, асиміляція середовищем обмежена, тому приймемо ν=0,1. Для визначення зменшення забруднення на одну одиницю виготовленої продукції витрачається r одиниць продукції. Зміна забруднення виражається рівнянням:

$$\dot{P} = \varepsilon Y - r\beta Y - \nu P = (\varepsilon - r\beta)Y - \nu P.$$

Припускаємо, що r = 1, тобто на боротьбу з забрудненням витрачається rβY продукту Y.

Результати розрахунків показують динаміку зміни продукції, капіталу, робочої сили, споживання і забруднення при різних рівнях частки, які використовуються на споживання та боротьбу з забрудненням. Ці результати можуть використовуватись при виборі стратегії керування металургійним виробництвом.

Результатами розрахунків можна побудувати графіки функції основних параметрів побудувати графіки функцій основних параметрів моделі від часу (t) при різних значеннях β_i. Це дозволяє проаналізувати вплив коефіцієнта β_i на динаміку зміни параметрів при різних рівнях суми $\alpha_i + \beta_i$. Так на рис 1.1 наведені функції виробленої продукції Y від часу для чотирьох значень: $\beta_i = 0{,}05$; $\beta_i = 0{,}1$; $\beta_i = 0{,}2$; $\beta_i = 0{,}3$ при $\alpha_i + \beta_i = 0{,}8$. Для цих же значень β_i проведені графіки функцій капіталу K=f(t), робочої сили L=f(t), споживання C=f(t) та забруднення P=f(t).

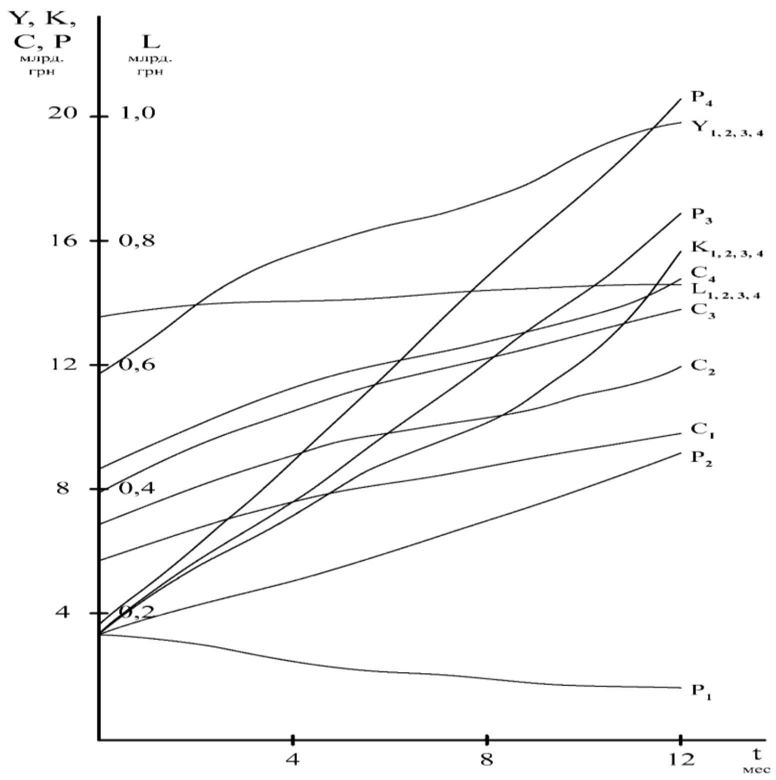

Рис. 1. Залежність основних параметрів моделі від часу при

$$\boldsymbol{\alpha_i + \beta_i = 0,8}$$

Висновки з даного дослідження. У всіх розглянутих випадках відбувається за рік сталий ріст продукту Y, капіталу K, та робочої сили L. При цьому збільшення суми $\alpha_i + \beta_i$ від 0,8 до 0,96 майже в десять разів зменшує темп росту Y з 77,5% до 6,9%, в 20 разів зменшує ріст капіталу з 340% до 16,9% відповідно.

Зміни робочої сили при вибраній моделі незначні і вони в 17 разів більше з 7,38% до 12,5%.Значний вплив суми $\alpha_i + \beta_i$ на динаміку споживання C. Із збільшенням суми від 0,8 до 0,96 в десять разів зменшується темп зростання C з 72% до 7,1%.

Найбільш вагомий вплив суми $\alpha_i + \beta_i$ на забруднення P, при збільшенні $\alpha_i + \beta_i$. Від 0,8 до 0,96 забруднення при різних β_i може, як зменшується на 7,7% , коли α+β=0,9; $\beta_i = 0,3$, а коли α+β = 0,96; $\beta_i = 0,3$ – на 75% так і зростати при α+β=0,8; $\beta_i = 0,3$ приблизно на 390%, так при

$\alpha_i + \beta_i = 0{,}9$ при $\beta_i = 0{,}2$; $\beta_i = 0{,}1$ на 238% та 559% відповідно, при $\alpha_i + \beta_i$ = 0,96 при $\beta_i = 0{,}2$; $\beta_i = 0{,}1$ на 168% та 412% відповідно.

На основі результатів розрахунків можна проаналізувати поведінку функції корисності W від змін β_i та суми $\alpha_i + \beta_i$. На рис 2.11 показані графіки W= f(β_i) для різних рівнів $\alpha_i + \beta_i$.

В результаті розрахунків функція корисності W, визначена як інтеграл від різних змін споживання та забруднення зростає із збільшенням суми $\alpha_i + \beta_i$ і зменшенням β_i. Це вказує на більш значний вплив частини W_{s1} яка пов’язана із споживанням C, ніж із забрудненням P - W_{s1} ($W_{s1} \gg W_{s2}$). Тоді навіть значне збільшення забруднення P та навіть його зменшення не впливає на поведінку W=$W_{s1} - W_{s2}$. Фактично розглянута модель та функція корисності призводить до висновку, що $\beta_i \to 0$, тобто ми маємо прямувати до рівноваги «темного віку», коли $\beta = 0$.

Література

1. Болгов В. Е., Дрейв Производственная модель эффективного использования финансовых ресурсов для металлургических предприятий Украины. Вісник Донецького національного університету. Серія В: Економіка і право. - Вип.1. - 2015.
2. Ашманов С. А. Введение в математическую экономику М. - Наука, 1984 г.
3. Пономаренко О. І., Перестюк М. О., Бурим В. М. Сучасний економічний аналіз. – Часть 2. – Макроекономіка. - Київ, ВШ, 2004. - 204 с.
4. Гутер Р. С., Овчинский Б. В. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта. - М.: Наука, 1970. - 431 с.
5. Моделирование влияния развития экономики на окружающую среду Петрозаводск. – 2009. – 90 с.