

Математичне моделювання енергозалежної економіки

Петро Костробій¹, Олена Гайдучок²

¹ д. ф.-м. н., професор, Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013

² к. е. н., Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013,
e-mail: olena.gaiduchok@gmail.com

Проведено системний аналіз економіки, що залежить від імпортованих енергоресурсів — газу, нафти, вугілля. Описано виробничу сферу та сферу споживання. Отримано систему диференціальних рівнянь для знаходження основних макроекономічних показників — потужностей секторів, капіталу, ціни продукту, цін газу, нафти, вугілля, заробітної плати. Наведено результати комп'ютерного моделювання.

Ключові слова: системний аналіз, енергозалежна економіка, система диференціальних рівнянь, математичне моделювання, комп'ютерне моделювання.

Вступ. Оскільки Україна є держава, яка не має достатніх запасів власних енергоресурсів, то питання залежності від імпортованої енергосировини стоїть дуже гостро, особливо у сучасних нестабільних умовах. Для дослідження впливу макроекономічних показників від ціни імпортованої енергосировини було використано системний підхід до моделювання економіки. Проте це дослідження було проведено у загальних рисах, а саме стосувалося загального поняття «енергія», без виділення компонент газу, нафти та вугілля. Побудуємо системну модель економіки з деталізацією за різними типами енергетичних ресурсів.

1. Системна модель економіки

Розглянемо двосекторну економіку, у першому секторі якої виготовляється продукт, а другий сектор — енергетичний, тобто другий сектор займається переробкою енергетичної сировини (газу, нафти та вугілля, які постачаються ззовні за визначеними цінами) для потреб населення та виробництва продукту першого сектору. Вважаємо, що другий сектор відносно нетрудомісткий, тому складником витрат робочої сили нехтуємо. Оскільки метою дослідження є залежність економіки від зовнішнього постачання енергоресурсів, тому власне виробництво не береться до уваги [1].

Для виробництва продукту першого сектору потрібно як продукт, так і витрати газу, нафти та вугілля. Тому виробництво першого сектору описується рівнянням:

$$Y_1 = M_1 f_1(x_1^1, x_1^G, x_1^N, x_1^V), \quad x_1^1 = \frac{R^L}{M_1}, \quad x_1^G = \frac{E^G}{M_1}, \quad x_1^N = \frac{E^N}{M_1}, \quad x_1^V = \frac{E^V}{M_1}, \quad (1)$$

де M_1 — сумарна потужність першого сектору; $f_1(x_1^1, x_1^G, x_1^N, x_1^V)$ — виробнича функція першого сектору; R^L — кількість робочої сили; E^G, E^N, E^V — відповідно кількості газо-, нафто- та вуглесировини, що витрачається; $x_1^1, x_1^G, x_1^N, x_1^V$ — кількість робочої сили, газу, вугілля, нафтопродукту відповідно на одиницю потужності першого сектору, задіяна для виробництва продукту першого сектору.

Другий сектор — енергетичний — фактично поділяється на три [2]. Пропозиція газу, нафти та вугілля у другому секторі записується таким чином:

$$Y_2^G = M_2^G f_2(x_2^G), \quad Y_2^N = M_2^N f_2(x_2^N), \quad Y_2^V = M_2^V f_2(x_2^V). \quad (2)$$

Тут M_2^G, M_2^N, M_2^V — потужності газо-, нафто-, вуглепереробного сектору відповідно; $f_2(x_2^G), f_2(x_2^N), f_2(x_2^V)$ — виробничі функції газового, нафтового та вугільного секторів відповідно; V_E^G, V_E^N, V_E^V — кількості газової, нафтової, вугільної сировини, що витрачається; $x_2^G = V_E^G / M_2^G$ — кількість газової сировини на одиницю потужності, задіяна для переробки газу; $x_2^N = V_E^N / M_2^N$ — кількість нафти на одиницю потужності, задіяна для виробництва нафтопродукту; $x_2^V = V_E^V / M_2^V$ — кількість вугільної сировини на одиницю потужності, задіяна для переробки вугілля.

Після деталізації енергетичного ринку постають зміни й в описі споживчої сфери. Вважаємо, що населення можна поділити на дві групи: власники та працівники.

Споживання населенням продукту першого сектору можна подати так:

$$C_1 = C_1^{L,G} + C_1^{L,N} + C_1^{L,V} + C_1^{0,G} + C_1^{0,N} + C_1^{0,V}.$$

Споживання власниками (змінні $C_1^{O,G}, C_1^{O,N}, C_1^{O,V}$) продукту першого сектору описується такими рівняннями:

$$C_1^{0,G} = \frac{\Phi^0}{p_1 + c^{0,G} p_2^G}, \quad C_1^{0,N} = \frac{\Phi^0}{p_1 + c^{0,N} p_2^N}, \quad C_1^{0,V} = \frac{\Phi^0}{p_1 + c^{0,V} p_2^V}, \quad (3)$$

де $c^{O,G}, c^{O,N}, c^{O,V}$ — норми споживання власниками газу, нафтопродуктів і вугілля відповідно на одиницю продукту першого сектору; p_1 — ціна продукту першого сектору; p_2^G, p_2^N, p_2^V — ціни переробленого газу, нафтопродукту та вугілля; Φ^0 — споживчі витрати власників.

Споживання працівниками (змінні $C_1^{L,G}$, $C_1^{L,N}$, $C_1^{L,V}$) продукту першого сектору записується подібно:

$$C_1^{L,G} = \frac{\Phi^L}{p_1 + c^{L,G} p_2^G}, \quad C_1^{L,N} = \frac{\Phi^L}{p_1 + c^{L,N} p_2^N}, \quad C_1^{L,V} = \frac{\Phi^L}{p_1 + c^{L,V} p_2^V}. \quad (4)$$

Тут $c^{L,G}$, $c^{L,N}$, $c^{L,V}$ — норми споживання працівниками газу, нафтопродуктів і вугілля відповідно на одиницю продукту першого сектору; Φ^L — споживчі витрати працівників.

Тоді, оскільки населення складається лише з двох груп, можна записати споживання населенням продуктів другого сектору:

$$C_2^G = C_2^{L,G} + C_2^{0,G}, \quad C_2^N = C_2^{L,N} + C_2^{0,N}, \quad C_2^V = C_2^{L,V} + C_2^{0,V},$$

де C_2^G , C_2^N , C_2^V — споживання населенням відповідно газу, нафти та вугілля.

Споживання власниками газу, нафти та вугілля подамо так:

$$C_2^{0,G} = \frac{(c^{o,G})\Phi^0}{p_1 + c^{0,G} p_2^G}, \quad C_2^{0,N} = \frac{(c^{o,N})\Phi^0}{p_1 + c^{0,N} p_2^N}, \quad C_2^{0,V} = \frac{(c^{o,V})\Phi^0}{p_1 + c^{0,V} p_2^V}. \quad (5)$$

і відповідно споживання працівниками:

$$C_2^{L,G} = \frac{(c^{L,G})\Phi^L}{p_1 + c^{L,G} p_2^G}, \quad C_2^{L,N} = \frac{(c^{L,N})\Phi^L}{p_1 + c^{L,N} p_2^N}, \quad C_2^{L,V} = \frac{(c^{L,V})\Phi^L}{p_1 + c^{L,V} p_2^V}. \quad (6)$$

Всі інші ринки — ринок продукту першого сектору, ринок робочої сили, ринок капіталу — опишемо подібно, як у роботі [3].

Ціна продукту першого сектору змінюється залежно від запасу Q_1 :

$$\frac{dp_1}{dt} = \alpha_1 \frac{Q_1}{M_1} p_1, \quad (7)$$

α_1 — константа; Q_1 змінюється згідно рівняння $dQ_1/dt = Y_1 - \Phi_1/p_1$, Φ_1 — повний потік платежів на ринку продукту, який враховує інвестиції у перший сектор, загальні інвестиції у другий сектор і прибуток від споживання продукту населенням.

Оскільки енергію не можна зберігати, то її ринок описується по-іншому, ніж ринок продукту. Ціна на енергію залежить від співвідношення попиту на неї та її пропозиції. Проте потрібно звернути увагу на те, що незалежні виробники створюють єдину систему забезпечення енергією. Коли попит менший за пропозиції, то ціна на енергію зменшується значно повільніше, ніж вона зростає, коли пропозиція менша за попит, тобто для зміни ціни на газ маємо такі рівняння:

$$\begin{aligned} \frac{dp_2^G}{dt} &= -\alpha_2(Y_2^{G,s}, Y_2^{G,d}) \frac{Y_2^{G,s} - Y_2^{G,d}}{Y_2^{G,s}} p_2^G, \\ \frac{dp_2^N}{dt} &= -\alpha_2(Y_2^{N,s}, Y_2^{N,d}) \frac{Y_2^{N,s} - Y_2^{N,d}}{Y_2^{N,s}} p_2^N, \\ \frac{dp_2^V}{dt} &= -\alpha_2(Y_2^{V,s}, Y_2^{V,d}) \frac{Y_2^{V,s} - Y_2^{V,d}}{Y_2^{V,s}} p_2^V. \end{aligned} \quad (8)$$

Тут $\alpha_2(x, y)$ — додатна кусково-стала функція: $\alpha_2 = \alpha_2^+$, якщо $x - y \geq 0$; $\alpha_2 = \alpha_2^-$, якщо $x - y < 0$; $\alpha_2^- > \alpha_2^+$. Попит на сировину $Y_2^{G,d} = E^G + C_2^G$, пропозиція газу $Y_2^{G,s} = M_2^{G,s} f_2(x_2^G)$. Для інших типів енергоресурсів аналогічно визначається попит і пропозиція.

Далі припустимо, що ціна газу/нафти/вугілля на зовнішньому ринку відома (позначимо відповідно p_E^G, p_E^N, p_E^V). За цією ціною задовольняється попит на сировину, заданий виразами $V_E^{G,d} = M_2^G x_2^G, V_E^{N,d} = M_2^N x_2^N, V_E^{V,d} = M_2^V x_2^V$.

Перейдемо до опису ринку заробітної плати. Зміну в часі ставки заробітної плати s можна описати рівнянням

$$\frac{ds}{dt} = \max \left\{ 0, \frac{R^d - R^s}{R^s} \right\}, \quad (9)$$

де $\Delta > 0$ — стала часу; $R^d = M_1 x_1^1$ — попит на робочу силу; $R^s = P^A U(\omega)$ — пропозиція, $\omega = C_1^L / P$; $U(\omega)$ — деяка обмежена функція: $0 < U(\omega) < 1$ для $\omega > 0$. Чисельність групи працівників P та чисельність її активної частини P^A вважаємо зростаючими функціями з деяким сталим темпом демографічного росту $\lambda_P > 0$: $P = P_0 e^{\lambda_P t}$, $P^A = P_0^A e^{\lambda_P t}$. Кількість зайнятих визначається як $R^L = \min \{ R^d, R^s \}$.

Ринок капіталу. Банківські кредити для секторів видаються під забезпечення. Вважається, що забезпеченням кредитів є основний капітал виробників. Цей ринок знаходиться у рівновазі. Тоді з умови резервування кредитних ресурсів і балансів банківської системи знаходимо рівноважне значення для інвестицій у перший і другий сектори (Φ_1^I та Φ_2^I):

$$\Phi_1^I + \Phi_2^I = \frac{k}{\xi^*} Y_1 + \mu_1^* K_1 + \mu_{2,G}^* K_2^G + \mu_{2,N}^* K_2^N + \mu_{2,V}^* K_2^V. \quad (10)$$

Тут ξ^* — норма банківського резервування; k — вартісна величина золота (чи валюти) у валовому продукті, що надходить до резервного активу банківської системи; $\mu_1^*, \mu_{2,G}^*, \mu_{2,V}^*, \mu_{2,N}^*$ — темпи списання виробничого устаткування першого

та другого секторів відповідно на газ, вугілля, нафту; K_1, K_2^G, K_2^V, K_2^N — капітали першого та другого секторів.

Також будемо вважати, що частка інвестицій k_1 , направлених у перший сектор, прямо залежить від прибутку у цьому секторі.

Перейдемо до опису банківської системи. Зміну банківського резерву Ω^B можна записати таким рівнянням:

$$\frac{d\Omega^B}{dt} = kY_1. \quad (11)$$

Під час подальших досліджень будемо вважати, що банківська система агрегована за різними типами енергоресурсів, тобто існує єдиний депозитний рахунок, на який переказується сума, що дорівнює вартості газової, нафтової та вугільної сировини разом. Тоді для депозитного кореспондентського рахунку D_E^B у нашій банківській системі отримаємо

$$\frac{dD_E^B}{dt} = p_E^G V_E^G + p_E^V V_E^V + p_E^N V_E^N. \quad (12)$$

Тут V_E^G, V_E^V, V_E^N — кількість енергетичної сировини, що витрачається — відповідно газу, нафти та вугілля.

Величину депозитного рахунку власників можна визначити таким чином

$$D^0 + D_E^B = \frac{1}{\xi^*} \Omega^B. \quad (13)$$

2. Побудова системи диференціальних рівнянь

Після вилучення змінних із рівнянь (1)-(13) і використання балансів секторів [3] отримано систему диференціальних рівнянь для потужностей секторів, капіталу, цін, заробітної плати

$$\begin{aligned} \frac{dM_1}{dt} &= \left(\frac{kk_1}{p_1 b_1} f_1(x_1^1, x_1^G, x_1^N, x_1^V) - \mu_1 \right) M_1 + \\ &+ \frac{k_1}{p_1 b_1} \left(\mu_1^* K_1 + \mu_{2,G}^* K_2^G + \mu_{2,N}^* K_2^N + \mu_{2,V}^* K_2^V \right), \\ \frac{dM_2^G}{dt} &= \frac{\Phi_2^{I,G}}{b_2^G p_2^G} - \mu_2^* M_2^G, \quad \frac{dM_2^N}{dt} = \frac{\Phi_2^{I,N}}{b_2^N p_2^N} - \mu_2^* M_2^N, \quad \frac{dM_2^V}{dt} = \frac{\Phi_2^{I,N}}{b_2^N p_2^N} - \mu_2^* M_2^V, \\ \frac{dK_1}{dt} &= \frac{k_1 k}{\xi^*} M_1 f_1(x_1^1, x_1^G, x_1^N, x_1^V) - (1 - k_1) \mu_1^* K_1 + \\ &+ k_1 \left(\mu_{2,G}^* K_2^G + \mu_{2,N}^* K_2^N + \mu_{2,V}^* K_2^V \right), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{dK_2^G}{dt} &= \Phi_2^{I,G} - \mu_{2,G}^* K_2^G, & \frac{dK_2^N}{dt} &= \Phi_2^{I,N} - \mu_{2,N}^* K_2^N, & \frac{dK_2^V}{dt} &= \Phi_2^{I,V} - \mu_{2,V}^* K_2^V, \\
 \frac{dk_1}{dt} &= \delta \left[\Phi_2^{I,G} \left(\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2^G} \right) + \Phi_2^{I,V} \left(\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2^V} \right) + \Phi_2^{I,N} \left(\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2^N} \right) - \right. \\
 &\quad \left. - \frac{s \min \left\{ M_1 x_1^1, P_0^A U e^{\lambda_p t} \right\}}{K_1} + \frac{k k_1}{K_1 \xi^*} M_1 f_1 \left(x_1^1, x_1^G, x_1^N, x_1^V \right) - (1 - k_1) \mu_1^* + \right. \\
 &\quad \left. + \mu_{2,G}^* \left(1 + \frac{k_1 K_2^G}{K_1} \right) + \mu_{2,N}^* \left(1 + \frac{k_1 K_2^N}{K_1} \right) + \mu_{2,V}^* \left(1 + \frac{k_1 K_2^V}{K_1} \right) - \right. \\
 &\quad \left. - \frac{M_1}{K_1} \left(p_2^G x_1^G + p_2^N x_1^N + p_2^V x_1^V \right) - \right. \\
 &\quad \left. - \frac{1}{K_2^G} \left(p_2^G \left(M_1 x_1^G + \frac{(c^{L,G}) \Phi^L}{p_1 + c^{L,G} p_2^G} + \frac{(c^{o,G}) \Phi^0}{p_1 + c^{o,G} p_2^G} \right) + p_E^G M_2^G x_2^G \right) - \right. \\
 &\quad \left. - \frac{1}{K_2^N} \left[p_E^N M_2^N x_2^N + p_2^N \left(M_1 x_1^N + \frac{(c^{L,N}) \Phi^L}{p_1 + c^{L,N} p_2^N} + \frac{(c^{o,N}) \Phi^0}{p_1 + c^{o,N} p_2^N} \right) \right] - \right. \\
 &\quad \left. - \frac{1}{K_2^V} \left[p_2^V \left(M_1 x_1^V + \frac{(c^{L,V}) \Phi^L}{p_1 + c^{L,V} p_2^V} + \frac{(c^{o,V}) \Phi^0}{p_1 + c^{o,V} p_2^V} \right) \right] + \right. \\
 &\quad \left. + \frac{p_1}{K_1} \left(\frac{c_0 p_1 M_1 f_1 \left(x_1^1, x_1^G, x_1^N, x_1^V \right) + s \min \left\{ M_1 x_1^1, P_0^A U e^{\lambda_p t} \right\}}{p_1 + c^{0,G} p_2^G + c^{0,N} p_2^N + c^{0,V} p_2^V} \right) + \right. \\
 &\quad \left. + \frac{2D^0}{\xi^* \Omega^B \left(\Omega^B \beta / \xi^* + D^0 \right)} \left(\frac{k}{\xi^*} M_1 f_1 \left(x_1^1, x_1^G, x_1^N, x_1^V \right) + \eta p_1 M_1 f_1 \left(x_1^1, x_1^G, x_1^N, x_1^V \right) - \right. \\
 &\quad \left. - p_E^G M_2^G x_2^G - p_E^N M_2^N x_2^N - p_E^V M_2^V x_2^V \right) - \Phi_{K_2}^p \left(\frac{1}{K_2^G} + \frac{1}{K_2^N} + \frac{1}{K_2^V} \right), \\
 \frac{dp_1}{dt} &= -\alpha_1 \frac{Q_1}{M_1} p_1, \\
 \frac{dQ_1}{dt} &= M_1 f_1 \left(x_1^1, x_1^G, x_1^N, x_1^V \right) \left(1 - \frac{k_1 k}{p_1 \xi^*} \right) - \\
 &\quad - \frac{k_1}{p_1} \left(\mu_1^* K_1 + \mu_{2,G}^* K_2^G + \mu_{2,N}^* K_2^N + \mu_{2,V}^* K_2^V \right) -
 \end{aligned}$$

$$\frac{\Phi_2^{I,G} + \Phi_2^{I,N} + \Phi_2^{I,V}}{p_1} - \frac{c_0 p_1 M_1 f_1(x_1^1, x_1^G, x_1^N, x_1^V) + s \min\{M_1 x_1^1, P_0^A U e^{\lambda p^t}\}}{p_1 + c^{0,G} p_2^G + c^{0,N} p_2^N + c^{0,V} p_2^V},$$

$$\frac{dp_2^G}{dt} = -\alpha_2 \left(M_2^G f_2 \left(\frac{V_E^G}{M_2^G} \right), M_1 x_1^G + \frac{(c^{L,G}) \Phi^L}{p_1 + c^{L,G} p_2^G} + \frac{(c^{o,G}) \Phi^0}{p_1 + c^{o,G} p_2^G} \right) \times$$

$$\times \left[1 - \frac{M_1 x_1^G + (c^{L,G}) \Phi^L / (p_1 + c^{L,G} p_2^G) + (c^{o,G}) \Phi^0 / (p_1 + c^{o,G} p_2^G)}{M_2^G f_2(V_E^G / M_2^G)} \right] p_2^G,$$

$$\frac{dp_2^N}{dt} = -\alpha_2 \left(M_2^N f_2 \left(\frac{V_E^N}{M_2^N} \right), M_1 x_1^N + \frac{(c^{L,N}) \Phi^L}{p_1 + c^{L,N} p_2^N} + \frac{(c^{o,N}) \Phi^0}{p_1 + c^{o,N} p_2^N} \right) \times$$

$$\times \left[1 - \frac{M_1 x_1^N + (c^{L,N}) \Phi^L / (p_1 + c^{L,N} p_2^N) + (c^{o,N}) \Phi^0 / (p_1 + c^{o,N} p_2^N)}{M_2^N f_2(V_E^N / M_2^N)} \right] p_2^N,$$

$$\frac{dp_2^V}{dt} = -\alpha_2 \left(M_2^V f_2 \left(\frac{V_E^V}{M_2^V} \right), M_1 x_1^V + \frac{(c^{L,V}) \Phi^L}{p_1 + c^{L,V} p_2^V} + \frac{(c^{o,V}) \Phi^0}{p_1 + c^{o,V} p_2^V} \right) \times$$

$$\times \left[1 - \frac{M_1 x_1^V + (c^{L,V}) \Phi^L / (p_1 + c^{L,V} p_2^V) + (c^{o,V}) \Phi^0 / (p_1 + c^{o,V} p_2^V)}{M_2^V f_2(V_E^V / M_2^V)} \right] p_2^V,$$

$$\frac{ds}{dt} = \frac{1}{\Delta} \max \left\{ 0, \frac{M_1 x_1^1}{P_0^A e^{\lambda p^t} U} - 1 \right\},$$

$$\frac{\partial f_1(x_1^1, x_1^G, x_1^N, x_1^V)}{\partial x_1^1} = \frac{s}{p_1}, \quad \frac{\partial f_1(x_1^1, x_1^G, x_1^N, x_1^V)}{\partial x_1^G} = \frac{p_2^G}{p_1}, \quad \frac{\partial f_1(x_1^1, x_1^G, x_1^N, x_1^V)}{\partial x_1^N} = \frac{p_2^N}{p_1},$$

$$\frac{\partial f_1(x_1^1, x_1^G, x_1^N, x_1^V)}{\partial x_1^V} = \frac{p_2^V}{p_1}, \quad f_2'(x_2^G) = \frac{p_E^G}{p_2^G}, \quad f_2'(x_2^N) = \frac{p_E^N}{p_2^N}, \quad f_2'(x_2^V) = \frac{p_E^V}{p_2^V}.$$

3. Дослідження отриманих розв'язків системи

Таким чином, на основі системного підходу одержано замкнену систему (15 основних змінних і 15 рівнянь) нелінійних диференціальних рівнянь, що описує динаміку всієї економічної системи. Ця система рівнянь дає змогу дослідити поведінку залежності основних макроекономічних показників від зміни ціни імпортованої енергосировини.

Для дослідження пропонується така виробнича функція мультиплікативного типу для врахування можливості заміни одних енергоресурсів іншими для першого сектору:

$$f_1(x_1^1, x_1^G, x_1^V, x_1^N) = \left[1 - \left(1 - \frac{a_{11}x_1^1}{a_{12}} \right)^{a_{13}} \right] \left[1 - \left(1 - \frac{a_{21}x_1^G}{a_{22}} \right)^{a_{23}} \right] \times \\ \times \left[1 - \left(1 - \frac{a_{31}x_1^V}{a_{32}} \right)^{a_{33}} \right] \left[1 - \left(1 - \frac{a_{41}x_1^N}{a_{42}} \right)^{a_{43}} \right]$$

та функції для другого сектору:

$$f_2(x_2^G) = \left[1 - \left(1 - \frac{b_{11}x_2^G}{b_{12}} \right)^{b_{13}} \right]; \quad f_2(x_2^V) = \left[1 - \left(1 - \frac{b_{21}x_2^V}{b_{22}} \right)^{b_{23}} \right]; \\ f_2(x_2^N) = \left[1 - \left(1 - \frac{b_{31}x_2^N}{b_{32}} \right)^{b_{33}} \right].$$

Тут змінними a та b з відповідними індексами позначено параметри виробничих функцій. Система рівнянь є нелінійна, тому для отримання результатів застосуємо комп'ютерне моделювання [4].

Для дослідження впливу ціни імпортованих енергоносіїв розглянемо лінійний ріст ціни на всі імпортовані енергоносії (газ, нафта, вугілля).

Розглянемо збільшення ціни на кожен енергоносіє на 2 % кожного року упродовж досліджуваного періоду (до 100 років). Результати подано на рис. 1-5. Цифрою 2 позначено величини, обчислені після зміни ціни енергоносіїв.

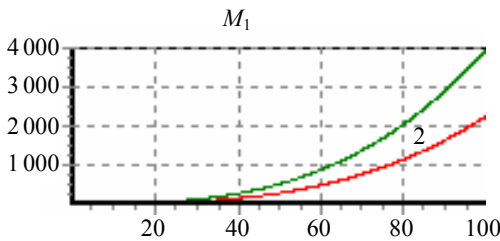


Рис. 1. Динаміка потужності першого сектору

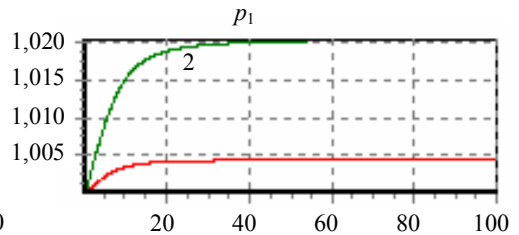


Рис. 2. Динаміка ціни продукту першого сектору

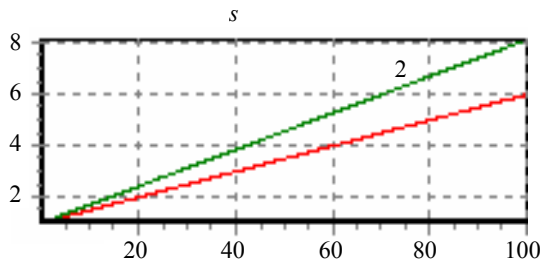


Рис. 3. Динаміка зміни заробітної плати

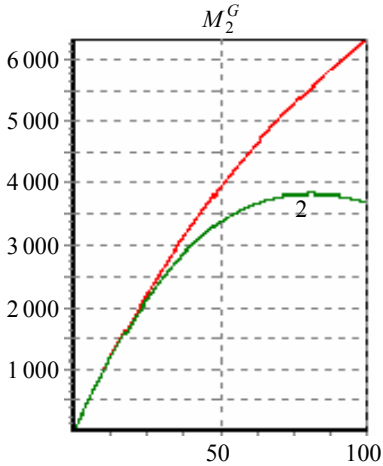


Рис. 4. Динаміка потужності газового сектору

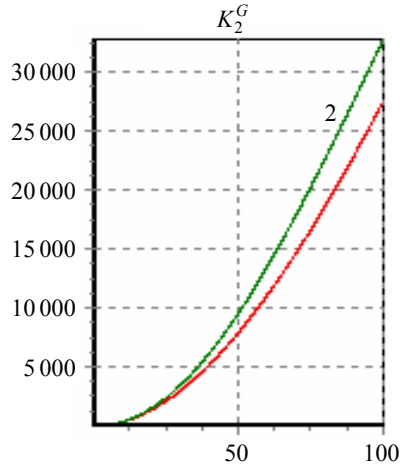


Рис. 5. Динаміка капіталу газового сектору

Потужність першого сектору збільшується у разі підвищення ціни закупівельних енергоносіїв, причому зростання може бути в два рази.

Ціна продукту першого сектору зростає дуже швидко у разі росту ціни імпортованих енергоносіїв і з часом досягає деякої стабільної ціни.

Ставка заробітної плати зростає, щоб привабити працівників і збільшити кількість зайнятої робочої сили у виробництві (рис. 3).

Динаміку зміни потужності другого сектору подано на рис. 4. Результати наведені лише для газу. Динаміку зміни капіталу другого сектору наведено на рис. 5. Капітал сектору дещо зростає, оскільки кошти від продажу енергоносіїв є більші. Результати моделювання схожі до результатів, отриманих у працях [5], [6].

Висновки. Таким чином, на основі системного підходу одержано замкнену систему (15 основних змінних і 15 рівнянь) нелінійних диференціальних рівнянь, що описує динаміку всієї економічної системи. Ця система рівнянь дає змогу дослідити поведінку залежності основних макроекономічних показників від зміни ціни імпортованої енергосировини та побудувати можливі прогнози розвитку економіки.

Література

- [1] Гайдучок О. Системне прогнозування двохсекторної економіки // Економіка: проблеми науки і практики: збірник наукових праць. — ДНУ, 2007. — Вип. 230, т. II. — С. 495-510.
- [2] Ляшенко О. І. Математичне моделювання динаміки відкритої економіки: монографія. — Рівне: Волинські обереги, 2005. — 360 с.
- [3] Петров А. А., Поспелов И. Г., Шананин А. А. Опыт математического моделирования экономики. — Москва, 1996. — 544 с.
- [4] Зайченко Ю. П. Дослідження операцій. — Київ: Слово, 2001. — 688 с.

- [5] Бакаєв О. О., Кравченко Т. Г., Мужнінова Т. А. Макроеконометричне моделювання економічного розвитку України. — Київ: Транспорт України, 2004. — 124 с.
- [6] Григорків В. С. Економічна кібернетика: навч. посібник. — Чернівці: Рута, 2006. — 198 с.

Mathematical modelling of energy-dependent economics

Petro Kostrobij, Olena Gaiduchok

The system analysis of the economics which depends on imported energy — oil, gas, coal — is provided. The manufacturing sector and the sector of consumption are described. The system of differential equations of the main macroeconomic indicators — capacities of sectors, investment, product prices, price of gas, oil, coal and wages is obtained. The results of computer simulation are shown.

Математическое моделирование энергозависимой экономики

Петро Костробий, Олена Гайдучок

Проведен системний аналіз економіки, зависимої від імпортованих енергоресурсів — газу, нафти, вугля. Описані виробнича сфера і сфера споживання. Отримана система диференціальних рівнянь для знаходження основних макроекономічних показників — потужностей секторів, капітала, ціни продукту, ціни газу, нафти, вугля, зарплати. Приведені результати комп'ютерного моделювання.

Отримано 23.05.14