

Електронне наукове фахове видання "Ефективна економіка" включено до переліку наукових фахових видань України з питань економіки (Наказ Міністерства освіти і науки України від 29.12.2014 № 1528)

Ефективна ЕКОНОМІКА

Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет



№ 3, 2015 [Назад](#) [Головна](#)

УДК 519.86

О. В. Гайдучок,
к. е. н., доцент кафедри прикладної математики,
Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів

ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ ЕНЕРГОЗАЛЕЖНОЇ ЕКОНОМІКИ ШЛЯХОМ КЕРУВАННЯ СИСТЕМОЮ ДИНАМІКИ ОСНОВНИХ МАКРОПОКАЗНИКІВ

O. V. Gaiduchok,
Ph.D. in economics, associate professor of department of applied mathematics,
National University "Lviv Polytechnics", Lviv

PREDICTION OF ENERGYDEPENDENT ECONOMY BY CONTROLLING THE SYSTEM OF DYNAMICS FOR BASIC MACROECONOMIC INDICATORS

Описано системну модель двохсекторної економіки, у якій окремо розглядається енергетичний та виробничий сектори. Виробництво поділяється на два сектори – в першому виробляється кінцевий продукт, а в другому – енергія, необхідна для виробництва кінцевого продукту. Записано моделі для визначення потужності секторів. Змодельовано зміну ціни на продукт та енергію, заробітню плату. Наведено алгоритм визначення станів досяжності для лінійних та нелінійних систем. Визначено параметри керування, описано залежність основних макроекономічних показників від параметрів керування. Наведено результати моделювання, досліджено динаміку потужностей секторів, випуску продукції першого та другого секторів економіки при збільшенні ціни на імпортовану енергосировину.

The system model of two sector economics, in which power and production sectors acts separately, is described. Production is divided into two sectors - the first sector produced the final product, and the second sector - the energy that is required to produce the final product. The models for the sectors power are recorded. The changes of product prices and energy, salary are modeled. An algorithm for determining the reachable states for linear and nonlinear systems is described. Control parameters for main macroeconomic indicators are shown. The results of the simulation are given. The dynamics of sector first and second output are investigated depending on increasing the price of imported energy.

Ключові слова: системна модель двохсекторної економіки, виробничий сектор, енергетичний сектор, система диференціальних рівнянь, стани досяжності.

Key words: system model of two-sector economics, industrial sector, power industry, sector power, and system of differential equations, reachable states.

Постановка проблеми

Як відомо, економіка України суттєво залежить від постачання імпортованої енергосировини за цінами, які постійно зростають. Зростання ціни енергосировини призводить до зміни усіх макроекономічних показників, зокрема до збільшення ціни товарів. Проте невідомо, наскільки обґрунтоване підвищення ціни товарів при підвищенні ціни енергосировини, тобто невідома кількісна зміна показників економіки при різних режимах зміни ціни енергосировини. Для дослідження поведінки та прогнозування розвитку енергозалежної економіки розглянуто системну модель двохсекторної економіки із виділенням енергетичного сектору.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для дослідження і прогнозування майбутньої економічної ситуації відомо багато методів, а саме: метод часових рядів; методи лінійного та нелінійного регресійного аналізу, методи імітаційного моделювання; економетричні моделі. Проте аналіз існуючих моделей виявив, що них не реалізовано системного підходу [1]. Специфіка системного підходу до побудови макроекономічної моделі визначається тим, що даний підхід орієнтує дослідження на розкриття цілісності об'єкта та механізмів, що його забезпечують, на виявлення різноманітних типів зв'язків складного об'єкта і зведення їх в єдину теоретичну картину. Вперше системну модель економіки побудовано у працях Петрова [2].

Метою дослідження є проведення системного аналізу економіки із виділенням енергетичного сектору та виділення станів досяжності, опис параметрів керування.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо системну модель двохсекторної економіки. Виробництво поділимо на два сектори – в першому виробляється кінцевий продукт, а в другому – енергія, необхідна для виробництва кінцевого продукту. Крім енергії, виробництво продукту першого сектору вимагає витрат робочої сили. Другий сектор (енергетичний) відносно нетрудомісткий, тому витратами робочої сили нехтуємо і припускаємо, що для виробництва енергії необхідна лише енергетична сировина. Для простоти вважаємо, що енергосировина імпортується ззовні в потрібній кількості за заданими цінами.

Опишемо усіх економічних агентів за [2, ст. 182]. Виробнича функція першого сектору представляється у вигляді:

$$Y_1 = F_1(M_1, R^L, E) = M_1 f_1(x_1^1, x_1^2) \quad x_1^1 = \frac{R^L}{M_1}, \quad x_1^2 = \frac{E}{M_1}, \quad (1)$$

де M_1 - потужність, $f_1(x_1^1, x_1^2)$ - виробнича функція першого сектору, R - кількість робочої сили, E - енергія. За умови максимуму поточного прибутку

виробництва продукту можна визначити функції попиту на робочу силу $R^d\left(\frac{s}{p_1}, \frac{p_2}{p_1}\right)$, на енергію $E^d\left(\frac{s}{p_1}, \frac{p_2}{p_1}\right)$ та функція пропозиції продукту $Y_1^*\left(\frac{s}{p_1}, \frac{p_2}{p_1}\right)$ із таких рівнянь:

$$\frac{\partial f_1(x_1^1, x_1^2)}{\partial x_1^1} = \frac{s}{p_1}, \quad \frac{\partial f_1(x_1^1, x_1^2)}{\partial x_1^2} = \frac{p_2}{p_1}, \quad (2)$$

де s - ставка заробітної плати, P_1 - ціна продукту першого сектора, P_2 - ціна продукту другого сектора. Зміни сумарної потужності першого сектора описується так:

$$\frac{dM_1}{dt} = I_1 - \mu_1 M_1 \quad (3)$$

I_1 - швидкість створення нових потужностей.

Інвестиції Φ_1^I в перший сектор $\Phi_1^I = p_1 b_1 I_1$.

Виробництво в другому секторі описується виробничою функцією:

$$Y_2 = F_2(M_2, V_E) = M_2 f_2(x_2), \quad x_2 = \frac{V_E}{M_2}, \quad (4)$$

де M_2 - потужність, $f_2(x_2)$ - виробничая функція другого сектора, V_E - кількість енергетичної сировини, що витрачається. Попит на енергетичну сировину $V_E^d \left(\frac{P_2}{P_E} \right)$ і пропозиція енергії $Y_2^s \left(\frac{P_2}{P_E} \right)$ першому сектору і населенню в залежності від ціни енергії p_2 та ціни енергетичної сировини p_E знаходяться з умови максимуму поточного прибутку виробництва енергії за таким рівнянням:

$$f_2'(x_2) = \frac{p_E}{p_2} \quad (5)$$

Виробничая потужність другого сектора змінюється в силу:

$$\frac{dM_2}{dt} = I_2 - \mu_2 M_2 \quad (6)$$

Швидкість I_2 створення нових потужностей визначається за інвестиціями Φ_2^I в другий сектор: $\Phi_2^I = p_2 b_2 I_2$.

Ціна продукту першого сектора коливається в залежності від запасу Q_1 (α_1 константа):

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

$$\frac{dQ_1}{dt} = Y_1 - \frac{\Phi_1}{p_1}$$

а Q_1 змінюється згідно рівняння

Ціна на енергію коливається в залежності від співвідношення попиту на неї та її пропозиції. Але береться до уваги, що незалежні виробники створюють єдину систему забезпечення енергією. Тому, коли попит менший пропозиції, ціна на енергію зменшується значно повільніше, ніж вона зростає, коли пропозиція менша, ніж попит. Ця обставина виражається таким рівнянням зміни ціни енергії:

$$\frac{dp_2}{dt} = -\alpha_2 \left(Y_2^s, Y_2^d \right) \frac{Y_2^s - Y_2^d}{Y_2^s} p_2, \quad (8)$$

в якому $\alpha_2 \left(Y_2^s, Y_2^d \right)$ - додатна кусково-стала функція: $\alpha_2 = \alpha_2^+$, якщо $Y_2^s - Y_2^d \geq 0$; $\alpha_2 = \alpha_2^-$, якщо $Y_2^s - Y_2^d < 0$; $\alpha_2^- > \alpha_2^+$. Попит на енергію $Y_2^d = E + C_2$, пропозиція енергії $Y_2^s = M_2 f_2(x_2)$.

Припускається, що ціна енергетичної сировини на зовнішньому ринку p_E задана. За цією ціною задовольняється попит на сировину V_E , заданий виразом $V_E^d = M_2 x_2$.

Ставка заробітної плати s описується рівнянням:

$$\frac{ds}{dt} = \frac{1}{\Delta} \max \left\{ 0, \frac{R^d - R^s}{R^s} \right\}, \quad (9)$$

де $\Delta > 0$ - стала часу, попит на робочу силу R^d заданий виразом $R^d = M_1 x_1^1$, а пропозиція R^s - виразом $R^s = P^A U(\omega)$, $\omega = \frac{C_1^L}{P}$. Кількість зайнятих визначається як $R^L = \min \{ R^d, R^s \}$.

На основі рівнянь балансів для усіх економічних агентів отримано нелінійну систему диференціально-функціональних рівнянь для потужностей секторів, капіталу, цін, заробітної плати [3] (тут не будемо її наводити через громіздкість).

У системі диференціальних рівнянь потужність першого економічного сектору залежить від ціни одиниці продукції у цьому секторі, коефіцієнта зношення відповідного обладнання, а також від капіталу у першому та другому економічних секторах. Також на потужність першого сектору суттєво впливає значення виробничої функції, що показує рівень випуску товарів у першому економічному секторі, та коефіцієнта частини інвестицій, що поступають в перший сектор. Потужність другого економічного сектору подібним чином залежить від ціни одиниці продукції другого сектору, потужності першого сектору, коефіцієнта зношення обладнання, а також рівня капіталу як в першому, так і в другому економічних секторах.

Капітал першого економічного сектору прямопропорційно залежить від потужності цього економічного сектору. Як можна бачити, ріст капіталу першого економічного сектору гальмують списання обладнання в обох секторах. Подібна динаміка спостерігається і для капіталу другого економічного сектору. Відзначимо також, що зниження норми банківського резервування позитивно впливає на ріст капіталу у першому і другому економічних секторах, а також на ріст потужності цих секторів економіки.

Зміна нормативного запасу продукції першого економічного сектору має досить складну залежність від потужності і ціни одиниці продукції у цьому секторі, кількості активних працівників у цьому секторі та значення виробничої функції першого економічного сектору. Нагадаємо, що запас продукції другого сектору у даній моделі не розглядається через особливості енергетичного сектору, яка полягає в тому, що енергія має досить малу можливість запасатись.

Динаміка зміни ціни одиниці продукції у першому економічному секторі залежить від потужності цього сектору а також від запасу цієї продукції. Також вона може регулюватись через зміну параметра α_1 . Динаміка зміни ціни одиниці продукції у енергетичному секторі залежить від потужностей першого і другого економічних секторів, рівня споживання продукту цього сектору для виробництва товарів першого економічного сектору, заробітної платні у першому секторі, а також від значення виробничої функції другого економічного сектору.

Оскільки система рівнянь є неявною та функціонально-залежною, то неможливо отримати її аналітичний розв'язок. У роботі [4] наведено результати комп'ютерного моделювання за допомогою модифікованого методу Ейлера.

Розглянемо тепер задачу визначення станів досяжності для деякої системи. Задача полягає у визначенні того чи виходячи з початкового стану або конфігурації, система може перейти в інший, заданий стан, тобто, чи може вона досягти цього стану.

У лінійному випадку задача визначення станів досяжності є добре відомою. Розглянемо дискретну лінійну систему $x_{i+1} = Ax_i + V_i$, де V_i задана на обмеженій, опуклій множині V . Опукла множина P може бути представлена, зокрема, у вигляді багатогранника, заданого своїми вершинами чи еліпсоїда заданого центром та матрицею деформації.

Крім того, у роботі [5] запропоновано генетичний алгоритм:

$$\begin{aligned} P_0 &:= \tilde{R}_{[0,r]}(P) \\ \text{repeat } i &= 1, 2, \dots \\ P_i &:= \sigma(P_{i-1}, A, V, r) \\ \text{until } i &= k \end{aligned} \quad (10)$$

де σ – абстрактний оператор наступник, який за заданою множиною P та афінним диференціальним включенням виду $\dot{x} \in Ax \oplus V$ генерує множину $\sigma(P, A, V, r)$, що містить усі точки простору станів, що досяжні за час r з точок множини P . Множину $\tilde{R}_{[0,r]}(P)$, що містить стани досяжні з P за час r можна обчислити застосовуючи, зокрема техніку з [6], [7].

У випадку нелінійної системи, виду $x_{i+1} = f(x_i)$ для довільної функції $f(\cdot)$ запропоновані підходи не ефективні. Хоча, можливо обчислити функцію $f(\cdot)$ на деякій репрезентативній вибірці $\tilde{P} \subset P$ та одержати множину що апроксимує $f(P)$. Однак, ця апроксимація буде дуже грубою та потребуватиме громіздкої оптимізації, котра не може бути частиною алгоритму пошуку станів досяжності. Одним з підходів, який застосовують в цьому випадку є генетичний алгоритм так званої динамічної гібридизації. На вхід алгоритму подається нелінійна динамічна система $S = (x, f)$, та множина початкових станів P , а на виході одержують послідовність множин $P_0, P_1 \square P_k$, об'єднання яких містить множину $R_{P, \mu}(P)$. Множина $R_{B, \mu}(P)$ – це множина станів, що досяжні з P за час h .

$$\begin{aligned} B &:= \beta(P) \\ (A, b, V) &:= L(f, B) \\ P_0 &:= \tilde{R}_{[0,r]}(P) \\ i &:= 0 \\ \text{repeat} \\ P_{i+1} &:= \sigma(P_i, A, \{b\} \oplus V, r) \\ \text{if } P_{i+1} &\subseteq B \\ i &:= i + 1 \\ \text{else} \\ B &:= \beta(P_i) \\ (A, b, V) &:= L(f, B) \\ \text{until } i &= k \end{aligned} \quad (11)$$

Тут L – лінеаризуючий оператор, який для заданої нелінійної функції $f(\cdot)$ та опуклої множини B . Він генерує матрицю A , вектор b та опуклий багатогранник V такий, що $\forall x \square B, f(x) \square Ax + b \oplus V$. σ – лінійний оператор-наступник, а β – процедура, що генерує область лінеаризації $B = \beta(P)$, котра містить P . Форма області B , та співвідношення між її розміром та розміром P є важливими та залежать від досліджуваної системи та потрібної точності.

Ще один з можливих підходів запропоновано в роботі [5], де знайдено умови за яких стани досяжності досліджуваної нелінійної системи збігаються з станами досяжності відповідної лінійної системи.

На основі вище наведених тверджень визначимо параметри керування системною моделлю енергозалежної економіки: b_1, b_2 – коефіцієнти фондмісткості одиниці потужності (для першого та другого сектора відповідно); μ_1, μ_2 – темпи вибуття потужності внаслідок зношення основних фондів відповідних секторів; λ – темп зростання пропозиції робочої сили; δ – часова стала, що характеризує релаксацію зміни частки інвестицій в перший та другий сектори економіки; P_E – ціна на енергію; μ_1^*, μ_2^* – темп списання виробничого устаткування; k – вартісна величина золота (чи валюти) у валовому продукті, що надходить до резервного активу банківської системи; ξ^* – норма банківського резервування; Δ – часовий масштаб релаксації ставки заробітної плати на ринку робочої сили; Π – частина вартості внутрішнього валового продукту, яку споживають власники; C^L – споживання енергії на одиницю продукту 1-го сектору.

Результати моделювання динаміки основних макроекономічних показників за певного набору параметрів керування:
- збільшення ціни енергосировини приводить до збільшення потужностей першого із секторів, до зменшення потужностей другого із секторів, а також до збільшення ціни одиниці товару, однак збільшення ціни енергосировини негативно позначається на кількості випуску товарів як першого, так і другого економічних секторів. Даний ефект можна пояснити тим, що при збільшенні ціни енергосировини відбувається стрибок ціни продукції, внаслідок чого може знизитись рівень їхнього споживання, що в свою чергу призведе до зменшення випуску продукції, або заміни їх на більш економічні та продуктивні (енергосировина стає дорогою і це призводить до збільшення кількості залученої робочої сили, а отже до росту зарплати для приваблення працівників).

- кількість продукції другого сектору (енергії), що задіяна для виробництва продукції першого сектору, певний час доволі сильно зростає, а потім, досягнувши певного максимального значення, залишається сталим, причому час, коли цей показник досягає максимального значення, сильно залежить від ціни енергосировини і від того, як саме вона змінюється.

- випуск продукції другого сектору, суттєво зменшується при збільшенні ціни енергосировини.

Висновки та перспективи подальших досліджень. В роботі описано принципи побудови системної моделі енергозалежної економіки як нелінійної системи диференціальних рівнянь. Наведено алгоритм визначення станів досяжності нелінійних систем. Визначено параметри керування, наведено результати моделювання. Отримані результати можна використовувати для побудови прогнозів розвитку економіки в залежності від ціни імпортованих енергоресурсів.

Список літератури.

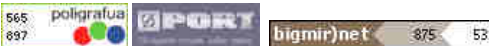
1. Ляшенко І.М., Коробова М.В., Столяр А.М. Основи математичного моделювання економічних, екологічних та соціальних предметів.- Тернопіль, 2006. – 300с.
2. Петров А.А., Поспелов И.Г., Шананин А.А. Опыт математического моделирования экономики. - М., 1996. – 480с. 3. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы. - М., 1989. – 150с.

3. Гайдучок О. Про результати чисельного моделювання енергозалежної економіки. Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. Том I, №1. – Хмельницький. – 2010. – С. 184-186.
4. Костробій П.П., Гайдучок О. Математичне моделювання енергозалежної економіки Фіз.-мат. моделювання та інформ. техн. – 2014. – Вип. 19. – С. 92-103.
5. Reif Jiri, Cibulka Radek On reachable states of nonlinear dynamical systems 5th Int.Conf Applimath. – 2006. – P. 309-314.
6. Eugene Asarin, Thao Dang, Antoine Girard. Hybridization methods for the analysis of nonlinear systems. Acta Informatica, 43(7). – 2007. – P. 451-476.
7. Eugene Asarin, Thao Dang, Oded Maler, Olivier Bournez. Approximate reachability analysis of piecewise-linear dynamical systems. In HSCC, volume 1790 of LNCS. Springer, 2000. – P. 20-31

References.

1. Liashenko, I.M. Korobova, M.V. and Stoliar, A.M. (2006), *Osnovy matematychnoho modelivannia ekonomichnykh, ekolohichnykh ta sotsialnykh predmetiv*, Ternopil, Ukraine, p.300.
2. Petrov, A.A. Pospelov, I.G. and Shaninin A.A. (1996), *Opyt matematychnoho modelirovaniia jekonomiki*, Moscow, Russia, p.480.
3. Haiduchok, O. (2010), "Pro rezultaty chyselnoho modelivannia enerhozaleznoi ekonomiky", *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Ekonomichni nauky*. No. I, vol.1, Khmelnytskyi, Ukraine, pp. 184-186.
4. Kostrobii, P.P. and Haiduchok, O. (2014), "Matematyчне modelivannia enerhozaleznoi ekonomiky", *Fiz.-mat. modelivannia ta inform. tekh.*, vol. 19, pp. 92-103.
5. Reif Jiri, Cibulka Radek On reachable states of nonlinear dynamical systems 5th Int.Conf Applimath. – 2006. – P. 309-314.
6. Eugene Asarin, Thao Dang, Antoine Girard. Hybridization methods for the analysis of nonlinear systems. Acta Informatica, 43(7). – 2007. – P. 451-476.
7. Eugene Asarin, Thao Dang, Oded Maler, Olivier Bournez. Approximate reachability analysis of piecewise-linear dynamical systems. In HSCC, volume 1790 of LNCS. Springer, 2000. – P. 20-31

Стаття надійшла до редакції 17.03.2015 р.



ТОВ "ДКС Центр"