

УДК 004.94

## СИСТЕМНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ДИНАМІКИ ВЗАЄМОЗАЛЕЖНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СФЕРИ УКРАЇНИ

С.М. Єфіменко<sup>1</sup>, Т.К. Кваша<sup>2</sup>, В.С. Степашко<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем  
НАН та МОН України,

<sup>2</sup> Український інститут науково-технічної і економічної інформації,  
astrid@irtc.org.ua

В роботі виконано моделювання реального економічного процесу – за даними Міністерства економіки, застосовуючи авторегресійні та моделі множинної авторегресії побудовано моделі для 11 показників енергетичної сфери України. В умовах недостатньої кількості експериментальних даних вищу точність показали моделі множинної авторегресії.

*Ключові слова:* Індуктивне моделювання, комбінаторний алгоритм МГУА, системна модель, енергетична сфера.

The modelling of the real economic process by data of Department of economics is executed in the paper. Models for 11 indexes of power sphere of Ukraine with the use of autoregression and multivariate autoregressive models are built. Models of multivariate autoregression showed higher exactness under insufficient amount of experimental data.

*Keywords:* inductive modelling, GMDH combinatorial algorithm, system model, power sphere

В работе выполнено моделирование реального экономического процесса – по данным Министерства экономики, применяя авторегрессионные и модели множественной авторегрессии построены модели для 11 показателей энергетической сферы Украины. В условиях недостаточного количества экспериментальных данных более высокую точность показала модель множественной авторегрессии.

*Ключевые слова:* индуктивное моделирование, комбинаторный алгоритм МГУА, системная модель, энергетическая сфера.

**Вступ.** При прийнятті рішень у сучасних умовах, що характеризуються швидкими змінами ринкового середовища, виникає необхідність удосконалення інструментів управління. У цьому випадку застосування економіко-математичних методів моделювання значно прискорює процес прийняття рішень.

Вибір для даного дослідження показників енергетичної сфери України обумовлений тим, що енергетичний комплекс є стратегічно важливим для нашої держави (як, загалом, і для будь-якої іншої).

Також актуальність теми дослідження підтверджується положеннями Енергетичної стратегії України на період до 2030 року, прийнятої Розпорядженням Кабінету міністрів України у 2006 році [1]. Згідно з нею паливно-енергетичний комплекс характеризується високою наукоємністю технологічних процесів. При цьому мають вирішуватися проблемні питання, виконуватися науковий супровід впровадження у виробництво перспективних розробок та новітніх технологій, формуватися перспективи розвитку паливно-енергетичного комплексу (ПЕК).

Одними з невідкладних і перспективних заходів для відтворення досягнутого в докризовий період рівня науково-технічного забезпечення ПЕК та його подальшого підвищення у XIV розділі Енергетичної стратегії визначено наступні:

– поступове значне збільшення фінансування науково-технічних робіт (НТР), що виконуються державними науковими закладами згідно з пріоритетними напрямками розвитку галузей ПЕК. Започаткування нових форм організації НТР і впровадження їх результатів шляхом створення мережі вітчизняних інноваційно-технологічних та інформаційно-аналітичних і консультаційних центрів, залучення до роботи провідних науковців і фахівців;

– формування сучасних технологій підготовки і прийняття політичних та економічних рішень у сфері енергетики. Забезпечення активної участі наукових установ та інформаційно-аналітичних і консультаційних центрів у розробленні економічно обґрунтованих механізмів реалізації енергетичної політики з урахуванням прогнозів розвитку окремих галузей ПЕК та господарського комплексу в цілому;

– створення державної інформаційно-аналітичної системи аналізу функціонування ПЕК з метою забезпечення органів державної влади усіх рівнів достовірною і повною інформацією про стан справ з енергозабезпечення країни і регіонів.

Метою даного дослідження є розроблення економіко-математичної моделі для використання з метою підтримки прийняття ефективних управлінських рішень.

## **1. Моделювання показників енергетичної сфери за допомогою авторегресійних моделей**

Для розв'язання задачі побудови прогнозу показників енергетичної сфери України було використано дані Міністерства економіки за 1996 – 2005 роки (усього по 10 точок) для 11 показників:

$x_1$  – частка власних джерел в балансі паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР);

$x_2$  – частка домінуючого паливного ресурсу у споживанні ПЕР;

$x_3$  – частка імпорту палива з однієї країни (компанії) у загальному обсязі його імпорту;

$x_4$  – знос основних виробничих фондів підприємств ПЕК;

$x_5$  – відношення інвестицій в підприємства ПЕК до ВВП;

$x_6$  – енергоємність ВВП;

$x_7$  – обсяг видобутку вугілля;

$x_8$  – транзит нафти;

$x_9$  – транзит газу;

$x_{10}$  – обсяг видобутку природного газу;

$x_{11}$  – обсяг видобутку нафти і газового конденсату

з метою побудови моделі зміни цих показників у часі та отримання прогнозних значень на 2006 – 2008 роки.

Зазначимо, що для всіх показників, крім  $x_{10}$ ,  $x_{11}$ , від Міністерства економіки отримано реальні дані за 2006-2008 роки.

Для моделювання застосовувались два підходи: 1) традиційний, коли кожен показник, тобто окремо взятий часовий ряд, моделюється незалежно в класі моделей авторегресії; 2) моделювання в класі різницевих багатовимірних моделей динаміки, коли враховується взаємозалежність показників.

Спочатку для кожного показника будувалися авторегресійні моделі

$$x_i(t) = \theta_1 x_i(t-1) + \theta_2 x_i(t-2), \quad i = \overline{1, 11} \quad (1)$$

залежності даного показника від його двох запізнюваних значень. Із загальної кількості  $2^2 - 1 = 3$  усіх можливих лінійних моделей з використанням комбінаторного алгоритму відбиралася одна за мінімальним значенням критерію регулярності [2], який застосовується в МГУА і має обчислювальну формулу

$$AR(s) = \|y_B - X_B \hat{\theta}_{As}\|^2, \quad (2)$$

де  $A$  і  $B$  – відповідно навчальна і перевірна частини вибірки;

$\hat{\theta}_{As}$  – оцінка параметрів моделі складності  $s$  (складність моделі визначається кількістю аргументів, що вона містить) за МНК на підвибірці  $A$ .

На рисунках 1 – 4 показано реальні значення показників суцільною лінією (1996 – 2005 роки) та пунктирною лінією модельні значення (з прогнозними значеннями на 2006-2008 роки).

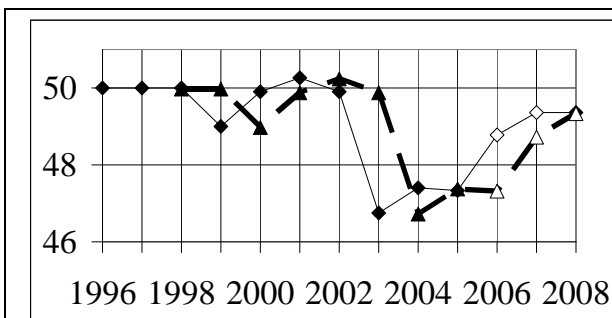


Рисунок 1 – Частка власних джерел в балансі ПЕР

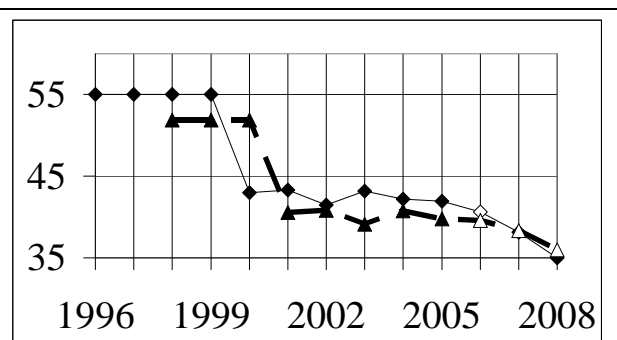


Рисунок 2 – Частка домінуючого паливного ресурсу у споживанні ПЕР

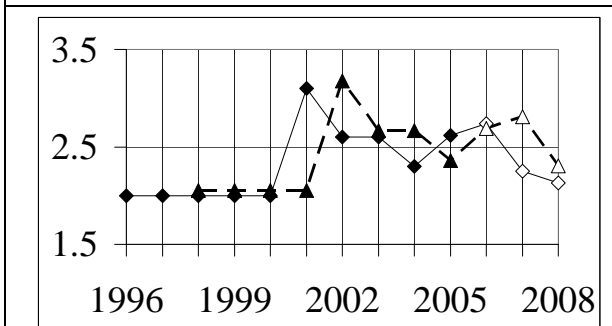


Рисунок 3 – Відношення інвестицій в підприємства ПЕК до ВВП

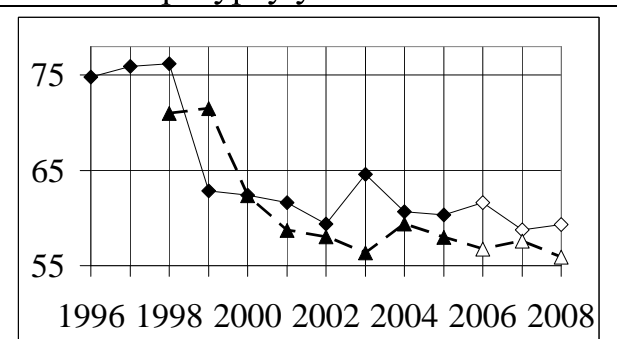


Рисунок 4 – Обсяг видобутку вугілля

Стосовно цих результатів можна зробити висновок, що автономні авторегресійні моделі погано описують експериментальні дані (мають характер простого зсуву кривої на крок вперед) та не можуть бути використані для отримання надійних прогнозів. З огляду на це моделі не наведено в тексті.

Це пов'язано з тим, що, по-перше, для моделювання маємо досить мало експериментальних даних. Так, за загальної кількості точок  $m=10$  і двох запізнюваних значення для оцінювання параметрів залишається 5 точок і три точки – для перевірки побудованих моделей. По-друге, показники енергетичної сфери, так само як і економічні показники, є досить сильно взаємопов'язаними і потребують побудови моделей множинної авторегресії, тобто різницевих багатовимірних моделей динаміки взаємозалежних показників..

## 2. Моделювання за допомогою моделей множинної авторегресії

Виконувалася структурно-параметрична ідентифікація при повному переборі для моделей виду

$$x_i(t) = \sum_{j=1}^{11} \theta_{ij} x_j(t-1) + \sum_{k=1}^{11} \theta_{ik} x_k(t-2), \quad i = \overline{1, 11}, \quad (3)$$

або у матричному вигляді

$$X(t) = \Theta_1 X(t-1) + \Theta_2 X(t-2), \quad (4)$$

де  $\Theta_1$  і  $\Theta_2$  – матриці коефіцієнтів моделі (3) розмірності  $11 \times 11$ . Для кожного показника за допомогою комбінаторного алгоритму будувалися моделі обмеженої складності (від  $s=1$  до  $s=5$  відповідно до кількості точок навчальної частини вибірки). Після побудови для всіх показників моделей, оптимальних за критерієм регулярності, робився системний прогноз усіх показників на один крок уперед. Послідовне обчислення прогнозних значень для всіх показників дає можливість отримувати прогнози на задану кількість кроків. Побудовано таку системну модель:

$$\begin{aligned} x_1(t) &= -0.56x_1(t-1) + 0.61x_2(t-2) + 8.1x_5(t-1) + 1.5x_{10}(t-2), \\ x_2(t) &= 0.41x_1(t-1) + 38.6x_6(t-2) - 4.4x_{10}(t-1) - 4.3x_{10}(t-2) + \\ &+ 37x_{11}(t-1), \\ x_3(t) &= -3.1x_1(t-1) + 2.5x_5(t-1) + 15.2x_{11}(t-2), \\ x_4(t) &= 1.2x_1(t-1) - 14.8x_6(t-1) - 0.08x_8(t-1) + 0.04x_8(t-2) + \\ &+ 0.15x_9(t-2), \\ x_5(t) &= 0.02x_1(t-1) - 0.02x_4(t-1) - 0.04x_8(t-1) + 0.03x_{10}(t-2), \\ x_6(t) &= 0.002x_2(t-1) + 0.8x_6(t-1), \\ x_7(t) &= 0.68x_1(t-1) + 0.47x_7(t-1), \\ x_8(t) &= 324x_6(t-1) - 239x_6(t-2) - 0.1x_8(t-1) - 1.7x_9(t-2) + 49x_{11}(t-2), \end{aligned}$$

$$x_9(t) = -1.2x_2(t-2) + 2.9x_4(t-2) - 20x_5(t-1) + 1.04x_7(t-1) - 0.14x_7(t-2),$$

$$x_{10}(t) = -1.6x_5(t-1) + 0.003x_8(t-1) - 0.11x_8(t-2) + 1.5x_{10}(t-2),$$

$$x_{11}(t) = 0.06x_1(t-2) - 0.14x_5(t-1) - 2.1x_6(t-1) + 0.87x_{11}(t-1).$$

На рисунках суцільною лінією показано реальні значення показників і пунктирною – модельні з прогнозними значеннями на 2006-2008 роки.

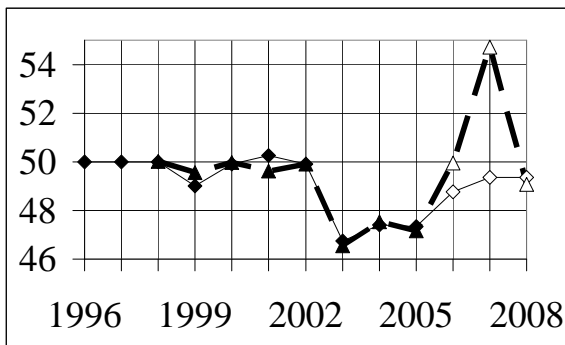


Рисунок 5 – Частка власних джерел в балансі ПЕР

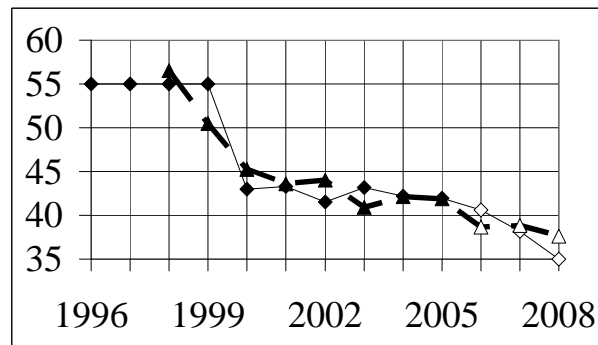


Рисунок 6 – Частка домінуючого паливного ресурсу у споживанні ПЕР

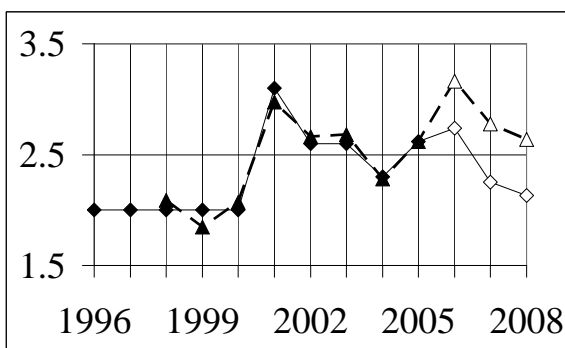


Рисунок 7 – Відношення інвестицій в підприємства ПЕК до ВВП

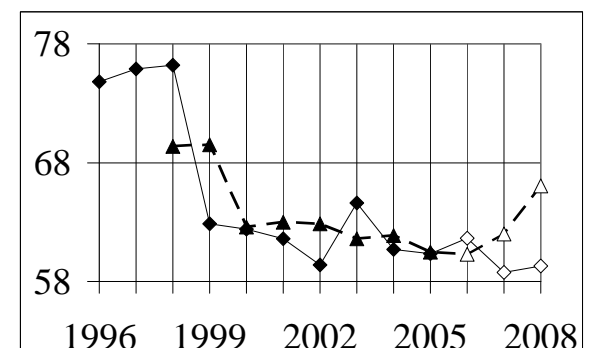


Рисунок 8 – Обсяг видобутку вугілля

Істотне розходження реальних та прогнозних значень для деяких показників можна пояснити занадто короткою вибіркою. Отже, побудовану системну модель поки що не слід застосовувати для довгострокового прогнозу, оскільки вона має, по-перше, нестійкі коефіцієнти, по-друге, не враховує деякі економічні, а особливо політичні фактори, що істотно впливають на зазначені показники. Крім того, деякі дані явно містять коливання, які можна пояснити як можливими помилками в даних, так і зміною методики їх розрахунку.

Покращення точності прогнозів за побудованими моделями можливе при їх застосуванні в режимі прогнозування не на три кроки, а лише на крок вперед – коли в праву частину підставляються на кожному кроці реальні значення показників (а не модельні, як у попередньому випадку) за два попередні роки для обчислення прогнозних значень на 2007 та 2008 роки.

На рисунках для декількох показників суцільною лінією показано дійсні значення, довгою пунктирною – прогнозні значення, отримані за раніше побу-

дованими моделями, і короткою пунктирною – прогнозні з урахуванням реальних за 2007-2008 роки. Для цих показників описаний режим помітно підвищує точність прогнозування.

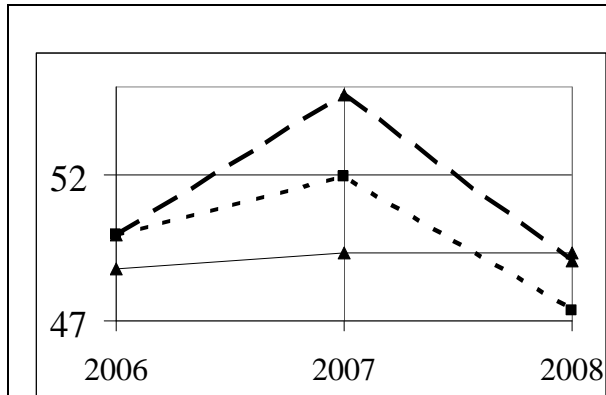


Рисунок 9 – Частка власних джерел в балансі ПЕР

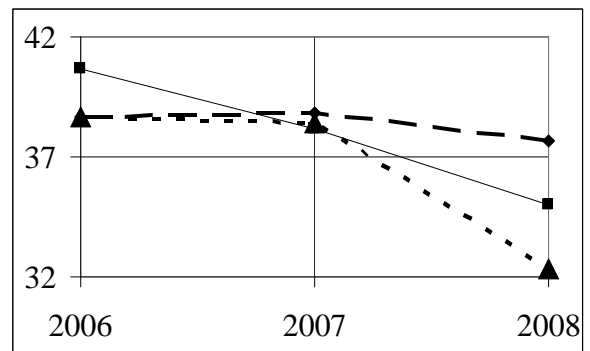


Рисунок 10 – Частка домінуючого паливного ресурсу у споживанні ПЕР

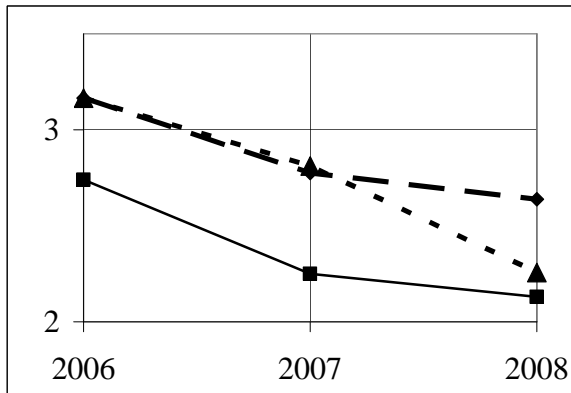


Рисунок 11 – Відношення інвестицій в підприємства ПЕК до ВВП

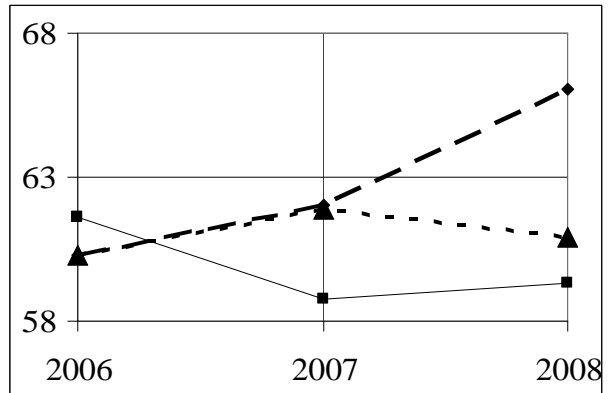


Рисунок 12 – Обсяг видобутку вугілля

**4. Висновки.** Виконане моделювання показників енергетичної сфери України за допомогою авторегресійних моделей показало, що такі моделі досить погано описують експериментальні дані, а тому не можуть бути використані для отримання прогнозу показників. Причиною низької точності цих моделей може бути:

- недостатня кількість експериментальних даних;
- істотний взаємозв'язок показників енергетичної сфери.

В умовах недостатньої кількості експериментальних даних вищу точність показали моделі множинної авторегресії, які є багатовимірними різницевиими моделями динаміки взаємозалежних показників.

### Література

1. Енергетична стратегія України на період до 2030 року // Сайт Міністерства палива та енергетики України:

<http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358>

2. Ивахненко А.Г., Степашко В.С. Помехоустойчивость моделирования. - Киев: Наук. думка, 1985. - 216с.