

УДК 330.46:65.012

Мадих А.А.

МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛАСТИЧНОСТІ АДАПТИВНИХ ВИРОБНИЧО-ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ

На основі методів економіко-математичного моделювання проведено дослідження еластичності виробничо-економічних систем (ВЕС) до коливань ринкових і виробничих факторів, визначається характер реакції ВЕС й оптимальні параметри можливого маневру.

On the basis of economical-mathematical simulation methods the investigation of production and economic systems flexibility to market and production factors' fluctuation is conducted, the manner of reaction of production and economic systems and optimal parameters of possible maneuvers are determined.

Функціонування підприємств в умовах становлення ринкової економіки пов'язано з безліччю ризиків, що породжуються нестабільним й надзвичайно динамічним зовнішнім середовищем. Забезпечення ефективності й життєздатності підприємств у таких умовах вимагає розробки і застосування ринкових інструментів гнучкого, адаптивного управління.

Здатність виробничо-економічної системи (ВЕС) стійко і максимально ефективно функціонувати протягом усього планового періоду визначається адаптивними властивостями ВЕС, закладеними в план розвитку на стадії пасивної адаптації [1,2]. Ці властивості визначають такі системні характеристики ВЕС як гнучкість, еластичність, стійкість, надійність. Комплексне дослідження цих характеристик і управління ними дозволяє підвищити якість управління ВЕС і обґрунтувати витрати пов'язані із забезпеченням її адаптивності.

Вивченню адаптивних методів управління присвячені праці багатьох вчених, серед яких можна виділити В.А. Забродського, Т.С. Клебанову, В.Л. Петренка, В.Н. Тимохіна. Дослідженню системних характеристик присвячені праці В.Г. Соколова, В.А. Смирнова, О.Ю. Полякова, А.В. Мілова. Однак, проблема комплексного дослідження системних характеристик при організації процесів адаптивного управління ВЕС є недостатньо розглянутою і неформалізованою, що підтверджує актуальність і своєчасність дослідження, результати якого висвітлюються у даній публікації.

У статті розглядається лише один аспект цієї проблеми, пов'язаний з дослідженням еластичності ВЕС. І хоча сам термін "еластичність" в економіці не є новим, еластичність як характеристика, що відбиває чутливість функціонування ВЕС у нестабільних умовах та характеризує адаптивні можливості ВЕС, є слабо вивченою.

Серед найбільш актуальних завдань з управління ВЕС у нестабільному середовищі можна виділити наступні:

- 1) визначення факторів, до яких ВЕС є найбільш чутливою;
- 2) визначення діапазону збурювань, який система здатна локалізувати без зміни цільових установок;
- 3) визначення рівня впливу коливання вхідних параметрів на результуючі показники функціонування ВЕС, а також закономірності зміни цього впливу залежно від величини коливань.

Вирішення цих завдань взаємозалежно й вимагає моделювання й дослідження еластичності ВЕС, розробки нових інструментів системного аналізу, що дозволяють підвищити ефективність управлінських рішень в нестабільному середовищі.

Питання управління еластичністю ВЕС зручно розглядати окремо для факторів, які впливають на структуру виробничої програми (номенклатуру й обсяг продукції, що випускає підприємство) з боку ринків збуту; і окремо для факторів, що впливають на виробничі процеси (з боку постачальників або внутрішнього середовища).

У першому випадку коливання факторів на ринках збуту найчастіше відбиваються на попиті і обсягах реалізації продукції підприємством, оскільки зміна обсягів реалізації на даному ринку у більшості випадків для підприємства є єдиним засобом реагування на зміни умов реалізації продукції. Вирішимо задачу про еластичність виробництва стосовно коливань попиту на окремі види продукції.

Основні параметри "адаптаційного потенціалу" ВЕС визначаються гнучким планом розвитку [3], у якому передбачаються основні напрямки можливого маневрування. Нехай має місце деякий план функціонування виробничої підсистеми ВЕС:

$$\max P = \sum_i p_i \sum_j \sum_{k=1}^{k_i} x_i^{kj} = P_0, \quad (1)$$

$$\sum_i \sum_{k=1}^{k_i} a_{il}^k \sum_j x_i^{kj} = A_l^p \leq A_l, \quad l = \overline{1, s+n},$$

$$\sum_{k=1}^{k_i} \sum_j x_i^{kj} = X_i^p \geq X_i, \quad \forall i \in I,$$

$$\sum_i \sum_{k=1}^{k_i} \frac{x_i^{kj}}{v_i^{kj}} = T_j^p \leq T_j, \quad \forall j \in J,$$

де p_i – норма прибутку при реалізації продукції i -го виду;

x_i^{kj} – кількість продукції i -го виду, виготовленої j -м виробничим елементом за допомогою k -го технологічного способу;

a_{il}^k – витрати у вартісному вимірі l -го виду ресурсів на виробництво одиниці i -го виду продукції k -м технологічним способом;

v_i^{kj} – інтенсивність виробництва i -го виду продукції j -м виробничим елементом за допомогою k -го технологічного способу;

A_l, X_i, T_j – граничні припустимі значення відповідно обсягу ресурсів, кількості виробленої продукції, і фонду робочого часу виробничих елементів;

A_l^p, X_i^p, T_j^p – ті ж величини за планом;

P_0 – планове значення цільового критерію.

Визначимо еластичність ВЕС стосовно коливань попиту.

Нехай $X_i^p : X_i \leq X_i^p \leq X_i^{\max}$, де X_i^{\max} – рішення задачі (1) з цільовою функцією:

$$X_i^{\max} = \sum_j \sum_{k=1}^{k_i} x_i^{kj} \rightarrow \max, \quad \forall i \in I. \quad (2)$$

Розглянемо поведінку кривої еластичності очікуваного доходу ВЕС до фактору збільшення попиту. Припустимо, попит на i -й вид продукції склав $X_i^f > X_i^p$. Реакція на збільшення попиту не повинна викликати зниження випуску по інших видах продукції $X_m^p, \forall m \in I \setminus i$. На підставі резервів по ресурсах $A_l - A_l^p$ і за робочим часом виробничих елементів $T_j - T_j^p$, визначимо, яку частину додаткового попиту $X_i^f - X_i^p$ підприємство здатне задовольнити:

$$\gamma_i^{f-p} = \sum_j \sum_{k=1}^{k_j} x_i^{kj} \rightarrow \max, \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^{k_i} a_{il}^k \sum_j x_i^{kj} \leq A_l - A_l^p, \quad l = \overline{1, s+n},$$

$$\sum_{k=1}^{k_j} \frac{x_i^{kj}}{V_i^{kj}} \leq T_j - T_j^p, \quad \forall j \in J.$$

При $\gamma_i^{f-p} \geq X_i^f - X_i^p$ підприємство не понесе втрат, пов'язаних з недовиробленням продукції i . Можливі втрати при цьому можуть мати місце й можуть бути пов'язані з витратами часу на переналагодження устаткування й неможливістю виконання замовлень у необхідний термін, що в даній моделі не враховується, однак вони будуть суттєво меншими, ніж втрачена вигода.

Якщо ж $\gamma_i^{f-p} < X_i^f - X_i^p$, то підприємство недоодержить доход у розмірі $p_i(X_i^f - X_i^p - \gamma_i^{f-p})$. У цьому випадку, якщо для деяких $m \neq i$ плановий обсяг виробництва $X_m^p > X_m$, то можливе корегування плану з відмовою від виробництва певної частини деяких видів продукції m на користь продукції i . Для визначення можливості корегування плану для всіх $m \neq i$, таких що $X_m^p > X_m$ і для всіх комбінацій технологій k_1 випуску продукції m з технологіями k_2 випуску продукції i , побудуємо впорядкований ряд:

$$(p_i - p_m - \Delta_{mi}^{k_1 k_2})_r : (p_i - p_m - \Delta_{mi}^{k_1 k_2})_r > (p_i - p_m - \Delta_{mi}^{k_1 k_2})_{r+1}, \quad (4)$$

де $\Delta_{mi}^{k_1 k_2}$ – витрати, пов'язані з переходом від технології $A_m^{k_1} = (a_{m1}^{k_1}, \dots, a_{m, s+n}^{k_1})$ випуску продукції m до технології $A_i^{k_2} = (a_{i1}^{k_2}, \dots, a_{i, s+n}^{k_2})$ випуску продукції i . Для всіх невід'ємних елементів ряду (4), використовуючи планове рішення (1) побудуємо новий ряд

$$(p_i - p_m - \Delta_{mi}^{k_1 k_2})_r \cdot \sum_j x_m^{k_1 j}, \quad \forall r : (p_i - p_m - \Delta_{mi}^{k_1 k_2})_r > 0. \quad (5)$$

Перенумеруємо технології k_1 у порядку зростання, так, щоб для першого елемента, пов'язаного з видом продукції m , $k_1 = 1$, для другого елемента, пов'язаного з тим же видом продукції m , $k_1 = 2$ і т.д.

Елементи ряду (5) будемо послідовно підсумовувати таким чином, щоб загальний обсяг продукції кожного виду m не перевищив величини $X_m^p - X_m$, причому якщо на деякому етапі додаток чергового $\sum_j x_m^{k_1 j}$ призводить до перевищення $X_m^p - X_m$, то цей

обсяг потрібно взяти в частині так, щоб $\sum_{k_1=1}^{[K_m]} \sum_j x_m^{k_1 j} + (K_m - [K_m]) \sum_j x_m^{[K_m]+1, j} = X_m^p - X_m$, де

K_m – дробове число, що показує скільки перших доданків $\sum_j x_m^{k_1 j}$ необхідно взяти для підсумовування; $[K_m]$ – ціла частина K_m .

Позначимо отриману суму S_i . Вона відбиває максимальний додатковий дохід, що може одержати підприємство від зміни виробничої програми X_m^p , $m=\overline{1,|I|}$ з метою збільшення випуску продукції i . При цьому обсяг продукції i , отриманий за рахунок зміни виробничої програми, буде $\gamma_i^{f-p'} \leq X_i^{\max} - X_i^p - \gamma_i^{f-p}$.

Однак, таке корегування плану можливе тільки в тому випадку, якщо продукція, випуск якої зменшується, зроблена в обсязі меншому, ніж дає новий план. Причому на самому початку планового періоду, коли продукція ще не вироблялася, можливість такого маневру максимальна, і величина $\gamma_i^{f-p'}$ буде дорівнювати $X_i^{\max} - X_i^p - \gamma_i^{f-p}$. Наприкінці планового періоду, коли планове завдання виконане, $\gamma_i^{f-p'} = 0$. Тоді, якщо припустити, що виробництво рівномірно, можливий додатковий випуск продукції i у сучасний момент t складе $\gamma_i^{f-p'} = (T-t)(X_i^{\max} - X_i^p - \gamma_i^{f-p})$, де T – тривалість планового періоду. Відповідно, можливий додатковий дохід S_i необхідно відкоригувати, помноживши на величину $(T-t)$. І тоді, при $\gamma_i^{f-p} < X_i^f - X_i^p$, недоотримані доходи складуть $p_i(X_i^f - X_i^p - \gamma_i^{f-p}) - (T-t)S_i$.

Під еластичністю ВЕС стосовно збільшення попиту будемо розуміти величину, що показує, наскільки відсотків можуть збільшитися доходи ВЕС за рахунок підвищення попиту на 1% [4-7].

При $X_i^f \leq X_i^p + \gamma_i^{f-p}$ відповідно до [4-7] еластичність має вигляд

$$\varepsilon_i^+ = \frac{p_i(X_i^f - X_i^p)}{P_0} \cdot \frac{X_i^p}{X_i^f - X_i^p} = \frac{p_i X_i^p}{P_0} \quad (7)$$

і відбиває частку доходів, отриманих від реалізації планового обсягу продукції i у загальному обсязі доходів ВЕС.

При $X_i^f \geq X_i^p + \gamma_i^{f-p} + \gamma_i^{f-p'}$ величина ε_i^+ складе

$$\varepsilon_i^+ = \frac{p_i \gamma_i^{f-p} + (T-t)S_i}{P_0} \cdot \frac{X_i^p}{X_i^f - X_i^p} \quad (8)$$

Оскільки в (8) від величини попиту залежить тільки знаменник $X_i^f - X_i^p$, при подальшому збільшенні X_i^f еластичність буде зменшуватися, прямуючи до нуля. При $X_i^p + \gamma_i^{f-p} < X_i^f < X_i^p + \gamma_i^{f-p} + \gamma_i^{f-p'}$, еластичність буде зменшуватись, перебуваючи в інтервалі

$$\frac{p_i X_i^p}{P_0} > \varepsilon_i^+ > \frac{p_i \gamma_i^{f-p} + (T-t)S_i}{P_0} \cdot \frac{X_i^p}{X_i^f - X_i^p} \quad (9)$$

Розглянемо тепер випадок, коли попит знижується й становить $X_i^f < X_i^p$. Якщо продукція i вже вироблена в повному обсязі (на завершальних стадіях планового періоду), втрати ВЕС складуть $p_i(X_i^p - X_i^f)$ і будуть проявлятися у формі омертвлених у вигляді нереалізованої продукції засобів. Якщо ж фактично виробленої продукції i менше X_i^f , є можливість корегування плану з X_i^p до X_i^f , і за рахунок вивільнення ресурсів,

призначених для виробництва $X_i^p - X_i^f$, збільшення випуску тих видів продукції, попит на які підвищився.

Визначимо можливий максимальний ефект, що може дати корегування плану. Для цього на підставі (1) складемо модель визначення нового плану. Нехай y_m^{kj} – обсяг виробництва m -го виду продукції j -м виробничим елементом за допомогою k -го технологічного способу у корегованому плані. Тоді величина $\sum_k a_{ml}^k \sum_j (x_i^{kj} - y_i^{kj})$ буде показувати додаткову кількість ресурсу l -го виду, що вивільнився при відмові від виробництва i -го виду продукції в обсязі $\sum_k \sum_j (x_i^{kj} - y_i^{kj})$. Складемо модель корегування плану:

$$\max P = \sum_m p_m \sum_j \sum_k y_m^{kj} - P_i \left(\sum_j \sum_k y_i^{kj} - X_i^f \right) = P', \quad (10)$$

$$\sum_m \sum_k a_{ml}^k \sum_j y_m^{kj} \leq A_l^p + \sum_k a_{ml}^k \sum_j (x_i^{kj} - y_i^{kj}), \quad l = \overline{1, s+n},$$

$$\sum_k \sum_j y_m^{kj} \geq X_m^p, \quad \forall m \in I \setminus i,$$

$$\sum_k \sum_j y_m^{kj} \leq X_m^f, \quad \forall m \in I \setminus i,$$

$$\sum_k \sum_j y_i^{kj} \leq X_i^p, \quad \sum_k \sum_j y_i^{kj} \geq X_i^f,$$

$$\sum_m \sum_k \frac{x_m^{kj}}{v_m^{kj}} \leq T_j, \quad \forall j \in J,$$

Рішення задачі (10) у деяких випадках може виявитися навіть краще планового рішення (1), тобто, може виявитися, що $P' > P_0$. Це можливе у тому випадку, якщо за рахунок зниження випуску i -го виду продукції, підприємство змогло збільшити обсяги виробництва більш рентабельних видів продукції, попит на які виявився вище очікуваного.

Однак, якщо збільшити виробництво більш рентабельних, ніж i , видів продукції не можливо (у силу обмеженого попиту на них, або істотної різниці в технологіях), значення цільового критерію P' буде менше P_0 і втрати ВЕС складуть $P_0 - P'$.

Можливий ефект корегування планового рішення одержимо у вигляді $P' - (P_0 - p_i (X_i^p - X_i^f))$. При цьому, чим менше можливостей з корегування планового рішення, тим сильніше величина P' наближається до величини $P_0 - p_i (X_i^p - X_i^f)$.

Визначимо еластичність ВЕС стосовно зниження попиту. Еластичність буде показувати, наскільки відсотків знизяться доходи ВЕС за рахунок зниження попиту на 1% від запланованого рівня випуску продукції:

$$\varepsilon_i^- = \frac{P' - P_0}{P_0} \cdot \frac{X_i^P}{X_i^f - X_i^P} \quad (11)$$

Оскільки, другий дріб від'ємна, то при $P' \geq P_0$ величина ε_i^- буде від'ємна, що відбиває зростання доходів ВЕС. При зміні виробничої програми на користь менш рентабельних, ніж i , товарів величина ε_i^- буде додатною, що свідчить про зниження доходів ВЕС. Асимптотично вона буде наближатися до величини

$$\hat{\varepsilon}_i^- = \frac{-P_i(X_i^P - X_i^f)}{P_0} \cdot \frac{X_i^P}{X_i^f - X_i^P} = \frac{P_i X_i^P}{P_0} \quad (12)$$

Представимо криві відносного збільшення доходу ВЕС при відносному відхиленні попиту від планового обсягу випуску i -го виду продукції в графічному виді (рис. 1).

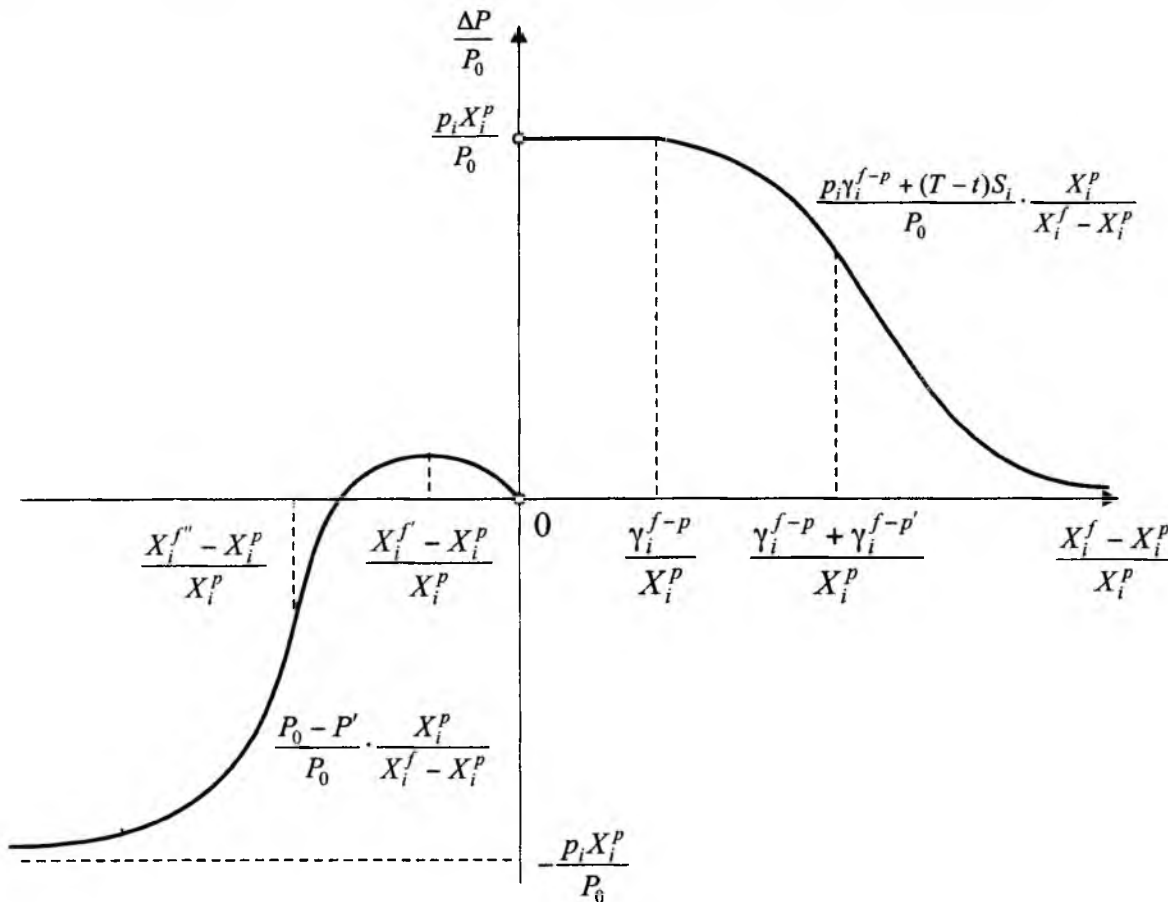


Рис. 1. Еластичність ВЕС стосовно коливання попиту на один вид продукції

На рис. 1 через $X_i^{f'}$ позначено таку величину попиту, при якій ресурси, що вивільняються при відмові від виробництва обсягу $X_i^P - X_i^{f'}$, будуть використані для виробництва більш рентабельних видів продукції. Через $X_i^{f''}$ – таку величину попиту, при якій ресурси, що вивільняються при відмові від виробництва обсягу $X_i^P - X_i^{f''}$, будуть використані для виробництва як більш, так і менш рентабельних видів продукції. Не

виключена ситуація, коли $X_i^{f'} = 0$ (випуск більш рентабельних товарів за рахунок ресурсів, що вивільнилися, неможливий), у цьому випадку довжина відрізка $\left(\frac{X_i^{f'} - X_i^p}{X_i^p}; 0\right)$

буде нульовою, і крива в лівій напівплощині буде постійно зростати.

Тепер розглянемо питання про еластичність ВЕС щодо коливань факторів, пов'язаних з виробничими процесами. У більшості випадків таку задачу можна звести до задачі про недопоставки або дефіцит ресурсів. Нехай недопоставка по l -му ресурсу склала $A_l^f < A_l^p$. Необхідно визначити, як будуть змінюватися доходи ВЕС залежно від рівня недопоставки.

У першу чергу на недопоставку ресурсу повинні відреагувати ті види продукції, при виробництві яких відсутній ресурс можна замінити деяким іншим, наявним ресурсом. У цьому випадку обсяги виробництва продукції не зміняться, а доходи ВЕС не зміняться або зміняться незначно у зв'язку з використанням більш дорогої технології (ресурсу).

Якщо ж маневру подібного роду виявиться недостатньо, щоб компенсувати недопоставку, і зниження обсягів виробництва неминуче, необхідно знижувати обсяги виробництва в першу чергу по тим видам продукції, які: 1) найбільш ресурсоємні по дефіцитному ресурсу; 2) мають більш низьку норму прибутку; 3) не спричиняють штрафних санкцій за порушення договірних зобов'язань, або такі санкції мінімальні. Критерій, що враховує всі ці три фактори, у загальному виді можна представити в такий спосіб:

$$\frac{a_{il}}{(s_i + p_i) \sum_l a_{il}}, \quad \forall i \in I, \quad (13)$$

де $\frac{a_{il}}{\sum_l a_{il}}$ – середня технологічна ресурсоємність i -го виду продукції за l -м ресурсом;

s_i, p_i – відповідно, середній розмір штрафів і норма прибутку, що становлять на 1 грн. недовиробленої продукції. Чим вище значення критерію (13), тим більш вигідно компенсувати збурювання у вигляді недопоставки ресурсу l недовипуском даного виду продукції.

Однак, критерієм (13) не завжди можливо скористатися, оскільки споживання ресурсу, а отже й ресурсоємність, залежать від технологічних способів, прийнятих у виробничій програмі (1). Тому більш точне корегування планового рішення вимагає вирішення наступної задачі:

$$\min Z = \sum_i (p_i + s_i) \left(X_i^p - \sum_j \sum_{k=1}^{k_j} y_i^{kj} \right) = Z', \quad (14)$$

$$\sum_i \sum_{k=1}^{k_i} a_{il}^k \sum_j y_i^{kj} \leq A_l^f,$$

$$\sum_i \sum_{k=1}^{k_i} a_{im}^k \sum_j y_i^{kj} \leq A_m, \quad \forall m \neq l,$$

$$\sum_i \sum_{k=1}^{k_i} \frac{y_i^{kj}}{v_i^{kj}} = T_j^p \leq T_j, \quad \forall j \in J.$$

де y_i^{kj} – обсяг виробництва i -го виду продукції j -м виробничим елементом за допомогою k -го технологічного способу у корегованому плані; величина $X_i^p - \sum_j \sum_{k=1}^{k_i} y_i^{kj}$ у цільовій функції відбиває недовипуск за i -м видом продукції.

Таким чином, при недопоставці l -го ресурсу в обсязі $A_i^p - A_i^f$ доходи підприємства знизяться на величину Z . Тоді еластичність виробництва по l -му ресурсу виражається в такий спосіб:

$$\varepsilon_i^{r-} = \frac{-Z^l A_i^p}{P_0 A_i^f - A_i^p}. \quad (15)$$

Таким чином, у статті на основі методів економіко-математичного моделювання на теоретичному рівні проводиться дослідження еластичності ВЕС до коливань зовнішнього середовища. Одержані результати полягають у наступному:

- 1) в аналітичному вигляді отримано функції еластичності доходів ВЕС у залежності від зміни обсягів виробництва й обсягів ресурсів;
- 2) знайдено ключові точки рівня коливання попиту, які визначають характер поведінки функції еластичності в залежності від характеру й глибини можливого маневру;
- 3) для коливань виробничих факторів отримано функцію еластичності, і визначено ключові точки, що визначають можливості маневру за рахунок наявного резерву ресурсу й маневру за рахунок використання ресурсів-замінників;
- 4) при дослідженні еластичності не тільки враховуються можливості маневру, але й визначаються оптимальні параметри маневру при реакції ВЕС на розглянуті збурювання.

Великий обсяг обчислень, пов'язаний з дослідженням еластичності ВЕС, і визначення оптимальних параметрів маневрування обумовлює необхідність автоматизації цих процесів. Тому перспективним напрямком подальшого дослідження є строга алгоритмізація процесів дослідження еластичності й інших системних характеристик і розробка системи підтримки прийняття рішень, що дозволить підвищити ефективність процесів адаптивного управління підприємством.

Література

1. Петренко В.Л. Технология адаптивного планирования в производственно-экономических системах. – Донецк: ИЭП НАН Украины, 1991 – 32 с.
2. Мадых А.А. Концепция моделирования процессов адаптивного управления ВЕС с использованием общесистемных характеристик // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – №5 [87]. – 2005. – С. 162-168.
3. Мадых А.А. Моделирование гибкости при планировании адаптивных качеств ВЕС // Модели управления в рыночной экономике: (Сб. науч. тр.) Общ. ред. Ю.Г. Лысенко; Донецкий нац. ун-т. – Донецк: ДонНУ, 2005. – Вып. 8. – С. 115-125.
4. Соколов В. Г., Смирнов В. А. Исследование гибкости и надежности экономических систем. – Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1990. – 253 с.
5. Замков О. О., Толстопятенко А. В., Черемных Ю. Н. Математические методы в экономике: Учебник. — М.: МГУ им. М. В. Ломоносова, Изд-во «ДИС», 1998. – 368 с.
6. Демьянов В.А., Мадых А.А. Характеристики развития экономических систем // Модели управления в рыночной экономике (Сб. науч. тр.). Под ред. Ю.Г. Лысенко. – Донецк: ДонНУ, 2001. – Вып. 4. – С. 183-184.

7. Поляков О.Ю., Милов А.В. Моделирование системных характеристик экономики: Учеб. пособие. – Х.: Издательский дом «ИНЖЭК», 2004. – 296 с.

*Рекомендовано до публікації
д.е.н., проф. Ковальчуком К.Ф., 15.09.05*

*Надійшла до редакції
26.08.05*