

О. А. Жиров,
канд. фіз.-мат. наук, доцент,
С. Б. Кузовкін,
магістрант,
Національний технічний університет України "КПІ"

МОДЕЛЮВАННЯ ЦІНОУТВОРЕННЯ В ЕНЕРГЕТИЧНІЙ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ

У роботі представлено модель процесу ціноутворення на ринку електроенергії України. Використано апарат формування цін методом Рамсея.

У ході дослідження розроблено програмний продукт, який працює, використовуючи дану модель. Прикладна програма в якості джерела вхідних параметрів використовує базу даних, за допомогою технології ADO.

The model of prognostication of price is in-process presented at the market of electric power of Ukraine. The Ramsey's method of pricing is used.

During research a software product which works using this model is developed. The application program in quality the source of entry parameters uses a database, by technology of ADO.

Ключові слова: електроенергія, прогнозування ціни, ціни Рамсея, ринок електроенергії.

ВСТУП

Серцем промисловості України є важка промисловість. За структурою витрат, її підприємства відносяться до енерговитратних. За сучасних умов ринкової економіки України крупні промислові споживачі зацікавлені в забезпеченні недорогого і надійного енергопостачання своїх виробничих потужностей. Ця умова допоможе забезпечити конкурентоспроможність продукції на внутрішніх і міжнародних ринках. Тому дедалі важливішим стає питання оптимізації витрат на електроенергію.

Об'єктом дослідження є підприємства України, які використовують значну кількість енергоресурсів у виробництві продукції.

Дослідження в даній галузі на теренах України не проводились. Але можна використати досвід як російських, так і західних науковців, таких як Ратников Б.Е, Шварца Е.С, Н. Вінера, Б. Манделброта, А. Каулеса. Їхні висновки щодо процесів формування цін на оптовому ринку електроенергії Росії можна адаптувати для умов України.

Виходячи з того, що Україна не характеризується високою територіальною розділеністю, модель буде ефективною для будь-якого регіону.

Актуальність теми досліджень полягає в тому, що вирішення проблеми планування витрат на електроенергію підприємствами України має важливий стратегічний характер в аспекті мінімізації витрат на виробництво продукції.

Висновки і рекомендації, що містяться в роботі, мають важливе практичне значення при прогнозуванні цін на електроенергію. Їх суть полягає в можливості врахування при перспективному аналізі сезонних чинників і зменшення відносно похибки при прогнозі на невеликі проміжки часу, тобто використовуючи оперативний прогноз. Особлива увага звертається на застосування перспективних обчислень при плануванні витрат на електроенергію.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

У роботі досліджено процес ціноутворення на ринку електроенергії України. Ціна на електроенергію формується в умовах природної монополії.

Метою роботи є розробка альтернативного методу ціноутворення на ринку електроенергії України.

Методологічною базою даного дослідження математичний апарат, функціонування якого прив'язане до економічної системи. Використано праці як зарубіжних, так і вітчизняних вчених, які працювали над дослідженнями даної проблеми. Засновано методи системного аналізу, статистичні методи, аналізу і синтезу, економіко-математичного моделювання і прогнозування.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У даний час на українському ринку основним методом регулювання природних монополій є цінове регулювання. Створення теорії природних монополій передбачає широкий спектр методів цінового регулювання, які ставлять за мету оптимізацію ціноутворення. Ця теорія поки, що не отримала потрібного відображення в сучасній літературі. Ціни на продукцію природної монополії за умов максимізації суспільної корисності визначаються відповідно до обраного критерію. Наприклад, оптимальні ціни повинні забезпечити беззбитковність фірми. У випадку одноставкових тарифів, оптимізаційні моделі приводять ціни до цін відомих, як ціни Рамсея [3]. Оптимізаційні моделі для багатоставкових тарифів ведуть до методів розрахунку цін в залежності від вибраного критерію оптимізації і обраних обмежень.

У світовій практиці є досвід цінового регулювання, основаного на оптимізаційних моделях. Ціноутворення Рамсея було застосовано в США електроенергетиці. Соціально оптимальним результатом діяльності монополії вважається результат, який забезпечує максимум функції суспільного благополуччя [1]. Згідно визначення функції суспільного благополуччя для однопродуктового випадку, її можна представити як суму споживчого надлишку і прибутку монополіста, вона матиме наступний вигляд:

$$W(Q) = \int_0^Q P(q) dq - C(Q) \quad (1)$$

Оптимальний тариф

Про програму Вихід

Початкові дані Введення даних Ізоеластична Лінійна Результат Розрахунок ціни ЕЕ

E(teta(Q))= 0,856

Eр(Q)= -1,461

AC= 0,24

MC= 0,16

Ізоеластична Лінійна

a= 0,093 a= 85,18

b= 0,856 b= 0,033

d= 1,461 d= 93,6

s^2=0,321

m=1721

Рис. 1. Введення даних в програму

де Q — обсяг продукції, вироблений природною монополією; $P(Q)$ — обернена функція попиту, $P(Q)$ — функція витрат.

Багатоставкові тарифи містять у собі плату за підключення до мережі (або плату за право оритування послугою) і послідовність ставок, що залежать від обсягу споживання. Чим більше число ставок включає тариф, тим більше значення функції суспільного добробуту може бути досягнуто. Збільшуючи число ставок, можна побудувати оптимальний нелінійний тариф з безперервної (гладкої) граничною ціною $P(Q)$. У цьому випадку на кожному одиницю товару встановлюється своя ціна. Метод побудови такого тарифу запропонований роботі [3].

Основна ідея методу полягає в тому, що для будь-якого обсягу споживання Q розглядається ринок, на якому пропонуються чергові ΔQ одиниць товару (надалі такий ринок будемо називати ринком додаткового споживання). Величина $P(Q)$ являє собою додаткову плату, що споживач повинен заплатити фірмі, якщо він змінить обсяг споживання з Q до $Q + \Delta Q$.

Для кожного рівня споживання Q і пов'язаного з ним ринку додаткового споживання визначимо дохід $\theta_0 = \theta_0(Q, P(Q))$ як дохід покупця, що має нульовий надлишок на цьому ринку. Іншими словами, це дохід покупця, чия готовність платити за Q одиниць товару дорівнює граничній ціні: $p(Q, \theta_0) = P(Q)$.

Всі покупці зі значенням доходу $\theta < \theta_0(Q, P(Q))$ не будуть брати участь на ринку додаткового споживання, пов'язаного з рівнем споживання Q , тому що вони мають негативний надлишок на цьому ринку і, отже, покупка чергових ΔQ одиниць товару приведе до скорочення їх загального споживчого надлишку. Середній споживчий надлишок покупців на ринку додаткового споживання, пов'язаного з рівнем споживання Q , при даному гладкому нелінійному тарифі $P(Q)$ дорівнює:

$$S(Q, P(Q)) = \int_{\theta_0(Q, P(Q))}^{\theta_{\max}} (p(Q, x) - P(Q))g(x)dx \quad (2).$$

Надлишок виробника на ринку додаткового споживання, пов'язаного з рівнем споживання Q , дорівнює:

$$\Pi(Q, P(Q)) = \int_{\theta_0(Q, P(Q))}^{\theta_{\max}} (P(Q) - c)g(x)dx = (P(Q) - c)(1 - G(\theta_0)) \quad (3).$$

Сукупний надлишок на ринку додаткового споживання, пов'язаного з рівнем споживання Q , складе:

$$W(Q, P(Q)) = S(Q, P(Q)) + \Pi(Q, P(Q)) \quad (4).$$

У [3] функціонала суспільного добробуту визначається як інтеграл від сукупних надлишків на кожному з ринків додаткового споживання:

$$W(P(\cdot)) = \int_0^{\theta_{\max}} W(q, P(q))dq \quad (5),$$

де $Q_{\max} = Q(\theta, \theta_{\max})$ — попит споживача з найбільшим значенням доходу при нульовій ціні. Кожен споживач при будь-якому гладкому нелінійному тарифі $P(Q)$ придбає менше, ніж Q_{\max} одиниць товару.

Середній прибуток природної монополії на один споживача складе інтеграл від надлишків виробника на кожному з ринків додаткового споживання за винятком постійних витрат:

$$\Pi W(P(\cdot)) = \int_0^{\theta_{\max}} (P(q) - c) \cdot (1 - G(\theta_0(q, P(q))))dq - F \quad (6).$$

В [3] вирішене завдання знаходження найбільшого значення функціонала суспільного добробуту по всіх можливих гладких нелінійних тарифах $P(Q)$, що забезпечує без-

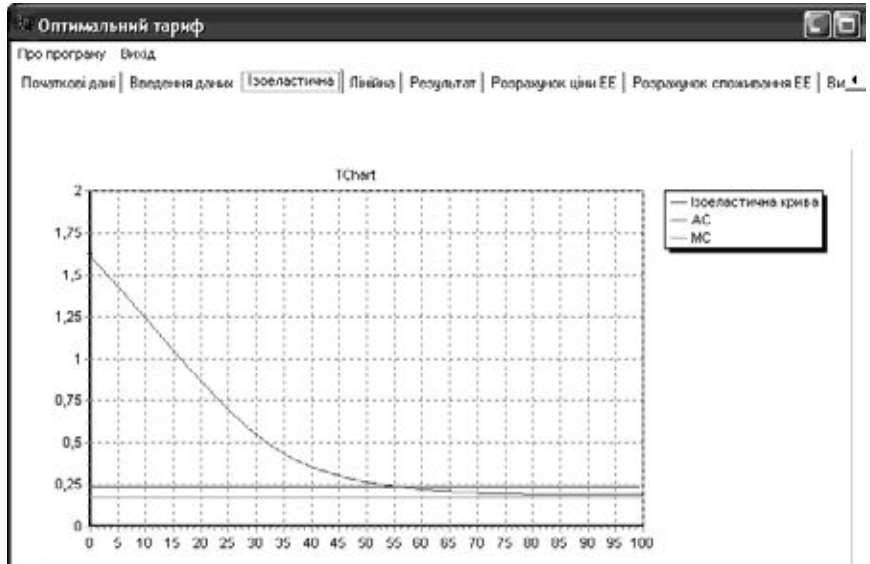


Рис. 2. Багатоставковий тариф при ізоеластичній кривій попиту

збитковість природної монополії:

$$\begin{cases} \max W(P(\cdot)) \\ \Pi(P(\cdot)) = 0 \end{cases} \quad (7).$$

Для розв'язку задачі (7) складемо функціонал Лагранжа

$$L(P(\cdot), \lambda) = W(P(\cdot)) + \lambda \cdot \Pi(P(\cdot))$$

І знайдемо варіацію:

$$\delta L = \int_0^Q \left\{ \int -g(x)dx - (p(q, \theta) - P(q))g(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial P} - g(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial P} (P(q) - c) + (1 - G(\theta)) \right\} \delta P dq + \lambda \left\{ \int (g(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial P} (P(q) - c) + (1 - G(\theta))) \delta P dq \right\}$$

Враховуючи те, що для граничного типу покупців виконується рівність $P(q) = p(q, \theta)$, отримаємо:

$$\delta L = \int_0^Q \left\{ \int - (1 + \lambda)g(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial P} (P(q) - c) + \lambda(1 - G(\theta)) \right\} \delta P dq$$

Функціонал Лагранжа досягає максимуму, якщо варіація $\delta L = 0$, для будь-якої варіації δP , щор можливо тільки тоді, коли в дужка дорівнює 0 для всіх $q \in [0, \theta_{\max}]$:

$$-(1 + \lambda)g(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial P} (P(q) - c) + \lambda(1 - G(\theta)) = 0$$

Звідси для будь-якого рівня споживання виконується рівність:

$$\frac{P(Q) - c}{P(Q)} = \frac{1}{1 + \lambda} \cdot \frac{1 - G(\theta)}{\frac{\partial \theta}{\partial P} \cdot g(\theta)P(Q)}$$

Величина $1 - G(\theta)$ являє собою долю споживачів, які беруть участь на ринку, пов'язаному з рівнем споживання Q в сукупній чисельності всіх споживачів. Визначимо еластичність участі на цьому ринку додаткової кількості ΔQ одиниць товару як:

$$E_{P(Q)}(N(Q)) = \frac{\delta(1 - G(\theta))}{\delta P} \cdot \frac{P}{(1 - G(\theta))} = -g(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial P} \cdot \frac{P}{(1 - G(\theta))}$$

Оптимальна ціна на кожному з ринків додаткового споживання визначається рівнянням:

$$\frac{P(Q) - c}{P(Q)} = -k \frac{1}{E_{P(Q)}(N(Q))} \quad (8),$$

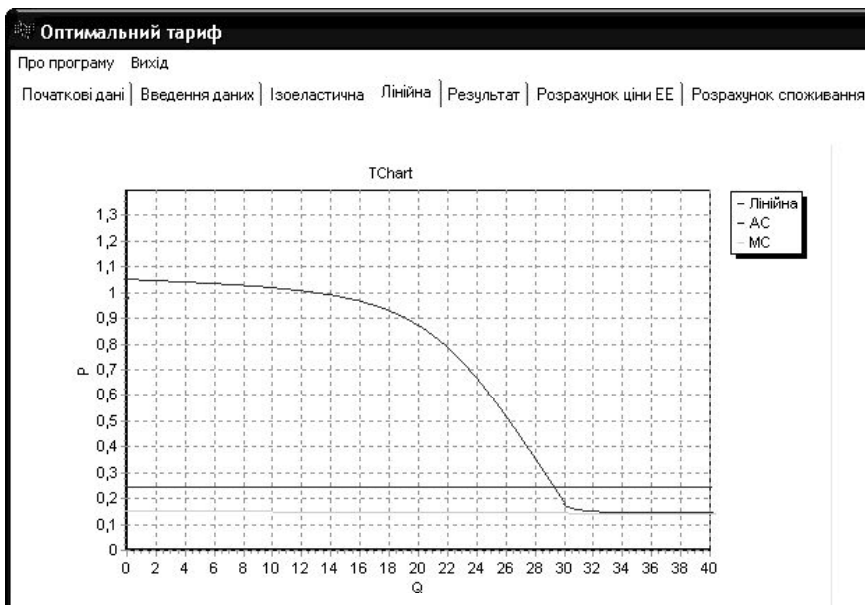


Рис. 3. Багато ставковий тариф при лінійній кривій попиту

$$\text{де } E_{P(Q)}(N(Q)) = \frac{\partial(1 - G(\theta_0))}{\partial P} \cdot \frac{P}{1 - G(\theta_0)} \text{ еластичність}$$

учасника ринку додаткового споживання за ціною на чергові ΔQ одиниць товару. Ця величина показує процентне зменшення частки учасників ринку при підвищенні граничної ціни $P(Q)$ на 1%. Константа $k > 0$ вибирається за умови беззбитковості фірми: $\Pi(P(\cdot)) = 0$.

З формули (8) видно, що відносно перевищення граничної ціни над граничними витратами на кожному з ринків додаткового споживання буде тим вищою, чим нижче еластичність участі за ціною на цьому ринку. Замість того, щоб знаходити функцію граничних цін $P(Q)$ цілком, можна знаходити оптимальні ціни на кожному з безлічі ринків додаткового споживання ΔQ , використовуючи ціноутворення Рамсея. Зібрані разом, ці ціни Рамсея й дадуть оптимальний гладкий нелінійний тариф. При такому ціноутворенні витрати фірми покриваються за рахунок тих ринків додаткового споживання, де еластичність попиту на додаткове споживання низка. На ділянках попиту з високою еластичністю ціни будуть близькі до граничних витрат.

Статистичні дослідження показують, що розподіл середньодушового грошового доходу споживачів описується логонормальним розподілом [2]. Тому було взято припущення, що дохід θ має логонормальний розподіл ($\ln \theta$ має нормальний розподіл) з щільністю:

$$g(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot s \cdot x} \exp\left(-\frac{(\ln x - \ln m)^2}{2s^2}\right), x > 0$$

Параметр m є медіаною, тобто половина всіх споживачів мають середньодушовий дохід менше, ніж m , а половина — більше, ніж m . Параметр s^2 , є мірою розкиду в значення середньодушового доходу. Середнє значення для логонормального розподілу $\theta_{cp} = m \cdot \exp(0,5s^2)$, а модальне

$$\theta_{mod} = m \cdot \exp(-s^2).$$

Вибіркове $\theta_{cp} = 2023$ грн. В якості оцінки модального значення була вибрана величина, на яку приходиться найбільше чисто спостережень $\theta_{mod} = 1250$ грн. Параметри логонормального розподілу вичислюються за формулами:

$$s^2 = \frac{2}{3} \ln\left(\frac{\theta_{cp}}{\theta_{mod}}\right), \quad m = \theta_{mod} \cdot \exp(s^2)$$

склали $s^2 = 0,321$, $m = 1721$

За розрахунками спеціалістів, постійні витрати на 1000 МВт генеруючої потужності комбінованого газо-

турбінного циклу складає 600000 доларів США, граничні витрати 18—24 доллари США за 1МВт/год. В вільності з цими значеннями, при розрахунку оптимального тарифу витрати F електроенергетичної компанії, були рівними 4,8 млн грн., а граничні витрати 0,16 грн. за 1Квт год.

Розрахунок оптимального тарифу проводився для двох функцій попиту: ізоеластичної і лінійної. Ізоеластична функція попиту визначена як $Q(P, \theta) = a\theta^b P^{-d}$, де $a > 0, b > 0, d > 0$. Еластичність попиту за ціною для цієї функції $E_p(Q) = -d$ не залежить ні від доходу споживача, ні від ціни. На рис. 3 зображена лінійна функція попиту вигляду $Q(P, \theta) = -aP + b\theta + d$, де $a > 0, b > 0, d > 0$. Еластичність попиту за ціною для цієї функції, рівна

$$E_p(Q) = \frac{-aP}{b\theta + d - aP} \text{ залежить від ціни і від доходу.}$$

Для реального вивчення параметрів функції попиту на електроенергію в Україні потрібно детальне вивчення попиту, збір даних і проведення економетричного аналізу.

Тому при виборі параметрів функції попиту були використані оцінки еластичності попиту на електроенергію за ціною і доходом, отримані рядом авторів у результаті економетричного моделювання. За цими параметрами еластичність попиту на електроенергію за ціною для побутових споживачів складає , а еластичність попиту за доходом $E_1(Q) = 0,856$. В відповідності з цими даними еластичностями, було вибрано наступні оцінки параметрів функцій попиту:

ізоеластична — $a = 0,093, b = 0,856, d = 1,461$
лінійна $a = 85,18, b = 0,033, d = 93,6$

При такому значенні параметрів попит споживача з середнім значенням доходу 1500 грн., при лінійному тарифі $P=0,24$ грн./Квт год рівний 100Квт год. При цьому лінійна функція попиту еластичності попиту за ціною і за доходом, при $P=0,24$ грн., і $\theta = 1500$ грн., складає $E_1(Q) = -1,461$

На рис. 1 зображено початкове вікно введення даних.

На рис. 2 і на рис. 3 зображено два лінійних тарифи з цінами рівними граничним витратам і тариф з ціною, рівною середнім витратам

Оптимальні нелінійні багато ставкові тарифи проєктуються з застосуванням математичних методів оптимізації, і забезпечуються досягнення таких цілей, як максимізація сукупного доходу при заданій нормі рентабельності, за умов переходу всіх учасників у Парето-покращення.

Найбільш простим нелінійним тарифом є 2-ставковий тариф, що включає в себе плату за підключення і граничну ціну за 1 квт енергії.

У підсумку в системі прийняття господарських рішень зміцнилося відношення до електричної енергії як невід'ємному, гарантованому, що не потребує особливих витрат благу для кожного. Так, на тлі марнотратного відношення до даного джерела енергії з боку споживачів електроенергетика потрапило в складне фінансове становище.

Література:

1. Москаленко В. П. Экономические новации: поиск и внедрение. — Суми: Довкілля, 2004. — 366 с.
2. Медведев Г.А. Математические модели финансовых рисков. — Минск: ПОЛИГРАФ, 2003 — 350 с.
3. Макаренко І.О. Метод інженерного прогнозування фінансових потоків підприємства в ринкових умовах. — Львів: Нац. ун-т ім. І. Франка, 2004. — С. 184—188.
4. Миллер Б.М., Панков А.Р. Теория случайных процессов в примерах и задачах. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. — 320 с.
5. А.Д. Вентцель. Курс теории случайных процессов. — М.: Наука, 1996. — 960 с.

Стаття надійшла до редакції 24.01.2011 р.