

Державне регулювання енергетикою як природною монополією

УДК 339.132/.133+621.31

В.К. Добровольський, канд. екон. наук, В.О. Костюк, канд. техн. наук (Інститут загальної енергетики НАН України, Київ)

ЗАЛЕЖНІСТЬ МІЖ ЦІНОЮ ТА ПОПИТОМ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЮ ЗА УМОВ ЗОННОЇ ТАРИФІКАЦІЇ ЦІН

Досліджено залежність між ціною та попитом на електроенергію в разі застосування зонних тарифів за допомогою функцій "Ціна-Попит", а також вплив змін зонних тарифів на графік навантаження. Використано математичний апарат нелінійних векторних функцій від векторних аргументів.

Исследована зависимость между ценой и спросом на электроэнергию при использовании зонных тарифов на электроэнергию с помощью функций "Цена-Спрос", а также влияние изменений зонных тарифов на график нагрузки. Использован математический аппарат нелинейных векторных функций векторных аргументов.

Найвагомішим припущенням вважатимемо уявлення про зонний поділ графіка навантаження енергосистеми. Для трьох добових зон: "ніч", "напівпік" і "пік" - застосуємо відповідні позначення параметрів: $\{q_i\}$ - вектор-стовпець абсолютних обсягів споживання електроенергії по зонах як задоволеного попиту; $[p]$ і $\{p_j\}$ - відповідно вектор-рядок і вектор-стовпець зонних цін (тарифів); $[t]$ - вектор-рядок тривалостей зон, причому сума тривалостей дорівнює 24-м годинам; i та j - індекси зони ($i, j = 1, 2, \dots, m; m = 3$). На подальші результати не впливає те, що, приміром, напівпікова зона складається з двох ділянок по обидва боки пікової зони.

В економічній теорії, що узагальнює тривалу практику, залежність між ціною та задоволенням попитом вважають монотонно спадною функцією $q = f(p)$ і називають $Q(P)$ -залежністю. Похідну згаданої функції $s = dq/dp$, називають чутливістю, а співвідношення $e = dq/dp \cdot p/q$ - еластичністю попиту від ціни. Від'ємний знак в обох величинах, як правило, опускається. Ці два поняття полегшують наочну інтерпретацію згаданої залежності. За нульової похідної еластичність попиту відсутня. В міру зростання величин s та e еластичність попиту змінюється від нееластичного до високоеластичного. Еластичність попиту в енергетиці невелика.

Запровадимо поняття простору цін P і простору обсягів попиту Q (математично це один арифметичний простір R^n). У даному випадку простори є тривимірними. Постулюємо залежність $p_1 < p_2 < p_3$, яка економічно є цілком очевидною: нічний тариф не може перевищувати обидва інші, а тариф для напівпікової зони не може перевищувати тариф для зони пік. Слід зауважити, що коливання цін відбуваються не в межах багатовимірного паралелепіпеда, а в його косо-зрізаній половині. Крім того, параметри моделі пов'язані загальним обмеженням типу $[p]\{q_i\}/[t]\{q_i\} \leq p$, де p - максимально допустима ціна на електроенергію, що встановлюється енергорегулюючим органом; $[t]$ - вектор із одиниць, що сумує елементи вектора обсягів. Останні два обмеження суттєво звужують область допустимих значень цін у просторі цін і обсягів.

Водночас, на обсяги попиту (споживання) жодних взаємно зумовлених обмежень не існує, зокрема, у випадку двоставочного тарифу сам споживач не припускає перевищення заявленої потужності. Багатовимірний випадок залежності між обсягами споживання й цінами (впливу цін на обсяги споживання) математично являє не функціональну залежність, а, швидше, залежність на многовидах (manifold). Векторна функція векторного аргументу - один із простих прикладів залежностей на многовидах.

У випадку зонних тарифів існують як основні залежності між попитом й ціною у тій самій зоні, так і менш виражені перехресні залежності між ціною й попитом у різних зонах. Отже, існують три основні та шість перехресних залежностей. Усі дев'ять залежностей функціонують як цілісність в умовах диференціації тарифів за всіма трьома зонами. Слід зазначити, що вказані функціональні залежності є неперервними функціями і, наприклад, поверхня у просторі цін продукує відповідну поверхню у просторі обсягів.

Отримати "істинну" функцію, що з наперед заданою точністю відтворює $Q(P)$ -залежність, теоретично не видається можливим, оскільки невідомо, які детерміновані чисельні залежності слід узяти за основу. Тим більше, що ці залежності є статистичними. Для опису $Q(P)$ -залежності застосуємо найбільш уживані та популярні лінійно-степеневі функції - многочлени другого й третього порядку: $q = a + b \cdot p + c \cdot p^2 [+ d \cdot p^3]$.

Інтерпретація многочлена першого, другого та третього порядків може бути такою. Лінійна складова задає головну залежність між ціною й попитом за умови постійної чутливості попиту. Квадратичний член накладає деяку нелінійність і робить функцію опуклою (для $c > 0$) або увігнутою (для $c < 0$). Разом квадратичний і кубічний члени, окрім забезпечення нелінійності, дозволяють внести одну точку переходу від опуклої до увігнутої функції, чи, навпаки, залежно від співвідношень значень коефіцієнтів c та d . Зауважимо, що у випадку використання кубічної залежності, знаки коефіцієнтів c та d мають бути проти-

лежними. У тривимірному просторі цін та обсягів запишемо векторні функції "Ціна-Попит" для всіх зон:

$$\{q_j\} = \{a_j\} + \|b_j^i\| \cdot \{p_j\} + \|c_j^i\| \cdot \{p_j^2\} + \|d_j^i\| \cdot \{p_j^3\},$$

де $\{q_j\}$ - вектор-стовпець обсягів задоволеного попиту; $\{a_j\}$ - вектор-стовпець постійних параметрів; $\|b_j^i\|, \|c_j^i\|$ та $\|d_j^i\|$ - квадратні матриці постійних параметрів; $\{p_j\}$ - вектор-стовпець зонних цін (операції піднесення до квадрата й куба відносяться до кожного елемента вектора зонних цін). Квадратичним і кубічним залежностям у багатовимірному просторі відповідають поверхні другого та третього порядків, вісі симетрії яких паралельні до осей координат. Більш точний запис виразу функції "Ціна-Попит" може містити також додатками попарні добутки цін $p^i \cdot p_j$, що підвищує точність апроксимації, але й вимагає ще трьох додаткових параметрів при добутках. Такому загальному випадку виразу функції геометрично відповідають довільно орієнтовані поверхні другого та третього порядків.

Таким чином, запис моделі "Ціна-Попит" у компактній формі та разом зі згаданими вище додатковими обмеженнями має такий вигляд:

$$Q = A + B \cdot P + C \cdot P^2 + D \cdot P^3, \\ P \cdot Q / 1 \cdot Q \leq p, \\ p_1 \leq p_2 \leq p_3.$$

Елементи, які мають однакове розташування, тобто однакові індекси у кожній з матриць B, C і D назвемо трійками коефіцієнтів $(b, c, d)_i^j$. Саме трійки, а також елементи вектора-стовпця A , формують конкретні нелінійні залежності між ціною й попитом:

- діагональна трійка $(b, c, d)_i^i$ задає головну залежність між попитом й ціною, тобто залежність у середині зони ($j = i$). Головні залежності є спадними;

- позадіагональна трійка $(b, c, d)_i^j$ визначає інтенсивність, з якою j -та ціна впливає на обсяг попиту на електроенергію у i -й зоні ($j \neq i$). Очевидно, що ці інтенсивності впливу суттєво менші, ніж у головних залежностях. На відміну від головних, "позадіагональні" залежності є зростаючими, але залежність обсягу попиту в піковій зоні від ціни у напівпіковій є спадною.

Різні споживачі мають, вочевидь, власні закономірності споживання як функції цін. Реальна залежність - це результат суперпозиції залежностей для всіх споживачів із ваговим коефіцієнтом кожного споживача як частки у сумарному споживанні електричної енергії.

Векторні функції містять постійні параметри (вектор-стовпчик A , матриці B, C і D), які мають бути визначеними. Статистичні дані, що давали б основу для визначення параметрів конкретних функцій, майже відсутні, тому можна використати гіпотези щодо ймовірної поведінки споживачів електроенергії й різні евристичні засоби. В літературі зустрічаються лише розрізнені дані, що описують поведінку споживачів електроенергії. Можливий спосіб отримання даних - анкетування споживачів. У запропонованій роботі параметри обчислюються за допомогою методу найменших квадратів за окремими точками, які можна вважати вірогідними; навіть одна надійна вихідна точка графіку "Ціна-Попит" має цінність. Многочлен третього порядку потребує принаймні чотирьох точок.

Вектор абсолютних обсягів задоволеного попиту по зонах $\{q_j\}$ задає певну модель графіка навантаження,

тобто заданому вектору цін відповідає певний графік навантаження. Зручніше оперувати відносними, інакше - нормованими, чи масштабованими обсягами попиту. Для нормування добираємо нормуючий множник, такий, щоб сума нормованих обсягів дорівнювала близько трьом одиницям за числом добових зон. Також можливо нормувати на одиницю або на 24 - кількість годин у добі. Абсолютні й нормовані величини пов'язані простою формулою $q_i = k \cdot g_i$, де k - безрозмірний нормуючий множник, що характеризує конкретну енергосистему або групу споживачів. Корисними є поняття питомих обсягів попиту в даній зоні в розрахунку на одну годину: $q_i = q_i/t_i$ та $g_i = g_i/t_i$. Питомий обсяг можна використовувати для розрахунків обсягів попиту при невеличких змінах тривалості зон.

Запропонований спосіб опису залежностей між попитом і зонними цінами є теоретичним підґрунтям для встановлення коректних, економічно обґрунтованих співвідношень між тарифами в різних добових зонах для різних класів споживачів в умовах глибокої диференціації тарифів за добовими зонами. Він відображає погляд з позиції споживача, в якому ціни чи тарифи розглядаються з огляду на рівновагу між попитом і пропозицією. За його допомогою ціни, розраховані за протилежним (також взаємодоповнюючим), затратним підходом, як певних затрат виробника електроенергії, можуть бути модифіковані. Спершу споживачі виявлятимуть консерватизм щодо використання дешевої нічної енергії. Але за впевненості у стабільній тарифній політиці, здійснюватимуть заходи щодо використання нічної електроенергії й виходу з пікової зони. Вочевидь, що поглиблення диференціації тарифів слід запроваджувати поступово, з тим, аби споживачі мали час пристосуватися й увійти в певний стаціонарний стан споживання.

Висновки

Зонні тарифи на електричну енергію не слід пов'язувати з міркуваннями затратного характеру. Цей шлях є хибним і штучним щодо уявлень запропонованого способу вивчення $Q(P)$ -залежності. Мета зонної диференціації цін - забезпечити максимальну вигоду для народного господарства та суспільства в цілому. Фактичні ціни формуються як рівнодія затратного підходу й законів попиту. Рівновага забезпечується ринком за участі державного регулювання.

Якщо обчислювати вартість електричної енергії, користуючись моделями затратного механізму ціноутворення, то "нічна" енергія буде найдорожчою, "пікова" найдешевшою, тобто співвідношення прямо протилежні тим, які сприяли б вирівнюванню графіка навантаження і, головне, більш повному використанню нічної електроенергії. Подібний "ціновий" парадокс знаходиться у протиріччя з великою економічною вигодою від вирівнювання графіка навантаження. Тому із загальноекономічної точки зору диференціація зонних цін повинна мати протилежний знак і фактичні ціни на "пікову" енергію мають бути вищими за "нічні" для забезпечення раціонального й економічно вигідного споживання.

Приклади

1. Приклади нелінійних залежностей нормованих обсягів попиту в добових зонах від зонних цін побудовано евристично, методом підбору параметрів многочленів, а також за допомогою методу найменших квадратів за окремими точками, які можна вважати вірогідними. Використано апроксимації за чотирма точками. Прийнято, що елементи вектора A є суми відповідних коефіцієнтів a усіх дев'яти кубічних многочленів. Один із варіантів розрахованих параметрів наведено нижче:

Таблиця. Варіанти розрахунків нормованих обсягів попиту на електроенергію (кВт•г) за різними співвідношеннями між зонними цінами (цент/кВт•г)

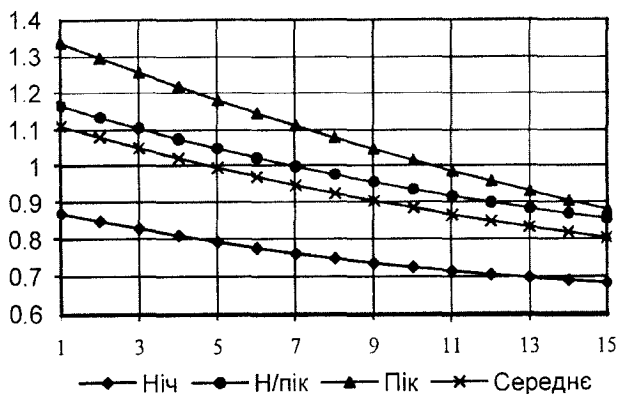
Зона	Ціна	Обсяг попиту	Ціна	Обсяг попиту	Ціна	Обсяг попиту	Ціна	Обсяг попиту
Ніч	5.00	0.793	3.25	0.836	2.00	0.869	1.20	0.891
Напівпік	5.00	1.049	4.80	1.058	5.40	1.039	5.75	1.029
Пік	5.00	1.181	6.50	1.129	7.00	1.111	7.40	1.097
Середньозважена ціна	5.00		5.01		5.01		5.01	
Сумарний нормований попит		2.990		3.005		3.001		3.001

$$A = \begin{pmatrix} 0.894 \\ 1.200 \\ 1.381 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} -0.02765 & 0.00141 & 0.00199 \\ 0.00082 & -0.03792 & 0.00262 \\ 0.00007 & -0.00293 & -0.04159 \end{pmatrix},$$

$$D = \begin{pmatrix} -8.70e-06 & 6.95e-08 & -8.10e-07 \\ -8.90e-07 & -9.50e-06 & -8.10e-07 \\ -1.20e-06 & -3.10e-07 & -9.10e-06 \end{pmatrix}$$

$$C = \begin{pmatrix} 0.000698 & 0.000031 & 0.000070 \\ 0.000081 & 0.000779 & 0.000070 \\ 0.000085 & 0.000042 & 0.000761 \end{pmatrix}$$

Обсяги нормованого попиту (кВт•г) в залежності від зонних цін (ц/кВт•г)



Таблиця містить кілька варіантів розрахунків за вказаними параметрами. Вектор тривалості зон є $T = \{8.0, 10.0, 6.0\}$. Співвідношення між значеннями цін підбрано так, щоб середньозважена по зонах ціна була однаковою в усіх варіантах і дорівнювала 5 цент/кВт.г.

Наведений графік ілюструє залежності "Ціна-Попит" для трьох зон, а також у середньому. Значення еластичностей дуже близькі для всіх трьох зон і у межах цін 2-5-8 цент/кВт.г становлять у середньому 0.05-0.12-0.18. Розрахунки, включаючи евристичний підбір параметрів, здійснено за допомогою табличного процесора.

2. Подамо приклад розрахунку абсолютних обсягів попиту для трьох зон за допомогою формули $q_i = k \cdot g_i \cdot t_i' / t_i$ з вектором зонних цін $P = [2.0, 5.4, 7.0]$, нормуючим множником $k = 4500$ та зміненим вектором тривалостей зон $T' = \{8.5, 9.25, 6.25\}$:

$$q_1 = 4500 \cdot 0.869 \cdot 8.5 / 8.0 = 4154.9 \text{ млн. кВт.г,}$$

$$q_2 = 4500 \cdot 1.039 \cdot 9.25 / 10.0 = 4324.8 \text{ млн. кВт.г,}$$

$$q_3 = 4500 \cdot 1.111 \cdot 6.25 / 6.0 = 5207.8 \text{ млн. кВт.г.}$$