

УДК 620.9

О.Є. МАЛЯРЕНКО, канд. техн. наук, ст. наук. співр., ORCID: 0000-0001-5882-916X

В.В. СТАНИЦІНА, канд. техн. наук, ORCID: 0000-0002-1005-6185

Інститут загальної енергетики НАН України, вул. Антоновича, 172, м. Київ, 03150, Україна

УТОЧНЕННЯ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОПИТУ НА ПАЛИВО З ОЦІНКОЮ СТРУКТУРНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ЕНЕРГЕТИЧНОМУ СЕКТОРІ

Уточнено методичний підхід до визначення потенціалу енергозбереження від структурних змін для енергетичного сектору економіки та методику прогнозування попиту на паливо нормативним методом. Виконано уточнені прогнози споживання вугілля та природного газу за видами економічної діяльності (ВЕД) та країни з узгодженням прогнозних рішень комплексним методом та оцінкою прогнозного попиту на види палива до 2040 р.

Ключові слова: паливо, попит, прогноз, споживання, структурні зміни, вид економічної діяльності, потенціал енергозбереження, населення.

Питання прогнозування споживання енергетичних ресурсів при структурних та технологічних змінах на довгострокову перспективу є одним з впливових чинників визначення напрямів розвитку видобувних, переробних та постачальних для палива і енергоносіїв видів економічної діяльності країни, адже обґрунтовані прогнози є ефективним інструментом перспективного планування та управління економікою. Прогнозуванням енергоспоживання на різних ієрархічних рівнях економіки займаються різні наукові школи [1–10]. В Інституті загальної енергетики НАН України багато років вивчали вплив структури економіки та її зміни на обсяги енергоспоживання як за галузевим розподілом [11] економіки, так і за видами економічної діяльності [12]. Методичний підхід для визначення прогнозного попиту на енергоресурси для формування прогнозних енергетичних балансів розглядався у роботі [13], де структурні зміни між секціями та їх енергоємними виробництвами розглядалися для обсягів кінцевого споживання палива та енергії згідно з термінологією, прийнятою у [14]¹. До отриманого таким способом прогнозу кінцевого споживання додавався прогноз споживання ПЕР на енергетичні цілі, неенергетичні витрати та втрати [10, 12, 13, 15].

Однак при розробленні комплексного методу прогнозування попиту на енергоресурси було прийнято інший підхід до визначення кінцевого споживання енергоресурсів згідно із трактуванням кінцевих споживчих витрат [16]. За новим методичним підходом, згідно з Системою національних рахунків (СНР), «категорії кінцевого використання ВВП за функціональними класифікаціями» включають кінцеві споживчі витрати домашніх господарств, сектору загальної державного управління, некомерційних організацій, що обслуговують домашні господарства та ін. категорії. Цей підхід до розподілу кінцевого використання ВВП був розповсюджений і на кінцеве споживання енергоресурсів (тобто без використання для подальшого виробництва). Тоді вплив структури економіки на енергоспоживання не можна дослідити за кінцевими споживачами ВВП. Нами було прийнято підхід до визначення потенціалу енергозбереження від зміни структури економіки за обсягами загального споживання енергоресурсів з виключенням секції D «Постачання електроенергії та ін.» з такого розрахунку при прогнозуванні палива та його видів, оскільки 99% всього палива витрачалось на перетворення у цій секції в електричну і теплову енергію. Для прогнозування попиту на електричну і теплову енергію у секції D враховувались витрати на власні потреби

© О.Є. МАЛЯРЕНКО, В.В. СТАНИЦІНА, 2019

¹Кінцеве споживання – постачання енергетичних продуктів споживачам для процесів, які не є процесами їх перетворення або трансформації за винятком витрат палива, врахованих енергетичним сектором і використаних для неенергетичних цілей. При цьому енергетичні продукти вважаються спожитими, а не перетвореними в інші види енергії.

секції і обчислювалась економія/перевитрати електричної і теплової енергії при зміні структури економіки [17]. Тобто потенціал енергозбереження при структурних змінах обчислювався для електричної і теплової енергії і обнулявся для палива та його видів.

Метою статті є уніфікація методичного підходу до визначення потенціалу енергозбереження від структурних змін в економіці для всіх без винятку секцій та основних енергетичних ресурсів (паливо, тепла та електрична енергія) та визначення прогнозного попиту на паливо для власних потреб секції та на перетворення в інші види палива та енергії.

Згідно з [14], прогнозні рівні споживання палива та енергії для секцій економіки, крім D, обчислювались за формулою:

$$E_{ij}^t = \sum_i e_{ВДВij}^{\bar{\delta}} V_{ВДВi}^t \pm \sum_i \Delta e_{ВДВij}^{\bar{\delta}-t} V_{ВДВi}^t - \sum_i \Delta e'_{ВДВij} V_{ВДВi}^t \pm E_{замj}^t, \quad (1)$$

де $e_{ВДВij}^{\bar{\delta}}$ – вугле-, газо-, електроємність ВДВ j -виду палива чи енергії у базовому році i -сектору економіки (укрупненого виду економічної діяльності), що визначається за формулою:

$$e_{ВДВij}^{\bar{\delta}} = E_{ij}^{\bar{\delta}} / V_{ВДВi}^{\bar{\delta}}, \quad (2)$$

де $E_{ij}^{\bar{\delta}}$ – обсяг споживання j -виду палива чи енергії i -сектором економіки у базовому році; $V_{ВДВi}^{\bar{\delta}}$ – обсяг ВДВ, створеного в i -секторі економіки за базовий рік;

$V_{ВДВi}^t$ – прогнозні обсяги ВДВ i -сектору економіки у постійних цінах (приведених до цін базового року) згідно з [18]; $\Delta e_{ВДВij}^{\bar{\delta}-t}$ – зміна енергоємності ВДВ j -виду палива чи енергії i -сектору економіки від зміни прогнозної структури валової доданої вартості, що обчислюється за методикою, розробленою у [12]:

$$\Delta e_{ВДВij}^{\bar{\delta}-t} = \Delta E_{isj}^{\bar{\delta}-t} / V_{ВДВi}^t, \quad (3)$$

де $\Delta E_{isj}^{\bar{\delta}-t}$ – зниження споживання енергоресурсів за рахунок зміни s -структури секції за [12] визначається за формулою:

$$\Delta E_{isj}^{\bar{\delta}-t} = (e_{ВДВisj}^{\bar{\delta}} - \Delta e_{ВДВisj}^{\bar{\delta}-t}) \cdot (V_{ВДВs}^{\bar{\delta}} - V_{ВДВs}^t), \quad (4)$$

де s – сценарій структури ВВП; $\Delta e_{ВДВisj}^{\bar{\delta}-t}$ – зміна енергоємності ВДВ j -ресурсу від зміни частки ВДВ i -секції у s -структурі;

$\Delta e'_{ВДВij}$ – зниження енергоємності ВДВ j -виду палива чи енергії при впровадженні заходів з енергозбереження у технологіях у році t , що входять за видом діяльності до сектору i ; $E_{замj}^t$ – обсяги можливого заміщення j -виду палива чи енергії у прогнозному році t .

Зниження енергоємності ВДВ i -секції при s -структурі ВВП для j -енергоресурсу ($\Delta e_{ВДВisj}^{\bar{\delta}-t}$), визначається за формулою:

$$\Delta e_{ВДВis}^{\bar{\delta}-t} = \Delta e_{mcis}^{\bar{\delta}-t} + \Delta e_{scis}^{\bar{\delta}-t}, \quad (5)$$

де $\Delta e_{mcis}^{\bar{\delta}-t}$ – зниження енергоємності ВДВ i -секції за рахунок зміни її частки у s структурі ВВП (міжсекційні зміни) обчислюється за формулою:

$$\Delta e_{mcis}^{\bar{\delta}-t} = e_{ВДВis}^{\bar{\delta}} \Delta p_{is}^{\bar{\delta}-t}, \quad (6)$$

де $\Delta p_{is}^{\bar{\delta}-t}$ – зміна частки ВДВ i -го сектору у s структурі ВВП країни відносно структури базового року;

за умови обмеження по структурі виробництва ВВП:

$$\sum_i p_{is}^t = 1,$$

де p_{is}^t – частка ВДВ i -го сектору економіки у структурі ВВП;

$\Delta e_{scis}^{\bar{\delta}-t}$ – зниження енергоємності ВДВ i -секції за рахунок зміни її внутрішньої структури (внутрішньосекційні зміни), що обчислюється за формулою:

$$\Delta e_{scis}^{\bar{\delta}-t} = \sum_q \Delta e_{qis}^t = e_{qis}^{\bar{\delta}} \Delta r_{qis}^{\bar{\delta}-t}, \quad (7)$$

де $\Delta r_{qis}^{\bar{\delta}-t}$ – зміна частки q -го розділу, що входить до складу i -секції за КВЕД відносно структури ВДВ цієї секції у базовому році; $e_{qis}^{\bar{\delta}}$ – енергоємність ВДВ q -го розділу в i -секції за КВЕД у базовому році;

за умови обмеження по структурі ВДВ i -секції:

$$\sum_q r_{qis}^t = 1, \quad (8)$$

де r_{qis}^t – частка ВДВ q -го розділу i -виду економічної діяльності у структурі ВДВ секції економіки.

Згідно з прийнятим підходом при визначенні попиту на паливо для секції D застосовували наступну формулу:

$$E_{jD}^t = \sum_{j=1}^n B_{Wfj}^t + \sum_{m=1}^n B_{qmj}^t + \sum B_{e_{inj}}^t = k_{fj} W_f^t b_{wj}^t + k_{mj} Q_m^t b_{mj}^t + k_{inj} B_{in}^t, \quad (9)$$

де E_{jD}^t – потреба у j -виді палива для систем електропостачання, теплопостачання, газопостачання та ін. (секція D за КВЕД-2010); B_{Wfj}^t – витрати j -виду палива на електрогенерацію f -типу (ТЕС, ТЕЦ, ін. електрогенератори на органічному паливі) у прогнозному році t ; B_{qmj}^t – витрати j -виду палива на теплогенерацію m -типу (ТЕС, ТЕЦ, ін. теплогенератори на органічному паливі) у прогнозному році t ; $B_{e_{inj}}^t$ – інші потреби j -виду палива у секції D (газопостачання, постачання кондиціонованого повітря); k_{fj} – частка електроенергії, що вироблена електрогенеруючими потужностями з використанням j -виду палива; W_f^t – обсяг електроенергії-брутто, виробленої електрогенеруючими потужностями f -типу у році t ; b_{wj}^t – питомі витрати j -виду палива на виробни-

цтво електроенергії в енергосистемі у році t ; k_{m_j} – частка теплової енергії, що вироблена теплогенеруючими потужностями з використанням j -виду палива; Q_m^t – обсяг теплової енергії, виробленої теплогенеруючими потужностями m -типу у році t ; b_{qj}^t – питомі витрати j -виду палива на виробництво теплової енергії в системі централізованого тепlopостачання у році t ; k_{in_j} – частка j -виду палива, що використана у секції D на інші потреби; B_{in}^t – витрата органічного палива на інші потреби у секції D у році t .

Загальний обсяг споживання j -енергоресурсу на рівні видів економічної діяльності визначався як сума:

$$E_{DOWN}^t = E_{ij}^t + E_{Dj}^t. \quad (10)$$

Проаналізувавши обсяги споживання палива у секції D на власні потреби, було виявлено, що ці обсяги, які складають до 1% від споживання секцією, є в абсолютному виразі співставними із обсягами споживання вугілля за іншими секціями. Так, власне споживання вугілля секцією D за 2015 р., згідно з формою 4-МТП [19], складало 118,8 тис. т, споживання вугілля за іншими секціями, відповідно, складало: 143,4 тис. т – секція А «Сільське господарство та ін.», 834,0 (з урахуванням втрат при видобуванні) – секція В «Добування промисловість та ін.», 15248 тис. т – секція С «Переробна промисловість», 27,9 тис. т – секція Н «Транспорт та ін.», 318 тис. т – група секцій, віднесених до «Інші ВЕД». Як видно з приведених даних, власне споживання секцією D є співставним із споживання секцією А та перевищує у рази споживання секцією Н, тому нехтувати цими обсягами не варто. Відповідно були запропоновані зміни у розрахунок потреби у паливі для секції «Постачання електроенергії та ін.». Формула (10) є базовою, а до неї пропонуються зміни щодо обчислення другої складової:

$$E_{Dj}^t = E_{nep_j}^t + E_{вкс_j}^t, \quad (11)$$

де $E_{nep_j}^t$ – обсяги палива на перетворення в електричну та теплову енергії; $E_{вкс_j}^t$ – обсяги власного споживання палива секцією на технологічні потреби.

На перетворення прогноз споживання палива визначається так:

$$\begin{aligned} E_{nep_j}^t &= \sum_j \left(\sum_{i=1}^n B_{wfj}^t + \sum_{m=1}^n B_{qmj}^t + B_{e_{ij}}^t \right) = \\ &= k_{fj} W_f^t b_{wj}^t + k_{mj} Q_m^t b_{qj}^t + \sum k_{in_j} B_{in_j}^t, \end{aligned} \quad (12)$$

де складові формули (12) відповідають позначенням до формули (9).

Витрати на власне споживання секцією D визначаються як різниця між обсягами споживан-

ня секцією всього та обсягами на перетворення. Розподіляються власні потреби енергоресурсу на виробництво електричної енергії, теплової енергії та розподілення газу і кондиційованого повітря. Прогноз цих витрат визначається за формулою:

$$E_{вкс_j}^t = e_{вкс_j}^t \cdot V_{ВДВ_D}^t, \quad (13)$$

де енергоємність власного виробництва секції D визначається за формулою:

$$e_{вкс_j}^t = \frac{E_{Dj}^{\delta} - E_{nep_j}^{\delta}}{V_{ВДВ_D}^{\delta}} - \Delta e_{вкс_j}^{\delta-t}. \quad (14)$$

Для прогнозування останньої величини необхідно знати зниження або перевитрати енергоємності власного споживання, які залежать від внутрішньої структури виробництва в секції: частки виробництва електричної енергії, теплової енергії, розподілення газу та постачання кондиційованого повітря у ВДВ секції D на перспективні роки, тобто прогнозу структуру секції «Постачання електроенергії та ін.». Ці оцінки потребують дослідження вказаних співвідношень, які можуть змінюватись, наприклад, при збільшенні постачання електричної енергії на потреби опалення та приготування їжі.

Частка зниження енергоємності власного виробництва секції D може бути розрахована за формулою:

$$\Delta e_{вкс_j}^{\delta-t} = \frac{E_{Dj}^{\delta} - E_{nep_j}^{\delta}}{V_{ВДВ_D}^{\delta}} \cdot \Delta r_{q_{Dk}}^{\delta-t}. \quad (15)$$

Результати обчислення потенціалу енергозбереження від структурних змін за уточненою методикою (формули (4)–(7) з уточненням останньої за формулою (15)) надано у табл. 1.

Відповідно, за формулами (1), (10) та (11) обчислено уточнений попит на вугілля та за аналогією на природний газ (табл. 2).

ВИСНОВКИ

Розвинуто комплексний метод прогнозування попиту на енергетичні ресурси в частині удосконалення нормативного методу на рівні видів економічної діяльності, в якому для секції «Постачання електроенергії та ін.» враховувались як структурні зміни, так і потреба палива на перетворення.

Уточнено методичний підхід до визначення структурного потенціалу енергозбереження, який розраховується для усіх секцій з уточненням показника енергоефективності для секції «Постачання електроенергії та ін.» – енергоємність власного споживання секції. У цій секції на перетворення витрачається 99% палива.

Таблиця 1. Уточнена економія вугілля від структурних змін в економіці при врахуванні обсягів палива на власні потреби секції D, тис. т вугілля

| Показники | 2015 р. (факт) | 2040 р. базова структура ¹⁾ | 2040 р. прогнозна структура ²⁾ | Економія/ Перевитрати при зміні структури до 2040 р. | 2015 р. (факт) | 2040 р. базова структура ¹⁾ | 2040 р. прогнозна структура ²⁾ | Економія/ Перевитрати при зміні структури до 2040 р. |
|--|-------------------|--|---|--|-------------------|--|---|--|
| | Старий підхід | | | | Новий підхід | | | |
| Сільське господарство | 143,4 | 335,7 | 360,4 | -24,7 | 143,4 | 335,7 | 360,4 | -24,7 |
| Добувна промисловість ³⁾ | 834,0 | 1952,3 | 1059,9 | 892,4 | 834,0 | 1952,3 | 1059,9 | 892,4 |
| Переробна промисловість | 15248 | 35698 | 26008 | 9690 | 15248 | 35698 | 26008 | 9690 |
| Постачання електроенергії Водопостачання та ін. | 0 | 0 | 0 | 0 | 118,8 | 278 | 364 | -85,4 |
| Транспорт та ін. | 27,9 | 65,3 | 79,8 | -14,5 | 27,9 | 65,3 | 79,8 | -14,5 |
| Інші ВЕД | 318 | 744,2 | 841,9 | -97,7 | 318 | 744,2 | 841,9 | -97,8 |
| Разом за ВЕД | 16571,3 | 38795,5 | 28349,8 | 10445,6 | 16690,1 | 39073,5 | 28713,3 | 10360,2 |

1) базова структура економіки прийнята як структура ВВП у 2015 р.

2) прогнозна структура економіки прийнята за даними, наведеними у [15].

3) у добувній промисловості згідно даних форми 4-МТП за 2015 р. враховано всі види втрат.

Таблиця 2. Уточнені прогнози попиту на вугілля та природний газ до 2040 р.

| Показники | Вугілля, млн т | | | Природний газ, млрд м ³ | | |
|---|----------------|------------------------|---------------------|------------------------------------|------------------------|---------------------|
| | 2015 р. факт | 2040 р. після уточнень | 2040 р. до уточнень | 2015 р. факт | 2040 р. після уточнень | 2040 р. до уточнень |
| Споживання за ВЕД при структурі 2015 р. | 45,347 | 95,3 | 95,3 | 21,051 | 36,346 | 36,346 |
| Економія при зміні структури [15] | 0 | 10,36 | 10,446 | 0 | 5,814 | 5,868 |
| Технологічний потенціал | 0 | 8,37 | 8,37 | 0 | 6,002 | 6,002 |
| Споживання за ВЕД із ПЕЗ*(нижній рівень прогнозу) | 45,347 | 76,57 | 76,25 | 21,051 | 24,530 | 24,475 |
| Країна із ПЕЗ (верхній рівень прогнозу) | 45,35 | 87,415 | 88,46 | 32,816 | 37,059 | 34,4 |
| Узгоджений прогноз [17] | 45,35 | 83,07 | 82,26 | 32,82 | 32,07 | 32,0 |
| Споживання населенням | 0,484 | 0,286 | 0,286 | 11,765 | 7,741 | 7,741 |
| Попит | 45,83 | 83,36 | 82,55 | 32,816 | 39,811 | 38,2 |

* ПЕЗ – потенціал енергозбереження.

Обсяги палива, що йдуть на власні потреби секції «Постачання електроенергії та ін.» (менше 1%), співставні із обсягами споживання палива іншими секціями, тому врахування обсягів споживання палива на власні потреби доцільно застосовувати при визначенні структурного потенціалу енергозбереження. Раніше цими обсягами палива нехтували і приймали міжсекційний потенціал енергозбереження від структурних змін для секції «Постачання електроенергії та ін.» нульовим. Обчислені

обсяги міжсекційного потенціалу енергозбереження для розглянутої секції є перевитратами в обсязі 85,4 тис. т вугілля та 54,7 млн м³ природного газу.

Такий уточнений підхід дозволив уніфікувати методику визначення структурного потенціалу енергозбереження при зміні підходу до визначення «кінцевого споживання» та обчислити обсяги міжсекційного потенціалу енергозбереження для палива по видах у секції «Постачання електроенергії та ін.».

1. Кононов Ю.Д., Гальперова Е.В., Кононов Д.Ю. и др. Методы и модели прогнозных исследований взаимосвязей энергетики и экономики. Н.И. Воропай, Ю.Д. Кононов (отв. ред.) Новосибирск, 2009. 177 с.
2. Пириашвили Б.З., Ворончук М.М., Галиновский Е.И. и др. Имитационное моделирование в энергетике. Под ред. Б.М. Данилишина. К.: Науч. думка, 2008. 303 с.
3. Лі Чао. Моделі прогнозування споживання електроенергії в КНР на довгострокову перспективу. *Вісник Одеського національного університету. Економіка*. 2016. Т. 21. Вип. 5(47). С. 26—32. URL: http://visnyk-onu.od.ua/journal/2016_21_5/06.pdf (дата звернення: 10.01.2019).
4. Розен В.П., Демчик Я.М. Порівняльний аналіз методів прогнозування споживання електроенергії виробничих систем. *Вісник Криворізького національного університету*: Зб. наук. праць. 2016. Вип. 42. С. 41—47. URL: <http://visnykknknu.com.ua/wp-content/uploads/file/42/11.pdf> (дата звернення: 10.01.2019).
5. Черненко П.О., Мартинюк О.В. Середньострокове дворівневе прогнозування електричного споживання енергооб'єднання. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2008. № 6. С. 77—81.
6. Агеева Т.П. Методичні основи оцінки енергозбереження та прогнозування енергоспоживання в сфері житлового та комунально-побутового обслуговування населення України. Автореферат дис... канд. техн. наук за спеціальністю 05.14.01 – Енергетичні системи та комплекси. К.: Інститут загальної енергетики НАН України, 2002.
7. Касьянова Н.В., Левшова Ю.О. Комплексна модель оцінки енергоспоживання в регіоні. *Научный вестник Донбасской государственной машиностроительной академии*. 2014. № 2(14Е). С. 164—171.
8. Кулик М.М., Сас Д.П. Детерміновано-стохастичне моделювання виробництва електроенергії в об'єднаних енергосистемах на довгострокову перспективу. *Технічна електродинаміка*. 2014. № 5. С. 32—34.
9. Кулик М.М. Методи узгодження прогнозних рішень. *Проблеми загальної енергетики*. 2014. Вип. 2(37). С. 5—12.
10. Кулик М.М., Майстренко Н.Ю., Малярченко О.Є. Двоетапний метод прогнозування перспективного попиту на енергетичні ресурси. *Енерготехнології и ресурсосбережение*. 2015. № 5–6. С. 25—33.
11. Гнідий М.В. Методичний підхід до оцінки обсягів енергоспоживання для різних варіантів структури економіки. *Проблеми загальної енергетики*. 1999. Вип. 1(1). С. 52—57.
12. Малярченко О.Є., Майстренко Н.Ю. Прогнозування рівнів споживання паливно-енергетичних ресурсів з урахуванням потенціалу енергозбереження при структурних змінах в економіці. *Проблеми загальної енергетики*. 2015. Вип. 2(41). С. 5—13. <https://doi.org/10.15407/pge2015.02.005>.
13. Малярченко О.Є., Євтухова Т.О., Майстренко Н.Ю. Прогнозування змін кінцевого споживання енергоресурсів з урахуванням структурних і технологічних зрушень в економіці країни. *Проблеми загальної енергетики*. 2013. Вип. 4(35). С. 33—40.
14. Методологічні положення із формування енергетичного балансу. Затверджено наказом Держкомстату України від 23.12.2011 № 374. С. 6.
15. Малярченко О.Є. Методичний підхід до визначення прогнозованої структури споживання первинного палива. *Проблеми загальної енергетики*. 2016. Вип. 3(46). С. 28—39. <https://doi.org/10.15407/pge2016.03.028>.
16. Паливно-енергетичні ресурси України: статистичний збірник. А.О. Фризоренко (кер.). В.М. Божок (відп. за випуск). К., 2015. 303 с.
17. Кулик М.М., Малярченко О.Є., Майстренко Н.Ю., Станиціна В.В., Спітківський А.І. Застосування методів комплексного прогнозування для визначення перспективного попиту на первинні енергетичні ресурси. *Проблеми загальної енергетики*. 2017. Вип. 1(48). С. 5—15. <https://doi.org/10.15407/pge2017.01.005>.
18. Енергетична стратегія України до 2030 р., редакція 2013 р. URL: http://www.energoatom.kiev.ua/ua/about/strategy_2030/ (дата звернення: 10.01.2019).
19. Звіт про залишки і використання палива та пальномастильних матеріалів за 2015 р.: форма статистичної звітності № 4-МТП. К.: Державна служба статистики України.

Надійшла до редколегії: 07.02.2019