

О.С. Маляренко, канд. техн. наук, ст. наук. співроб., ORCID 0000-0001-5882-916X

Н.Ю. Майстренко, канд. техн. наук, ORCID 0000-0002-1757-1665

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

О.Ю. Богославська, канд. екон. наук, ORCID 0000-0002-4286-7505

Інститут загальної енергетики НАН України

## УДОСКОНАЛЕНИЙ КОМПЛЕКСНИЙ МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ НА ДОВГОСТРОКОВУ ПЕРСПЕКТИВУ

У статті надано розвинутий комплексний метод прогнозування енергоспоживання, що включає удосконалену методику прогнозування енергоспоживання нормативним методом та методику узгодження прогнозних рішень векторним методом. За удосконаленою методикою нормативним методом виконуються розрахунки прогнозу на TOP («Країна») та DOWN-рівнях («Разом за видами економічної діяльності (ВЕД)») за показниками енергоємності валової доданої вартості (ВДВ) відповідного ієрархічного рівня (країна чи ВЕД) з урахуванням уточненої методики визначення повного потенціалу енергозбереження (структурного та технологічного), виділенням особливостей визначення структурного потенціалу енергозбереження для енергетичного сектору, уточненням методичного підходу до визначення прогнозного попиту на паливо для енергетичного сектору, що враховує прогнозні структури електро- та теплогенерувальних потужностей цього сектору. За сценарним підходом досліджено вплив зміни структури економіки України на рівні споживання палива та енергії за двома запропонованими варіантами структур економіки. Для визначення прогнозного попиту на енергоресурси для населення розроблено окрему методику, що має особливості для різних видів енергоресурсів. Прогноз споживання електроенергії та палива для населення визначався через питоме споживання палива та електроенергії на 1 особу у базовому році, демографічний прогноз та обсяги технологічного енергозбереження. Для теплової енергії попит для населення складається з попиту на гаряче водопостачання, який є річним, та попиту на потреби з опалення житлових приміщень, який є сезонним. Остання величина визначається через норми на опалення житлових приміщень, прогноз розвитку житлового фонду, потенціал технологічного енергозбереження за рахунок утеплення існуючих будівель, зниження потреби в тепловій енергії для нових енергоощадних будівель. З використанням векторного методу виконано узгоджені прогнози споживання електричної, теплової енергії, вугілля, природного газу, нафтопродуктів (без населення) з подальшим додаванням потреби населення на паливо та енергію та оцінкою прогнозного попиту на енергоресурси до 2040 р.

**Ключові слова:** попит, енергоресурси, прогнозування, метод, структура, потенціал енергозбереження.

### Вступ

Методичні підходи до прогнозування енергоспоживання на різних ієрархічних рівнях економіки країни розглядалися в багатьох наукових працях з використанням різних показників та економіко-математичних методів [1–13]. Ці прогнози з методичної точки зору є рівнозначними, але іноді значно відрізняються, що залежить не тільки від закладених економічних показників (прогнозу валового внутрішнього продукту (ВВП), валової доданої вартості (ВДВ), випуску продукції, демографічного прогнозу, темпів росту/зниження енергоємних видів виробництва), а й від обраних показників енергетичної ефективності, до яких відносяться енергоємність ВВП країни, енергоємність ВДВ країни, енергоємність ВДВ видів економічної діяльності (секторів, галузей), випуск продукції на рівні розділів, груп, класів за класифікатором КВЕД-2010 (виробництва) [11–13].

В Інституті загальної енергетики НАН України розвинуто науковий напрям з прогнозування енергоспоживання на різних ієрархічних рівнях економіки та для окремих груп споживачів [6, 8–14], для вирішення цієї задачі досліджувався вплив структури економіки та її складових на обсяги енергоспоживання [11–12].

Академіком М.М. Куликом був створений двоетапний (комплексний) метод прогнозування енергоспоживання, який забезпечує безітераційне узгодження прогнозних рішень [9] для підвищення їх достовірності та зменшення кількості варіантів прогнозів. На першому етапі дослідження розробляються прогнози верхнього та нижнього рівнів будь-яким з відомих економіко-математичних методів (в залежності від задачі за верхній рівень може бути вибрано: країна, сектор економіки, регіон, підприємство, за нижній рівень - сектор економіки країни або регіону, вид виробництва, певні групи споживачів), а на

© О.С. Маляренко, Н.Ю. Майстренко, В.В. Станиціна, О.Ю. Богославська, 2019

другому - узгоджуються отримані прогнози розробленим векторним методом.

При застосуванні комплексного методу прогнозування попиту на енергоресурси було здійснено кілька кроків його удосконалення. Першим кроком апробації методу стало узгодження прогнозів верхнього рівня для країни та нижнього – як суми споживання енергетичних ресурсів за видами економічної діяльності (ВЕД) згідно КВЕД-2010 та населення. Отримані результати щодо прогнозу електричної енергії та паливно-енергетичних ресурсів разом (ПЕР-разом) мають високий ступінь співпадіння прогнозів (до 5%), але для видів палива, значна частка яких споживається населенням (природний газ, нафтопродукти), та для теплової енергії, де населення також є значним споживачем, прогнозні дані верхнього і нижнього рівнів суттєво різняться - 14-30%. Тому прогноз споживання палива та енергетичних ресурсів для населення був виключений з нижнього та верхнього рівнів до узгодження прогнозів, а додавався до узгодженого за векторним методом результату, формуючи прогноз енергоспоживання на обраному ієрархічному рівні (країна, регіон). Однак, на рівні країни показник енергоефективності було замінено з енергоємності ВВП на енергоємність ВДВ країни, оскільки населення не створює ВВП. Таке покращення дозволило уточнити прогнози, отримані за різними показниками енергоефективності, та зменшити удвічі різницю між ними. В результаті було сформовано єдину узагальнену модель, в якій одночасно визначаються показники енергоспоживання як верхнього рівня (країна), так і нижнього рівнів (укрупнені секції економіки) за відповідними показниками енергоефективності – енергоємність ВДВ відповідного ієрархічного рівня, з обчисленням узгоджених прогнозних показників з використанням двох його допоміжних значень (мінімального та максимального) і подальшої інтерполяції. На другому етапі удосконалення комплексного методу було розроблено окрему методику прогнозування попиту на паливо для секції D «Постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря» (КВЕД-2010), в якій враховано прогнозні структури електро- і теплогенерувальних потужностей до 2040 р., що були розроблені в Інституті загальної енергетики (ІЗЕ НАН України). На наступному етапі уточнено методику визначення потенціалу енергозбереження у разі зміни структури економіки (структурний потенціал) для секції D «Постачання електроенергії та ін.», в якій 99% всього палива витрачалось на перетворення в електричну і теплову енергію. В результаті удосконалення методики створено комп'ютерну програму «Попит» [15-16], що дозволяє обчислити прогнози енергоспоживання для ВЕД для різних сценаріїв розвитку економіки та її складових: секція В «Добувна промисловість і розроблення кар'єрів» та секція С «Переробна промисловість». Технологічний потенціал енергозбереження оцінюється за розробленою в ІЗЕ НАН України методикою [17] і враховується на наступному етапі прогнозування. Тобто програма дозволяє окремо визначити прогнози енергоспоживання для різних варіантів структури економіки або її сектора без урахування технологічного потенціалу та з його урахуванням. Узгодження прогнозних рівнів, отриманих за показниками верхнього і нижнього рівнів економіки здійснювалось за розробленою в ІЗЕ НАН України програмою «SPROS» [18]. Після додавання до узгодженого прогнозу споживання енергоресурсів прогнозованої потреби у ПЕР для населення, та обчислення обсягів можливого експорту палива та електроенергії, формується рівень прогнозного попиту на вид ПЕР для певної структури розвитку економіки.

#### **Мета та завдання дослідження**

Метою проведеного дослідження є виявлення енергоефективного сценарію розвитку економіки на основі запропонованого розвинутого комплексного методу, що включає розвинутий нормативний метод:

1) уніфікований методичний підхід до визначення потенціалу енергозбереження від структурних змін в економіці,

2) удосконалено узгодження результатів прогнозів, отриманих на різних ієрархічних рівнях за різними показниками енергоефективності.

Завданням дослідження є аналіз результатів розрахунків прогнозного попиту на ПЕР, отриманих з використанням розвинутого комплексного методу та розроблених програмних засобів «Попит» та «SPROS», за сценарними підходами згідно з розробленими державними документами [19, 20], з наданням рекомендацій щодо енергетичної ефективності цих сценаріїв розвитку економіки.

#### **Матеріали і результати дослідження**

**Методи дослідження.** Для верхнього рівня структури економіки («Країна») прогноз енергоспоживання визначається за формулою:

$$E_{TOPsj}^t = e_{ВДВj}^b V_{ВДВs}^t \mp \Delta E_{sj}^{b-t} = \left( e_{ВДВj}^b \mp \Delta e_{ВДВj}^{b-t} \right) V_{ВДВs}^t, \quad (1)$$

Де  $e_{ВДВj}^b$  – енергоємність ВДВ країни  $j$ -виду енергоресурсу у базовому році, кг у.п./грн., кг н.е./грн, МДж/грн;  $V_{ВДВs}^t$  – прогнозне значення обсягу валової доданої вартості країни у прогнозованому  $t$ -році ( $t$ -рік – прогнозний рік дослідження) при  $s$ -структурі економіки ( $s$ -структура – одна з розрахованих прогнозних структур економіки за прогнозними сценаріями  $s$ ), тис. грн.;  $\Delta E_{sj}^{b-t}$  – зниження або перевитрати  $j$ -виду енергоресурсу ( $j$ -вид енергоресурсу – кожен з досліджуваних видів енергоресурсів, наприклад: електроенергія, теплоенергія, паливо всього тощо) у  $t$ -році при зміні структури економіки з базового сценарію на  $s$ -сценарій,

тис. т у.п., тис. т н.е., ГДж;  $\Delta e_{ВДВj}^{\beta-t}$  – зміна (зменшення/збільшення) енергоємності ВДВ країни при зміні структури економіки відносно базового року, кг у.п./грн., кг н.е./грн, МДж/грн.

Перехід на показник енергоємності валової доданої вартості (ВДВ) країни для прогнозування енергоспоживання дозволяє виявити зміни в енергоспоживанні у разі зміни структури ВДВ. Оскільки ВВП включає ВДВ, що створюється в секторах економіки, з врахуванням податків та виключенням субсидій на продукти, то при одному й тому ж рівні ВВП можуть бути отримані різні обсяги ВДВ країни, що визначаються збільшенням/зменшенням обсягів ВДВ енергоємних секцій економіки відносно ВДВ країни. Одночасно за умови незмінного прогнозного ряду ВВП значення ВДВ можуть змінюватись і, відповідно, буде змінюватись енергоспоживання країни. Споживання населення входить до обсягів споживання країни при обчисленні енергоємності ВВП. Якщо визначається показник енергоємності ВДВ країни, то населення в обсяги споживання енергоресурсів не входить (лише споживання енергоресурсів за рік по секторах економіки). Тобто,

$$e_{ВДВj}^{\beta} = \frac{\sum_i E_{ij}^{\beta}}{V_{ВДВs}^{\beta}}, \quad (2)$$

де

$\sum_i E_{ij}^{\beta}$  – сумарне споживання  $j$ -виду енергоресурсу у базовому році всіма  $i$ -секціями економіки, тис. т у.п., тис. т н.е., ГДж;  $V_{ВДВs}^{\beta}$  – обсяг ВДВ при  $s$ -структурі економіки у базовому році, тис. грн.

Зниження споживання енергоресурсів у зв'язку зі зміною  $s$ -структури економіки визначається за формулою:

$$\Delta E_{sj}^{\beta-t} = e_{ВДВsj}^{\beta} (V_{ВДВ\beta}^t - V_{ВДВs}^t), \quad (3)$$

де

$e_{ВДВsj}^{\beta}$  – енергоємність ВДВ країни по  $j$ -виду енергоресурсу для  $s$ -структури економіки за базовий рік;  $V_{ВДВ\beta}^t, V_{ВДВs}^t$  – відповідно прогнозні обсяги ВДВ країни для  $\beta$ -базової та прогнозної  $s$ -структури економіки, за даними Інституту економіки і прогнозування НАН України.

Для нижнього рівня структури економіки «Разом за ВЕД» (сектори, види економічної діяльності за секціями згідно КВЕД-2010) прогноз енергоспоживання визначається сумою двох складових [14]:

$$E_{DOWN}^t = \sum_i E_{i-D,j}^{\beta} + E_{Dj}^t, \quad (4)$$

де

$\sum_i E_{i-D,j}^{\beta}$  – прогнозні рівні споживання  $j$ -виду енергоресурсу у  $t$ -році для  $i$ -секцій економіки за КВЕД-2010 ( $i$ -секція – існуюча секція економіки за діючим класифікатором видів економічної діяльності, наприклад КВЕД-2010), крім секції D;  $E_{Dj}^t$  – прогнозні рівні споживання  $j$ -виду енергоресурсу у  $t$ -році для секції D економіки за КВЕД-2010.

Згідно з [14], сумарні прогнозні рівні споживання енергоресурсів для секцій і секторів (групи секцій) економіки, крім секції D, обчислюються за формулою:

$$E_{i-D,j}^t = \sum_i e_{ВДВij}^{\beta} V_{ВДВi}^t \mp \sum_i \Delta e_{ВДВisj}^{\beta-t} V_{ВДВi}^t - \sum_i \Delta e_{ВДВij}^t V_{ВДВi}^t \pm E_{замj}^t, \quad (5)$$

де

$e_{ВДВij}^{\beta}$  – енергоємність ВДВ  $j$ -виду енергоресурсу у базовому році  $i$ -секції економіки, кг у.п./грн., кг н.е./грн, МДж/грн;  $V_{ВДВi}^t$  – прогнозний обсяг ВДВ  $i$ -секції економіки у  $t$ -році у постійних цінах (приведених до цін базового року) згідно з [19], тис. грн.;  $\sum_i \Delta e_{ВДВisj}^{\beta-t} V_{ВДВi}^t$  – сумарне зниження /збільшення енергоспоживання  $j$ -виду енергоресурсу у  $t$ -році шляхом зміни  $s$ -структури економіки та структури її секторів [16], кг у.п./грн., кг н.е./грн, МДж/грн;  $\sum_i \Delta e_{ВДВij}^t V_{ВДВi}^t$  – зниження споживання  $j$ -виду енергоресурсу у  $t$ -році шляхом технологічних змін, кг у.п./грн., кг н.е./грн, МДж/грн [21];  $E_{замj}^t$  – обсяги заміщення  $j$ -виду енергоресурсу у  $t$ -році, тис. т у.п., тис. т н.е., ГДж [21].

Енергоємність ВДВ  $i$ -секції економіки за базовий рік, визначається за формулою:

$$e_{ВДВij}^{\beta} = \frac{E_{ij}^{\beta}}{V_{ВДВi}^{\beta}}, \quad (6)$$

де

$E_{ij}^{\beta}$  – обсяг споживання  $j$ -виду палива чи енергії  $i$ -секції економіки у базовому році;  $V_{ВДВi}^{\beta}$  – обсяг ВДВ, створеного в  $i$ -секції економіки за базовий рік.

Зниження енергоємності ВДВ  $i$ -секції при  $s$ -структурі економіки для  $j$ -виду енергоресурсу ( $\Delta e_{ВДВisj}^{\beta-t}$ ), визначається за формулою [12]:

$$\Delta e_{ВДВis}^{\beta-t} = \Delta e_{МСis}^{\beta-t} + \Delta e_{ВСis}^{\beta-t}, \quad (7)$$

Де  $\Delta e_{МСis}^{\beta-t}$  – зниження/збільшення енергоємності ВДВ  $i$ -секції за рахунок міжсекційних змін (зміни частки секції у структурі ВВП);  $\Delta e_{ВСis}^{\beta-t}$  – зниження енергоємності ВДВ  $i$ -секції за рахунок зміни її внутрішньої структури (внутрішньосекційні зміни).

Зміна енергоємності ВДВ  $i$ -секції за рахунок міжсекційних змін обчислюється за формулою:

$$\Delta e_{\text{мсіс}}^{\delta-t} = e_{\text{ВДВіс}}^{\delta} \Delta p_{\text{іс}}^{\delta-t} \quad (8)$$

Де  $\Delta p_{\text{іс}}^{\delta-t}$  – зміна частки ВДВ  $i$ -го сектору у структурі ВВП країни відносно структури базового року за умови обмеження по структурі виробництва ВВП:  $\sum_i p_{\text{іс}}^t = 1$ ,  $p_{\text{іс}}^t$  – частка ВДВ  $i$ -го сектору економіки у структурі ВВП;

Зміна енергоємності ВДВ  $i$ -секції за рахунок внутрішньосекційних змін обчислюється за формулою:

$$\Delta e_{\text{всіс}}^{\delta-t} = \sum_q \Delta e_{q\text{іс}}^t = e_{q\text{іс}}^{\delta} \Delta r_{q\text{іс}}^{\delta-t}, \quad (9)$$

Де  $\Delta r_{q\text{іс}}^{\delta-t}$  – зміна частки  $q$ -го розділу, що входить до складу  $i$ -секції за КВЕД відносно структури секції у базовому році;  $e_{q\text{іс}}^{\delta}$  – енергоємність ВДВ  $q$ -го розділу, що входить до складу в  $i$ -секції за КВЕД у базовому році за умови обмеження по структурі ВДВ секції:  $\sum_q r_{q\text{іс}}^t = 1$ ,  $r_{q\text{іс}}^t$  – частка ВДВ  $q$ -го розділу у структурі ВДВ  $i$ -секції.

Для визначення прогнозного попиту на паливо та енергію для секції D у [22] запропоновано наступну формулу:

$$E_{Dj}^t = E_{\text{пер}j}^t + E_{\text{влс}j}^t, \quad (10)$$

Де  $E_{\text{пер}j}^t$  – обсяги палива на перетворення в електричну та теплову енергію, що вироблена у секції D;  $E_{\text{влс}j}^t$  – обсяги власного споживання палива секцією D на технологічні потреби.

Прогноз споживання палива на перетворення визначається так [14, 22]:

$$E_{\text{пер}j}^t = \sum_j (\sum_{i=1}^n B_{wfj}^t + \sum_{m=1}^n B_{qmj}^t + B_{e\text{ін}j}^t) = k_{fj} W_f^t b_{wj}^t + k_{mj} Q_m^t b_{qj}^t + \sum k_{\text{ін}} B_{\text{ін}j}^t, \quad (11)$$

Де  $B_{wfj}^t$  – витрати  $j$ -виду палива на електрогенерацію  $f$ -типу ( $f$ -тип електрогенерації, наприклад: ТЕС, ТЕЦ, ін. електрогенератори на органічному паливі) у прогнозованому році  $t$ ;  $B_{qmj}^t$  – витрати  $j$ -виду палива на теплогенерацію  $m$ -типу ( $m$ -тип теплогенерації, наприклад: ТЕС, ТЕЦ, ін. теплогенератори на органічному паливі) у прогнозованому році  $t$ ;  $B_{e\text{ін}j}^t$  – інші потреби  $j$ -виду палива у секції D (газопостачання, постачання кондиційованого 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  $t$ -році [23, 24];  $b_{wj}^t$  – питомі витрати  $j$ -виду палива на виробництво електроенергії в енергосистемі у  $t$ -році;  $k_{mj}$  – частка теплової енергії, що вироблена теплогенеруючими потужностями з використанням  $j$ -виду палива;  $Q_m^t$  – обсяг теплової енергії, виробленої теплогенеруючими потужностями  $m$ -типу у  $t$ -році [24];  $b_{qj}^t$  – питомі витрати  $j$ -виду палива на виробництво теплової енергії в системі централізованого теплопостачання у  $t$ -році;  $k_{\text{ін}j}$  – частка  $j$ -виду палива, що використана у секції D на інші потреби;  $B_{\text{ін}j}^t$  – витрата органічного палива на інші потреби у секції D у  $t$ -році.

Витрати на власне споживання секцією D визначаються як різниця між обсягами споживання 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 [22]:

$$E_{\text{влс}j}^t = e_{\text{влс}j}^t \cdot V_{\text{ВДВД}}^t, \quad (12)$$

Де енергоємність власного виробництва секції D визначимо за формулою:

$$e_{\text{влс}j}^t = \frac{E_{Dj}^{\delta} - E_{\text{пер}j}^{\delta}}{V_{\text{ВДВД}}^{\delta}} - \Delta e_{\text{влс}j}^{\delta-t}, \quad (13)$$

Де  $E_{Dj}^{\delta}$  – енергоспоживання  $j$ -виду палива секцією D у базовому році;  $E_{\text{пер}j}^{\delta}$  – енергоспоживання  $j$ -виду палива секцією D у базовому році на перетворення в інші види енергії (електричну і теплову), обчислюється за формулою (11);  $V_{\text{ВДВД}}^{\delta}$  – обсяг ВДВ секції D у базовому році;  $\Delta e_{\text{влс}j}^{\delta-t}$  – зниження енергоємності технологічних потреб секції D відносно базового року.

Для прогнозування величини енергоємності технологічних потреб секції D необхідно знати зниження/перевитрати енергоємності власного споживання, які залежать від внутрішньої структури виробництва в секції: частки виробництва електричної енергії, теплової енергії, розподілення газу та кондиційованого повітря у ВДВ секції D на перспективні роки, тобто прогнозу структуру секції “Постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря”. Вони потребують дослідження вказаних співвідношень, які можуть змінюватись, наприклад, при збільшенні постачання електричної енергії на потреби опалення та приготування їжі.

Частка зниження енергоємності власних технологічних потреб може бути розрахована так:

$$\Delta e_{\text{влс}j}^{\delta-t} = \frac{E_{Dj}^{\delta} - E_{\text{пер}j}^{\delta}}{V_{\text{ВДВД}}^{\delta}} \cdot \Delta r_{qDj}^{\delta-t},$$

Де позначення формули відповідають позначенням, використаним у формулах (10) - (13).

У процесі дослідження структури економіки країни виділяються наступні види структур: базова (фактична структура економіки в базовому році) та прогнозні. Останніх може бути декілька, обчислених за різними сценаріями: песимістичний (консервативний), базовий та оптимістичний. У приведених нижче розрахунках за базовий рік прийнято 2015 р., відповідна за базову взята структура економіки 2015 р. у фактичних цінах цього ж року. До песимістичної прогнозної структури відноситься структура, що розроблена на базі відповідного сценарію Енергетичної Стратегії України до 2030 р. редакції 2013 р. На подальший період до 2040 р. структура розрахована за тенденціями, що були закладені при розробці цієї Енергетичної Стратегії [19].

Оптимістичний сценарій структури економіки розраховувався за даними Стратегії розвитку промислового комплексу України на період до 2025 р., що розроблена Мінекономрозвитку України, з подовженням цих тенденцій до 2040 р. [20].

У розрахунках за методикою використано 2 структури економіки (I – базова (структура 2015 р.) та II – консервативна (за Енергетичною стратегією України до 2030 р. редакції 2013 р.)), які подовжено до 2040 р. за закладеними в них тенденціями, що наведені в [16]. Крім них, досліджувались: оптимістична структура (за Стратегією розвитку промислового комплексу України на період до 2025 р.), що зараз втратила актуальність [16, 20], та Енергетична стратегія України до 2035 р. Реалізація останньої також вимагає значних додаткових обсягів паливно-енергетичних ресурсів для компенсації зростання перевитрат ПЕР за прогнозних структурних змін, та побудову нових і модернізацію існуючих електростанцій [12]. Структура II на відміну від інших прогнозних, дає економію енергоресурсів і більш відповідає структурам економіки країн ЄС, в яких послуги (інші ВЕД) складають 60-80 % від ВВП. Обчислення здійснені за допомогою комп'ютерної програми «Попит», створеної у додатку Microsoft Access з використанням алгоритмічної мови Visual Basic for Application [16].

Обчислені на двох рівнях значення прогнозних потреб («Країна» та «Разом за ВЕД») уточнюються за допомогою векторного методу, описаного у [9, 14]. Узгоджений рівень прогнозного обсягу потреб в енергоресурсах обчислювався за допомогою програми «SPROS» [18].

Окремо визначається прогноз споживання палива та електроенергії для населення за залежністю:

$$P_{нас}^{t_d} = (b_{насj}^6 - \Delta b_{насj}^t) N^t \pm E_{замj}^t, \quad (14)$$

Де  $b_{насj}^6$  – питомі витрати  $j$ -виду палива чи енергії, спожитих населенням у базовому році, на 1 особу;  $\Delta b_{насj}^t$  – зниження питомих витрат  $j$ -виду палива за умови впровадження енергозберігаючих заходів у домогосподарствах у році  $t$ ;  $N^t$  – прогнозна чисельність населення України згідно з даними Інституту демографії та соціальних досліджень НАН України [14];  $E_{замj}^t$  – обсяги можливого заміщення  $j$ -виду палива чи енергії більш дешевими у домогосподарствах у прогнозованому році  $t$  [25].

Прогноз споживання теплової енергії для населення визначається за виразом [26, 27]:

$$Q_{нас}^t = Q_{оп}^t + Q_{звн}^t = \left( \sum q_{оп}^t \cdot F_{оп}^t + \sum q_{звн}^t \cdot n_n^t \right) \cdot K_n, \quad (15)$$

Де  $q_{оп}^t$  і  $q_{звн}^t$  – відповідно річні питомі витрати теплової енергії на опалення житлового фонду та гаряче водопостачання населення країни за прогнозні роки, Гкал/м<sup>2</sup> і Гкал/особу (значення  $q_{оп}^t$  і  $q_{звн}^t$  надано в [26]);  $F_{оп}^t$  – загальна опалювальна площа житлового фонду країни за прогнозні роки, млн. кв. м;  $n_n^t$  – кількість населення країни за прогнозні роки, млн. осіб;  $K_n$  – коефіцієнт реального попиту на теплову енергію населенням.

**Аналіз результатів дослідження.** У табл. 1 – 5 наведено обчислені обсяги прогнозного попиту на енергоресурси за структурою базового 2015 р. та за прогнозовою (консервативною) структурою [12, 16].

Таблиця 1 – Прогноз попиту на електроенергію в Україні до 2040 р. з урахуванням структурного і технологічного енергозбереження та експорту, млрд кВт·год

Показники	2015	2020		2025	
	факт	I	II	I	II
Споживання на рівні «Країна» (без населення) при структурних і технологічних змінах	82,2	94,6	91,7	113,7	110,3
Споживання «Разом за ВЕД» для різних структур економіки і технологічних змінах	82,2	94,7	92,2	113,7	106,8
<b>Узгоджений рівень споживання «Країна-ВЕД»</b>	82,2	94,6	91,9	113,7	108,9
Споживання населення з технологічним енергозбереженням	36,5	38,1	38,1	37,6	37,6
Валове споживання електроенергії, нетто	118,7	132,7	130,0	151,2	146,5
Валове споживання електроенергії, брутто	150,5	167,1	163,7	189,0	183,1
Експорт	3,6	7,0	7,0	12,0	12,0
<b>Всього попит</b>	154,1	174,1	170,7	201,0	195,1

Продовження табл. 1

Показники	2030		2035		2040	
	I	II	I	II	I	II
Споживання на рівні «Країна» (без населення) при структурних і технологічних змінах	137,2	124	163,7	146,8	183,2	165
Споживання «Разом за ВЕД» для різних структур економіки і технологічних змінах	137,2	125,8	163,7	148,7	183,2	166,5
Узгоджений рівень споживання «Країна-ВЕД»	137,2	124,7	163,7	147,6	183,2	165,6
Споживання населення з технологічним енергозбереженням	36,5	36,5	36,7	36,7	37	37
Валове споживання електроенергії, нетто	173,7	161,2	200,4	184,3	220,2	202,7
Валове споживання електроенергії, бруто	215,3	199,8	246,4	226,6	268,6	247,3
Експорт	16	16	18	18	20	20
Всього попит	231,3	215,8	264,4	244,6	288,6	267,3

Таблиця 2 - Прогнозний попит на теплову енергію в Україні до 2040 року з урахуванням структурного і технологічного енергозбереження, тис. Гкал / ГДж

Показники	2015	2020		2025	
	факт	I	II	I	II
Споживання на рівні «Країна» (без населення) при структурних і технологічних змінах	52,2	59,9	57,5	72,5	66,1
Споживання «Разом за ВЕД» для різних структур економіки і технологічних змінах	52,2	59,9	57,4	71,3	64,8
Узгоджений рівень споживання «Країна-ВЕД»	52,2	59,9	57,47	72,0	65,54
Споживання населення з технологічним енергозбереженням	160,8	170	170	180,9	180,9
Валове споживання теплової енергії, нетто	213	229,9	227,5	252,9	246,4
Втрати в тепломережах	14,6	14,2	14,2	13,9	13,9
Всього попит	227,6	244,1	241,7	266,8	260,3

Продовження табл. 2

Показники	2030		2035		2040	
	I	II	I	II	I	II
Споживання на рівні «Країна» (без населення) при структурних і технологічних змінах	88,5	77,7	105,3	91,2	116,3	100,5
Споживання «Разом за ВЕД» для різних структур економіки і технологічних змінах	85,4	74,6	100,4	86,2	110,6	94,8
Узгоджений рівень споживання «Країна-ВЕД»	87,1	76,4	103,1	89,1	113,9	98,1
Споживання населення з технологічним енергозбереженням	181,5	181,5	197,2	197,2	208,6	208,6
Валове споживання теплової енергії, нетто	268,6	257,9	300,3	286,3	322,5	306,7
Втрати в тепломережах	13,8	13,8	13	13	11,2	11,2
Всього попит	282,4	271,7	313,3	299,3	333,7	317,9

Таблиця 3 – Прогноз попиту на природний газ в Україні до 2040 р. з урахуванням структурного і технологічного енергозбереження, млн м<sup>3</sup>

Показники	2015	2020		2025	
	факт	I	II	I	II
Споживання на рівні «Країна» (без населення) при структурних і технологічних змінах	21,05	21,9	20,6	26,4	23,1
Споживання «Разом за ВЕД» для різних структур економіки і технологічних змінах	21,05	23,8	22,3	24,6	21,2
Узгоджений рівень споживання «Країна-ВЕД»	21,05	23,0	21,2	25,5	22,2
Споживання населення з технологічним енергозбереженням	11,7	9,2	9,2	8,6	8,6
Всього попит	32,8	32,2	30,4	34,1	30,8

Продовження табл. 3

Показники	2030		2035		2040	
	I	II	I	II	I	II
Споживання на рівні «Країна» (без населення) при структурних і технологічних змінах	32,2	26,6	38,3	30,8	43,3	34,4
Споживання «Разом за ВЕД» для різних структур економіки і технологічних змінах	26,8	21,3	30,2	22,5	33,5	24,5

Продовження табл. 3

Узгоджений рівень споживання «Країна-ВЕД»	29,8	24,5	24,1	27,5	38,7	30,5
Споживання населення з технологічним енергозбереженням	8	8	7,8	7,8	7,7	7,7
Всього попит	37,8	32,5	31,9	35,3	46,4	38,2

Таблиця 4 – Прогноз попиту на вугілля в Україні до 2040 р. з урахуванням структурного і технологічного енергозбереження, млн т вугілля

Показники	2015	2020		2025	
	факт	I	II	I	II
Споживання на рівні «Країна» (без населення) при структурних і технологічних змінах	45,3	50,6	49,3	60,8	56,8
Споживання «Разом за ВЕД» для різних структур економіки і технологічних змінах	45,3	43,8	41,8	50,9	46,5
Узгоджений рівень споживання «Країна-ВЕД»	45,3	47,4	46,9	56,0	53,6
Споживання населення з технологічним енергозбереженням	0,48	0,4	0,4	0,36	0,36
Всього попит	45,8	47,8	47,3	56,36	53,96

Продовження табл. 4

Показники	2030		2035		2040	
	I	II	I	II	I	II
Споживання на рівні «Країна» (без населення) при структурних і технологічних змінах	73,1	66,3	87,1	77,9	97,9	87,5
Споживання «Разом за ВЕД» для різних структур економіки і технологічних змінах	61,9	54,6	75,2	65,4	81,9	71
Узгоджений рівень споживання «Країна-ВЕД»	68,0	63,1	82,1	74,9	91,1	83,1
Споживання населення з технологічним енергозбереженням	0,32	0,32	0,31	0,31	0,29	0,29
Всього попит	68,32	63,42	82,41	75,21	91,39	83,39

Таблиця 5 – Прогноз попиту на нафтопродукти в Україні до 2040 р. з урахуванням структурного і технологічного енергозбереження, млн т нафти\*

Показники	2015	2020		2025	
	факт	I	II	I	II
Споживання на рівні «Країна» (без населення) при структурних і технологічних змінах*	10	11,5	11,7	13,9	14,5
Споживання «Разом за ВЕД» для різних структур економіки і технологічних змінах	10	11,4	11,7	13,6	14,4
Узгоджений рівень споживання «Країна-ВЕД»	10	11,45	11,7	13,8	14,46
Споживання населення з технологічним енергозбереженням	3,14	2,96	2,96	2,81	2,81
Втрати при транспортуванні, зберіганні та розподіленні	0,5	0,47	0,47	0,44	0,44
Всього попит	13,66	14,88	15,13	17,05	17,75

Продовження табл. 5

Показники	2030		2035		2040	
	I	II	I	II	I	II
Споживання на рівні «Країна» (без населення) при структурних і технологічних змінах*	16,8	18,4	20	22,7	22,5	25
Споживання «Разом за ВЕД» для різних структур економіки і технологічних змінах	16,3	18,1	19,4	22,2	21,8	24,4
Узгоджений рівень споживання «Країна-ВЕД»	16,6	18,28	19,8	22,45	22,2	24,72
Споживання населення з технологічним енергозбереженням	2,67	2,67	2,65	2,65	2,62	2,62
Втрати при транспортуванні, зберіганні та розподіленні	0,41	0,41	0,38	0,38	0,35	0,35
Всього попит	19,68	21,38	22,83	25,53	25,17	27,67

\* без урахування заміщення обсягів нафтопродуктів при заміні автомобілів на електромобілі, але з урахуванням перевитрат нафтового палива при збільшенні частки ВДВ секції сільського господарства та транспортної секції в економіці країни.

### Висновки

Результатом робіт за напрямом прогнозування в ІЗЕ НАН України розвинуто комплексний метод прогнозування енергоспоживання з уточненням методичного підходу до визначення прогнозного попиту на основні види палива та енергії на двох ієрархічних рівнях, методики розрахунку потенціалу енергозбереження від структурних змін для всіх секцій економіки при врахуванні прогнозних структур електро- та теплогенеруючих потужностей, внутрішніх структур енергоємних секцій економіки [28], виокремлення населення в окрему групу споживачів, що додається до узгодженого розрахунку прогнозного попиту на енергоресурси.

Удосконалену методику визначення прогнозного попиту на різних ієрархічних рівнях економіки країни використано для обчислення прогнозних рівнів енергоспоживання за 2-ма сценаріями структур економіки з урахуванням оціненого технологічного потенціалу енергозбереження та прогнозних структур енергогенеруючих потужностей. Аналіз результатів розрахунків, виконаних за консервативною та базовою структурами розвитку економіки країни, свідчить про необхідність збільшення обсягів енергоресурсів, які необхідні для покриття попиту на них при реалізації програм розвитку економіки України, а при умовах прискореного розвитку вітчизняної промисловості, що закладені в Стратегії розвитку промислового комплексу України на період до 2025 р., обсяги будуть значно більшими.

### Список використаної літератури

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. Б.М. Данилишин (под ред.). К.: Наук. 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](http://visnyk-onu.od.ua/journal/2016_21_5/06.pdf) (дата звернення 10 січня 2019 р.).
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 січня 2019 р.).
5. Черненко П.О., Мартинюк О.В. Середньострокове дворівневе прогнозування електричного споживання енергооб'єднання. Вісник Вінницького політехнічного інституту. ISSN 1997-9266. 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 (14E). 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. № 2 (37). С. 5—12.
10. Кулик М.М., Майстренко Н.Ю., Маляренко О.Є. Двоетапний метод прогнозування перспективного попиту на енергетичні ресурси. Энерготехнологии 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. № 1 (1). С. 52—57.
12. Маляренко О.Є., Майстренко Н.Ю. Прогнозування рівнів споживання паливно-енергетичних ресурсів з урахуванням потенціалу енергозбереження при структурних змінах в економіці. Проблеми загальної енергетики. 2015. №2 (41). С. 5—13. <https://doi.org/10.15407/pge2015.02.005>.
13. Маляренко 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. № 4 (35). С. 33—40.
14. Кулик М.М., Маляренко О.Є., Майстренко Н.Ю., Станиціна В.В., Спітковський А.І. Застосування методів комплексного прогнозування для визначення перспективного попиту на первинні енергетичні ресурси. *Проблеми загальної енергетики*. 2017. № 1(48). С. 5—15. <https://doi.org/10.15407/pge2017.01.005>.
15. Богославська О.Ю. Нові програмні засоби для прогнозування енергоспоживання з урахуванням структурних зрушень в економіці // Зб. мат. Міжн. наук.-техн. та навч.-метод. конф. «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – PEMS'19». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. 04-07 червня 2019 р. С. 53-54.
16. Майстренко Н.Ю., Богославська О.Ю. Особливості прогнозування рівнів енергоспоживання України при застосуванні різних прогнозних структур економіки. *Проблеми загальної енергетики*. 2019. №2. С.



17. Маляренко О.Є., Майстренко Н.Ю., Станиціна В.В. Удосконалений методичний підхід до визначення економічно доцільного потенціалу енергозбереження в енергоємних видах економічної діяльності. *Проблеми загальної енергетики*. 2015. №3 (42). С. 23-30.

18. Спітківський А.І., Маляренко О.Є., Майстренко Н.Ю., Станиціна В.В. Використання програми «SPROS» для прогнозування попиту на енергетичні ресурси. *Проблеми загальної енергетики*. 2017. №2 (49). С.5-13. <https://doi.org/10.15407/pge2017.02.005>.

19. Енергетична стратегія України до 2030 р., редакція 2013 р. URL: [http://www.energoatom.kiev.ua/ua/about/strategy\\_2030/](http://www.energoatom.kiev.ua/ua/about/strategy_2030/) (дата звернення 10 січня 2019 р.).

20. Стратегія розвитку промислового комплексу України на період до 2025 року. URL: <http://www.me.gov.ua/Documents/Detail?lang=uk-UA&id=10ef5b65-0209-4aa1-a724-49fd0877d8d6&title=ProektRozporiadzhenniaKabinetuMinistrivUkrainiproSkhvalenniaStrategiiRozvitkuPromislovogoKompleksuUkrainiNaPeriodDo2025-Roku>

21. Маляренко О.Є., Майстренко Н.Ю., Станиціна В.В. Обґрунтування прогнозних обсягів потенціалу енергозбереження в укрупнених секторах економіки з урахуванням технологічних і структурних зрушень. *Проблеми загальної енергетики*. 2016. № 4(47). С.58-67.

22. Маляренко О.Є., Станиціна В.В. Уточнення методики прогнозування попиту на паливо з оцінкою структурного потенціалу енергозбереження в енергетичному секторі. *Проблеми загальної енергетики*. 2019. № 1(56). С. 19-23. <https://doi.org/10.15407/pge2019.01.019>.

23. Нечаєва Т.П. Методи та засоби прогнозування розвитку структури генеруючих потужностей електроенергетичної системи з урахуванням екологічних вимог: дис. канд. техн. наук. Київ, 2015. 173 с.

24. Кулик М.М., Горбулін В.П., Кириленко О.В. Концептуальні підходи до розвитку енергетики України (аналітичні матеріали) / Інститут загальної енергетики НАН України, 2017. – 78 с.

25. Маляренко О.Є. Методичний підхід до визначення прогнозної структури споживання первинного палива. *Проблеми загальної енергетики*. 2016. № 3 (46). С. 28—39. <https://doi.org/10.15407/pge2016.03.028>.

26. Посібник та доповнення до «Норм та вказівок по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні». КТМ 204 України 244-94. 2004. 84 с.

27. Куц Г.О., Маляренко О.Є., Майстренко Н.Ю., Станиціна В.В. Визначення прогнозного попиту на теплову енергію комплексним методом з урахуванням потенціалу енергозбереження. *Проблеми загальної енергетики*. 2018. № 3 (54). С. 10—15. <https://doi.org/10.15407/pge2018.03.010>.

28. Майстренко Н.Ю. Прогнозування рівнів споживання ПЕР у переробній промисловості з урахуванням загального структурного потенціалу енергозбереження. *Проблеми загальної енергетики*. 2018. № 1 (52). С. 32—40. <https://doi.org/10.15407/pge2018.01.032>.

**O. Malyarenko**, Cand. Sc. (Eng.), Senior Research Fellow, **ORCID 0000-0001-5882-916X**

**N. Maistrenko**, Cand. Sc. (Eng.), **ORCID 0000-0002-1757-1665**

**V. Stanytsina**, Cand. Sc. (Eng.), **ORCID 0000-0002-1005-6185**

**O. Bogoslavskaya**, Cand. Sc. (Economy), **ORCID 0000-0002-4286-7505**

**Institute Of General Energy**

**The National Academy Of Sciences Of Ukraine**

## **IMPROVED COMPLEX METHOD OF FORECASTING ENERGY CONSUMPTION ON A LONG-TERM PERSPECTIVE**

*The article provides a developed integrated method for forecasting energy consumption, which includes an advanced methodology for predicting energy consumption by a normative method and a method for coordinating predictive solutions by a vector method. According to the improved method, the normative method performs the forecast calculations on the TOP ("Country") and DOWN-levels in terms of the energy. The scenario-based approach examines the impact of changes in the structure of the Ukrainian economy at the level of fuel and energy consumption in the two proposed variants of economic structures. To determine the forecasted demand for energy for the population, a separate methodology has been developed that has features for different types of energy resources. The forecast of electricity and fuel consumption for the population was determined by the specific consumption of fuel and electricity per capita in the base year, demographic forecast and the amount of technological energy saving. For the thermal energy demand for the population consists of the demand for hot water supply, which is annual, and demand for heating of residential premises, which is seasonal. The latter value is determined through the norms for heating residential areas, the forecast of housing development, the potential of technological energy savings due to insulation of existing buildings, reducing the demand for thermal energy for*

new energy-efficient buildings. Using the vector method, the agreed forecasts for the consumption of electric, thermal energy, coal, natural gas, petroleum products (without population) were made, with the subsequent addition of the population's demand for fuel and energy and the estimation of the forecast demand for energy resources by 2040.

**Keywords:** demand, energy resources, forecasting, method, structure, energy saving potential.

#### References

1. Kononov Yu.D., Gal'perova E.V., Kononov D.Yu. i dr. (2009) *Metody i modeli prognoznykh issledovaniy vzaimosvyazey energetiki i ekonomiki* [Methods and models of predictive studies of the relationship of energy and economics.] N.I. Voropay, Yu.D. Kononov (otv. red.) Novosibirsk, 177 pp. (in Russian)
2. Piriashvili B.Z., Voronchuk M.M., Galinovskiy E.I. i dr. (2008) *Imitatsionnoe modelirovanie v energetike* [Simulation in the energy sector.] B.M. Danilishin (pod red.). Kiyv: Nauk. dumka, 303 pp. (in Russian)
3. Li Chao (2016). Modeli prohnozuvannya spozhyvannya elektroenerhii v KNR na dovhostrokovu perspektyvu [Models of forecasting of electricity consumption in the PRC for the long-term perspective] *Visnyk Odeskoho natsionalnoho universytetu. Ekonomika*. [Bulletin of the Odessa national university. Economics] Vol. 21, no. 5(47), pp. 26—32. Available at: [http://visnyk-onu.od.ua/journal/2016\\_21\\_5/06.pdf](http://visnyk-onu.od.ua/journal/2016_21_5/06.pdf) (accessed 10 January 2019). (in Ukrainian)
4. Rozen V.P., Demchuk Ya.M. (2016). Porivnialnyi analiz metodiv prohnozuvannya spozhyvannya elektroenerhii vyrobnychkykh system [Comparative analysis of methods for forecasting electricity consumption of industrial systems]. *Visnyk Kryvorizkoho natsionalnoho universytetu* [Bulletin of the Kryviy Rih national university] Vol. 42, pp. 41—47. Available at: <http://visnykknk.com.ua/wp-content/uploads/file/42/11.pdf> (accessed 10 January 2019). (in Ukrainian)
5. Chernenko P.O., Martyniuk O.V. (2008) Serednostrokovye dvorivneve prohnozuvannya elektrychnoho spozhyvannya enerhoobiednannya [Medium-term two-level forecasting of electric energy consumption]. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu* [Bulletin of the Vinnitsa Polytechnic Institute] No.6, pp. 77—81. (in Ukrainian)
6. Aheieva T.P. (2002) *Metodychni osnovy otsinky enerhozberezhennia ta prohnozuvannya enerhospozhyvannia v sferi zhytlovoho ta komunalno-pobutovoho obsluhovuvannia naseleння Ukrainy* [Methodical bases of estimation of energy saving and forecasting of energy consumption in the sphere of residential and communal services of the population of Ukraine] (PhD Thesis). Kiyv: Institute of General Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine. (in Ukrainian)
7. Kasianova N.V., Levshova Yu.O. (2014) Kompleksna model otsinky enerhospozhyvannia v rehioni [Comprehensive model of energy consumption in the region]. *Nauchnyy vestnik Donbasskoy gosudarstvennoy mashinostroitel'noy akademii* [Scientific bulletin of the Donbas State Machine-Building Academy]. No. 2 (14E), pp.164—171. (in Ukrainian)
8. Kulyk M.M., Sas D.P. (2014) Determinovano-stokhastychno modeliuвання vyrobnytstva elektroenerhii v obiednanykh enerhosystemakh na dovhostrokovu perspektyvu [Deterministic-stochastic modeling of electricity generation in combined power systems for the long-term perspective]. *Tekhnichna elektrodynamika* [Technical electrodynamics]. No.5, pp. 32—34. (in Ukrainian)
9. Kulyk M.M. (2014) Metody uzghodzhennia prohnoznykh rishen [Methods of coordinating forecast decisions]. *Problemy zahalnoi enerhetyky* [Problems of general energy]. Vol. 2 (37), pp. 5—12. (in Ukrainian)
10. Kulyk M.M., Maistrenko N.Yu., Maliarenko O.Ye. (2015) Dvoetapnyi metod prohnozuvannya perspektyvnoho popytu na enerhetychni resursy [A two-stage method for forecasting the future demand for energy resources]. *Energotekhnologii i resursosberezhenie* [Energy technologies and resource saving] No. 5-6, pp. 25—33. (in Ukrainian)
11. Hnidy M.V. (1999) Metodychnyi pidkhid do otsinky obsiahiv enerhospozhyvannia dlia riznykh variantiv struktury ekonomiky [Methodical approach to estimation of volumes of energy consumption for various variants of the structure of the economy]. *Problemy zahalnoi enerhetyky* [Problems of general energy]. Vol. 1 (1), pp. 52—57. (in Ukrainian)
12. Maliarenko O.Ye., Maistrenko N.Yu. (2015) Prohnozuvannya rivniv spozhyvannia palyvno-enerhetychnykh resursiv z urakhuvanniam potentsialu enerhozberezhennia pry strukturnykh zminakh v ekonomitsi [Forecasting of consumption levels of fuel and energy resources taking into account the potential of energy saving in case of structural changes in the economy]. *Problemy zahalnoi enerhetyky* [Problems of general energy]. Vol.2 (41), pp. 5—13. Available at: <https://doi.org/10.15407/pge2015.02.005> (accessed 10 January 2019). (in Ukrainian)
13. Maliarenko O.Ye., Yevtukhova T.O., Maistrenko N.Yu. (2013) Prohnozuvannya zmin kintsevoho spozhyvannia enerhoresursiv z urakhuvanniam strukturnykh i tekhnolohichnykh zrushen v ekonomitsi krainy [Forecast of changes in final energy consumption taking into account structural and technological changes in the national economy]. *Problemy zahalnoi enerhetyky* [Problems of general energy]. Vol. 4 (35), pp. 33—40. (in Ukrainian)
14. Kulyk M.M., Maliarenko O.Ye., Maistrenko N.Yu., Stanytsina V.V., Spitkovskiy A.I. (2017) Zastosuvannya metodiv kompleksnoho prohnozuvannia dlia vyznachennia perspektyvnoho popytu na pervynni

enerhetychni resursy [The application of integrated forecasting methods to determine the promising demand for primary energy resources]. *Problemy zahalnoi enerhetyky* [Problems of general energy]. Vol. 1(48), pp. 5—15. Available at: <https://doi.org/10.15407/pge2017.01.005> (accessed 10 January 2019). (in Ukrainian)

15. Bohoslavskaya O.Yu. (2019) Novi programni zasoby dlia prohnozuvannya enerhospozhyvannya z urakhuvanniam strukturykh zrushen v ekonomitsi [New software for forecasting energy consumption taking into account structural changes in the economy]. Proceedings of the «*Enerhetychnyi menedzhment: stan ta perspektyvy rozvytku – PEMS19*» (Ukraine, Kyiv, June 04-07, 2019) Kyiv: KPI them Igor Sikorsky, pp. 53-54. (in Ukrainian)

16. Maistrenko N.Yu., Bohoslavskaya O.Yu. (2019) Osoblyvosti prohnozuvannya rivniv enerhospozhyvannya Ukrainy pry zastosuvanni riznykh prohnoznykh struktur ekonomiky [Features of forecasting of energy consumption levels of Ukraine in application of various forecasting structures of the economy]. *Problemy zahalnoi enerhetyky* [Problems of general energy]. Vol.2 (57), pp. 21-26. (in Ukrainian)

17. Maliarenko O.Ye., Maistrenko N.Yu., Stanytsina V.V. (2015) Udoskonaleny metodychnyi pidkhid do vyznachennia ekonomichno dotsilnoho potentsialu enerhozberezhennia v enerhoiemnykh vydakh ekonomichnoi diialnosti [Improved methodical approach to determining the economically viable energy saving potential in energy intensive economic activities]. *Problemy zahalnoi enerhetyky* [Problems of general energy]. Vol.3 (42), pp. 23-30. (in Ukrainian)

18. Spitkovskiy A.I., Maliarenko O.Ye., Maistrenko N.Yu., Stanytsina V.V. (2017) Vykorystannia prohramy «SPROS» dlia prohnozuvannya popytu na enerhetychni resursy [Use of the "SPROS" program to predict demand for energy resources]. *Problemy zahalnoi enerhetyky* [Problems of general energy] Vol.2 (49), pp.5-13. Available at: <https://doi.org/10.15407/pge2017.02.005> (accessed 10 January 2019). (in Ukrainian)

19. *Enerhetychna stratehiia Ukrainy do 2030 r., redaktsiia 2013 r.* (2013) [Energy Strategy of Ukraine till 2030, edition 2013] Available at: [http://www.energoatom.kiev.ua/ua/about/strategy\\_2030](http://www.energoatom.kiev.ua/ua/about/strategy_2030) (accessed 10 January 2019). (in Ukrainian)

20. *Stratehiia rozvytku promyslovoho kompleksu Ukrainy na period do 2025 roku.* [Strategy of development of the industrial complex of Ukraine for the period till 2025]. Available at: <http://www.me.gov.ua/Documents/Detail?lang=uk-UA&id=10ef5b65-0209-4aa1-a724-49fd0877d8d6&title=ProektRozporiadzhenniaKabinetuMinistrivUkrainiproSkhvalenniaStrategiiRozvitkuPromislovoogoKompleksuUkrainiNaPeriodDo2025-Roku> (accessed 10 January 2019). (in Ukrainian)

21. Maliarenko O.Ye., Maistrenko N.Yu., Stanytsina V.V. (2016) Obgruntuvannya prohnoznykh obsiahiv potentsialu enerhozberezhennia v ukрупnenykh sektorakh ekonomiky z urakhuvanniam tekhnolohichnykh i strukturykh zrushen [Justification of the projected volumes of energy saving potential in the enlarged sectors of the economy, taking into account technological and structural developments]. *Problemy zahalnoi enerhetyky* [Problems of general energy]. Vol.4 (47), pp.58-67. (in Ukrainian)

22. Maliarenko O.Ye., Stanytsina V.V. (2019) Utochnennia metodyky prohnozuvannya popytu na palyvo z otsinkoiu strukturnoho potentsialu enerhozberezhennia v enerhetychnomu sektori [Clarification of the methodology for forecasting demand for fuel with an assessment of the structural potential of energy saving in the energy sector]. *Problemy zahalnoi enerhetyky* [Problems of general energy]. Vol.1 (56), pp. 19-23. Available at: <https://doi.org/10.15407/pge2019.01.019> (accessed 10 January 2019). (in Ukrainian)

23. Nechaieva T.P. (2015) *Metody ta zasoby prohnozuvannya rozvytku struktury heneruiuchykh potuzhnosti elektroenerhetychnoi systemy z urakhuvanniam ekolohichnykh vymoh* [Methods and means of forecasting the development of the structure of generating capacities of the power system taking into account environmental requirements] (PhD Thesis). Kyiv, Institute of General Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine. (in Ukrainian)

24. Kulyk M.M., Horbulin V.P., Kyrylenko O.V. (2017) *Kontseptualni pidkhody do rozvytku enerhetyky Ukrainy (analitichni materialy)* [Conceptual approaches to energy development in Ukraine (analytical materials)]. Kyiv, Institute of General Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine. (in Ukrainian)

25. Maliarenko O.Ye. (2016) *Metodychnyi pidkhid do vyznachennia prohnoznoi struktury spozhyvannya pervynnoho palyva* [Methodical approach to determining the predicted structure of primary fuel consumption]. *Problemy zahalnoi enerhetyky* [Problems of general energy]. Vol.3 (46), pp. 28—39. Available at: <https://doi.org/10.15407/pge2016.03.028>. (accessed 10 January 2019). (in Ukrainian)

26. KTM 204 Ukraine 244-94 (2004) *Posibnyk ta dopovnennia do «Norm ta vkazivok po normuvanni vytrat palyva ta teplovoi enerhii na opalennia zhytlovykh ta hromadskykh sporud, a takozh na hospodarsko-pobutovi potreby v Ukraini»* [The manual and supplements to the "Norms and instructions on the standardization of fuel and heat energy expenditures for heating of residential and public buildings, as well as for household and household needs in Ukraine"]. Ukraine, Kyiv, pp. 84. (in Ukrainian)

27. Kuts H.O., Maliarenko O.Ye., Maistrenko N.Yu., Stanytsina V.V. (2018) *Vyznachennia prohnoznoho popytu na teplovu enerhiu kompleksnym metodom z urakhuvanniam potentsialu enerhozberezhennia* [Determination of the forecasted demand for thermal energy by a complex method taking into account the potential of energy saving]. *Problemy zahalnoi enerhetyky* [Problems of general energy]. Vol. 3(54), pp. 10—15. Available at: <https://doi.org/10.15407/pge2018.03.010>. (accessed 10 January 2019). (in Ukrainian)

28. Maistrenko N.Yu. (2018) Prohnozuvannia rivniv spozhyvannia PER u pererobnii promyslovosti z urakhuvanniam zahalnoho strukturnoho potentsialu enerhozberzhennia [Forecasting of consumption levels of FER in the processing industry taking into account the overall structural potential of energy saving]. *Problemy zahalnoi enerhetyky* [Problems of general energy]. Vol.1(52), pp. 32—40. Available at: <https://doi.org/10.15407/pge2018.01.032>. (accessed 10 January 2019). (in Ukrainian)

Надійшла 12.11.2019  
Received 12.11.2019