

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ І СИСТЕМ

ISSN 1562-8965. *The problems of general energy*. 2017, 1(48): 5–15
doi: <https://doi.org/10.15407/pge2017.01.005>

УДК 620.9.002.8 **М.М. КУЛИК**, акад. НАН України, д-р техн. наук, проф., **О.Є. МАЛЯРЕНКО**, канд. техн. наук, ст. наук. співр., **Н.Ю. МАЙСТРЕНКО**, канд. техн. наук, **В.В. СТАНИЦІНА**, канд. техн. наук, **А.І. СПІТКОВСЬКИЙ**, канд. біол. наук, доцент
Інститут загальної енергетики НАН України,
вул. Антоновича, 172, м. Київ, 03150, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ КОМПЛЕКСНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ПОПИТУ НА ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ

Надано особливості застосування комплексного методу прогнозування перспективного попиту на енергоресурси, зокрема, вугілля, природний газ та електричну енергію, які полягають у врахуванні структури споживання палив та електроенергії, структури генеруючих потужностей енергетичного сектору та методичних особливостей прогнозування споживання для різних груп споживачів.

Ключові слова: попит, енергоресурси, вугілля, природний газ, електрична енергія, прогнозування, метод.

Наукове обґрунтування розвитку енергетики на сучасному етапі становлення економіки неможливе без застосування відповідних інструментів аналізу – математичних моделей, метою яких є визначення, зокрема, прогнозного попиту на енергоресурси на основі можливих сценаріїв економічного розвитку країни з урахуванням прогнозних обсягів енергозбереження. Методичні підходи до прогнозування енергоспоживання в економіці країни розглянуті в багатьох наукових роботах [1–10].

В умовах економічної нестабільності в Україні, викликаній зовнішньою агресією та перебудовою економіки на виробництво для військових потреб, з існуючих методів прогнозування найбільш релевантним є нормативний метод. У чистому вигляді цей метод спирається на обґрунтовані норми виробництва продукції та надання послуг: опалення приміщень, вентиляцію промислових та громадських будівель, гаряче та холодне водопостачання, освітлення, забезпечення харчуванням в бюджетних уста-

новах, будівельні стандарти по енергоефективності. Існує частина виробництв, яка регламентується нормами сировини на виробництво кінцевої продукції. Енергетичні витрати на продукцію можуть залежати від виду технології та зменшуватись при переході на більш ефективну. Використовуючи як показники енергетичної ефективності: енергоємність валового внутрішнього продукту (ВВП), енергоємність валової доданої вартості (ВДВ) та енергоємність продукції з урахуванням потенціалу енергозбереження, прийmemo використаний нами у [5,7–9] нормативний метод прогнозування як нормативно-цільовий, тобто за норму враховується енергоємність ВВП, ВДВ або виробництва продукції чи питомі витрати ПЕР на різних ієрархічних рівнях при дотриманні необхідності забезпечення виробництва продукції та надання послуг згідно з існуючими стандартами та під час впровадження енергозберігаючих заходів із метою досягти певного показника енергоефективності або знизити енергоспоживання дефіцитного виду енергоресурсу до мінімально можливого обсягу.

© М.М. КУЛИК, О.Є. МАЛЯРЕНКО, Н.Ю. МАЙСТРЕНКО, В.В. СТАНИЦІНА, А.І. СПІТКОВСЬКИЙ, 2017

Підхід до прогнозування споживання паливно-енергетичних ресурсів та електроенергії при структурних зрушеннях в економіці, що розглянутий у роботі [7] та дав позитивні результати щодо апробації двоетапного методу прогнозування енергоспоживання [8], застосовувався при врахуванні потенціалу енергозбереження від структурних зрушень в економіці, які обчислювались від обсягів кінцевого споживання ПЕР та їх видів: палива, електричної та теплової енергії. До отриманого таким способом прогнозу кінцевого споживання додавався прогноз споживання ПЕР на енергетичні цілі, неенергетичні витрати та втрати [7,8,10]. Кінцеве споживання палива розумілось за тлумаченням згідно зі збірником Держстату України «Паливно-енергетичні ресурси» [11], згідно з яким «кінцеве споживання палива включає обсяги використання палива за всіма напрямками споживання за винятком витрат палива на перетворення в інші види енергії або паливних продуктів і використаних для неенергетичних цілей». Крім того, за різними методиками складання енергетичних балансів у кінцеве споживання може включатися неенергетичне використання, як у методиці Міжнародного енергетичного агентства (МЕА) або втрати, як у методиці Євростату. Є ще поняття в системі національних рахунків (СНР) «категорій кінцевого використання ВВП за функціональними класифікаціями», які включають кінцеві споживчі витрати домашніх господарств, кінцеві споживчі витрати сектору загального державного управління, кінцеві споживчі витрати некомерційних організацій, що обслуговують домашні господарства та ін. категорії. Іншими словами, в грошовому вимірі до кінцевого споживання відносяться витрати населення, загальнодержавного управління та некомерційних організацій, що обслуговують населення, а в умовному паливі кінцеве споживання палива присутнє у всіх видах економічної діяльності та населення. Споживання електричної і теплової енергії поділяється на споживання на виробничі потреби та споживання – разом, що включає крім виробничих потреб комунально-побутові витрати та відпуск енергоносія населенню. Спроба сумістити ці поняття дала таке трактування кінцевого споживання палива та інших енергоресурсів, яке буде в

подальшому використовуватись у цій статті: під споживанням енергоресурсів мається на увазі все споживання з перетворенням і втратами, кінцеве споживання – споживання домогосподарств, секцій «Державне управління й оборона; обов’язкове соціальне страхування» та «Діяльність домашніх господарств». Кінцеве споживання вугілля чи природного газу у нагрівальних промислових печах віднесено нами до напряму – витрати на перетворення палива в інші види енергії (у теплову енергію). Притримуючись такого трактування кінцевого споживання визначення потенціалу енергозбереження при структурних змінах в економіці та, відповідно, прогнозного енергоспоживання при змінах структури економіки потребує методичних змін.

Метою проведеного дослідження є визначення особливостей прогнозування попиту на всі види палива та енергії із застосуванням нормативно-цільового та комплексного методів прогнозування для основних груп споживачів на різних ієрархічних рівнях побудови економіки. У статті розглянуто методичний підхід до визначення поняття «кінцевого споживання палива та енергії», що вносить значні корективи у методику оцінки потенціалу енергозбереження від структурних зрушень, потребує врахування прогнозної структури електро- та теплогенеруючих потужностей, внутрішньої структури секції «Транспорт, складське господарство та ін.», та виділення населення як окремої групи споживачів з іншою методикою прогнозування енергоспоживання.

Для видів економічної діяльності (ВЕД), крім секції D «Постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря» – DOWN-рівень, прогнозні рівні споживання видів палива та енергії обчислюються за формулою [10]:

$$E_{ij}^{t_l} = \sum_i e_{ВДВ_{ij}}^{\delta} \cdot V_{ВДВ_i}^{t_l} \pm \sum_i \Delta e_{ij}^{\delta-t_l} \cdot V_{ВДВ_i}^{t_l} - \sum_{i=1}^I \Delta e_{ij}^{t_l} \cdot V_{ВДВ_i}^{t_l} \pm E_{замj}^{t_l}, \quad (1)$$

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

$$e_{\text{ВДВ}_{ij}}^{\delta} = P_{ij}^{\delta} / V_{\text{ВДВ}_{i}}^{\delta}, \quad (2)$$

де P_{ij}^{δ} – обсяг споживання j -виду палива чи енергії i -сектором економіки у базовому році;

$V_{\text{ВДВ}_{i}}^{\delta}$ – обсяг ВДВ, створеного в i -секторі економіки за базовий рік;

$V_{\text{ВДВ}_{i}}^{t_l}$ – прогнозні обсяги ВДВ i -сектору економіки у постійних цінах (приведених до цін базового року) згідно з [12];

$\Delta e_{ij}^{\delta-t_l}$ – зміна енергоємності ВДВ j -виду палива чи енергії i -сектору економіки від зміни прогнозної структури валової доданої вартості, що обчислюється за методикою, розробленою у [7];

$\Delta e_{ij}^{t_l}$ – зниження енергоємності ВДВ j -виду палива чи енергії при впровадженні заходів з енергозбереження у технологіях у році t_l , що входять за видом діяльності до сектору i ;

$E_{\text{зав}_{ij}}^{t_l}$ – обсяги можливого заміщення j -виду палива чи енергії у прогнозному році t_l .

Для секції D прогнозні рівні споживання палива (вугілля, природного газу) визначались в залежності від прогнозної структури електро- [13] та теплогенеруючих джерел та прогнозної потреби економіки в електричній та тепловій енергії [10]:

$$E_{jD}^{t_l} = \sum_{l=1}^n B_{wfj}^{t_l} + \sum_{m=1}^n B_{qmj}^{t_l} + \sum B_{\text{ін}_{j}}^{t_l} = \quad (3)$$

$$= k_{lj} W_f^{t_l} b_{wj}^{t_l} + k_{mj} Q_m^{t_l} b_{qj}^{t_l} + k_{\text{ін}_{j}} B_{\text{ін}_{j}}^{t_l},$$

де $E_{jD}^{t_l}$ – потреба у j -виді палива для систем електропостачання, тепlopостачання, газопостачання та ін. (секція D за КВЕД-2010);

$B_{wfj}^{t_l}$ – витрати j -виду палива на електрогенерацію f -типу (ТЕС, ТЕЦ, ін. електрогенератори на органічному паливі) у прогнозному році t_l ;

$B_{qmj}^{t_l}$ – витрати j -виду палива на теплогенерацію m -типу (ТЕС, ТЕЦ, ін. теплогенератори на органічному паливі) у прогнозному році t_l ;

$\sum B_{\text{ін}_{j}}^{t_l}$ – 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;

$W_f^{t_l}$ – обсяг електроенергії-брутто, виробленої електрогенеруючими потужностями f -типу у році t_l ;

$b_{wj}^{t_l}$ – питомі витрати j -виду палива на виробництво електроенергії в енергосистемі у t_l році;

k_{mj} – частка теплової енергії, що вироблена теплогенеруючими потужностями з використанням j -виду палива;

$Q_m^{t_l}$ – обсяг теплової енергії, виробленої теплогенеруючими потужностями m -типу у t_l році;

$b_{qj}^{t_l}$ – питомі витрати j -виду палива на виробництво теплової енергії в системі централізованого тепlopостачання у t_l році;

$k_{\text{ін}_{j}}$ – частка j -виду палива, що використана у секції D на інші потреби;

$B_{\text{ін}_{j}}^{t_l}$ – витрата органічного палива на інші потреби у секції D у t_l році.

Під час прогнозування споживання електричної енергії для секції D враховуються витрати електроенергії на власні потреби при виробництві електричної, теплової енергії та розподіленні газу і кондиційованого повітря.

Обчислення прогнозних рівнів споживання палива та електроенергії для рівня країни (ТОР-рівень) виконується за формулами (1)–(3) за прогнозними показниками енергоємності ВДВ країни та обсягів ВДВ країни. На відміну від енергоємності ВВП в енергоємності ВДВ країни не враховується споживання населенням. Оскільки частка населення у споживанні окремих енергоресурсів є різною, і в різній мірі впливає на обсяги загального споживання енергоресурсу, його було відокремлено. Так, у споживанні вугілля ця частка становить 1% від обсягів загального споживання, а в обсягах природного газу вона дорівнює 30%.

Прогноз ПЕР на ТОР-рівні може виконуватись і за прогнозними показниками енергоємності ВВП, яка не враховує у прогнозі ПЕР (чисельник) споживання населенням:

$$e_{\text{ВВП}^*}^{t_l} = \frac{\sum E_{ij}^{t_l} + E_{jD}^{t_l}}{V_{\text{ВВП}}^{t_l}}, \quad (4)$$

де перша та друга складові чисельника розраховуються за формулами (1) та (3) відповідно, знаменник – прогноз ВВП країни у t_l році.

У ВДВ на відміну від ВВП не враховано податки та субсидії, на які не витрачаються енергоресурси, тому обчислення прогнозів верхнього і нижнього рівнів краще виконувати за показниками ВДВ та енергоємності ВДВ на відповідному ієрархічному рівні. Обчислені на двох рівнях прогнози потреби уточнюються за допомогою комплексного методу, описаного у [6, 8]. Відміною застосованого у даній статті підходу від [8] є узгодження прогнозів верхнього (країна) і нижнього рівнів (види економічної діяльності) без урахування прогнозу споживання населенням, яке раніше враховувалося як сектор економіки.

Згідно з методикою [8] на першому етапі визначаються прогнози енергоресурсів на TOP- та DOWN-рівнях нормативно-цільовим методом (формули (1)–(4)). Для кожного етапу прогнозного періоду t_l утворюється вектор показників споживання ПЕР при відповідному прогнозованому значенні ВВП та ВДВ:

$$F(t_l) = [F_T(t_l), F_{d1}(t_l), F_{d2}(t_l), \dots, F_{dn-1}(t_l)], \quad (5)$$

де $F_T(t_l)$ – прогноз енергоспоживання TOP-рівня для заданого показника ВВП на етапі $t = t_l$;

$F_{di}(t_l)$ – прогноз енергоспоживання i -сектору (виду економічної діяльності згідно з класифікатором КВЕД-2010) DOWN-рівня для заданого показника ВДВ на етапі $t = t_l$; $i = 1, n - 1$.

Після формування векторів прогнозних величин енергоспоживання для вибраних років визначається сума секторальних показників – прогноз споживання палива чи енергії за всіма ВЕД:

$$F_d(t_l) = \sum_{i=1}^{n-1} F_{di}(t_l), \quad (6)$$

та різниця між отриманим показником енергоспоживання на рівні країни та сумою енергоспоживання за ВЕД:

$$R(t_l) = F_T(t_l) - F_d(t_l). \quad (7)$$

Після цього секторальні прогнози енергоспоживання, що входять до вихідного вектора $F_{di}(t_l)$ з рівняння (5), агрегуються шляхом об'єднання видів економічної діяльності в

укрупнені сектори та визначається їх мінімальна кількість:

$$k(t_l) = \frac{F_d(t_l)}{F_{di}(t_l)_{\max}}, \quad (8)$$

де, крім зазначених вище величин, $F_{di}(t_l)_{\max}$ – найбільше за значенням енергоспоживання з i -видів економічної діяльності.

Величина $k(t_l)$, як правило, є нецілим числом. В подальших розрахунках використовується його ціла частина $[k(t_l)]$ та залишок:

$$\Delta n(t_l) = k(t_l) - [k(t_l)]. \quad (9)$$

З використанням коефіцієнта (8) визначаються мінімальна та максимальна розмірність секторів, в які об'єднуються укрупнені ВЕД, з урахуванням рівняння для TOP-рівня:

$$n_{\min}(t_l) = [k(t_l)] + 1, \quad (10)$$

$$n_{\max}(t_l) = n_{\min}(t_l) + 1. \quad (11)$$

Уточненим показником, який забезпечуватиме збігання показників енергоспоживання TOP- та DOWN-рівнів, є таке рівняння:

$$Y_T(t_l) = F_T(t_l) - S(n(t_l))R(t_l), \quad (12)$$

в якому використовується константа $S(n(t_l))$, що протабульована до $n = 20$, значення якої наведено у [8], та величина $R(t_l)$, яка розраховується за виразом (7).

З використанням рівняння (12) розраховуються уточнюючі показники: $Y_T(t_l, n_{\min}(t_l))$ та $Y_T(t_l, n_{\max}(t_l))$, і потім у випадку нецілих значень – остаточне значення показника енергоспоживання TOP-рівня:

$$Y_T(t_l) = Y_T(t_l, n_{\min}(t_l))(1 - \Delta n(t_l)) + Y_T(t_l, n_{\max}(t_l))\Delta n(t_l). \quad (13)$$

Значення всіх показників енергоспоживання DOWN-рівня визначаються за залежністю:

$$Y_{di}(t_l) = q(t_l)F_{di}(t_l), \quad (14)$$

де коефіцієнт $q(t_l)$, що уточнює значення рівнів споживання ПЕР за ВЕД, обчислюється за

формулою:

$$q(t_i) = \frac{Y_T(t_i)}{F_{di}(t_i)}, \quad i = \overline{1, n-1}, \quad (15)$$

$F_{di}(t_i)$ – прогнозне значення споживання палива чи енергії у період t_i .

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

$$P_{насj}^{t_i} = (b_{насj}^{\delta} - \Delta b_{насj}^{t_i}) N^{t_i} \pm E_{замj}^{t_i}, \quad (16)$$

де $b_{насj}^{\delta}$ – питомі витрати j -виду палива чи енергії, спожитих населенням у базовому році;

$\Delta b_{насj}^{t_i}$ – зниження питомих витрат j -виду палива за умови впровадження енергозберігаючих заходів у домогосподарствах у році t_i ;

N^{t_i} – прогнозна чисельність населення України згідно з даними Інституту демографії та соціальних досліджень НАН України [14];

$E_{замj}^{t_i}$ – обсяги можливого заміщення j -виду палива чи енергії більш дешевими у домогосподарствах у прогнозованому році t_i [15].

Для прогнозування попиту на вказані розрахункові елементи була розроблена програма «SPROS», яка є розвитком підсистеми «Матриця», що входить до складу багатофункціонального програмного комплексу «Піраміда V», які розроблені в ІЗЕ НАН України.

Результати обчислення та їх обговорення

З використанням уточненої методики обчислення прогнозних рівнів споживання палива та енергії, та розробленої програми розрахунку виконано прогнози споживання електричної енергії, природного газу та вугілля з урахуванням потенціалу енергозбереження від структурних і технологічних зрушень. Методичний підхід до оцінки потенціалу енергозбереження надано у [15–17]. Обсяги оціненого потенціалу енергозбереження враховано у розрахунку прогнозу енергоспоживання із [15].

Електрична енергія. У структурі споживання електричної енергії лівову частку займає промисловий сектор (43–63%) із тенденцією до зниження споживання за період 2001–2015 рр. на 13%. Другим по обсягах споживачем електричної енергії є населення, частка якого за вказаний період зросла з 15,8 до 30,7%. Зростання частки електричної енергії характер-

но також для групи інших ВЕД: з 7,5 до 17,7%; незначне зниження спостерігається для транспорту: з 6,4 до 5,7%. Практично незмінною у структурі споживання електричної енергії є частка будівництва: 0,6%, а сільське господарство характеризується, навпаки, зниженням частки споживання електричної енергії з 3,1 до 2,8% від загального споживання.

Прогнозування попиту на електричну енергію в Україні нормативно-цільовим методом (верхній рівень). Обчислення споживання електроенергії на рівні країни виконано за описаною вище методикою: формули (1)–(4), прогнозом обсягів ВВП та ВДВ разом за ВЕД на період до 2040 р., електроємності ВДВ країни за базовим роком (2015 р.) з урахуванням потенціалу енергозбереження. Прогнозується, що за період 2015–2040 рр. валове споживання електроенергії зросте майже у 2,34 раза, з урахуванням потенціалу енергозбереження від структурних зрушень – майже у 2,12 раза, з урахуванням структурного і технологічного енергозбереження – близько 2-х разів при зростанні ВВП в цінах 2015 р. у 2,3 раза (табл. 1).

Прогнозування попиту на електричну енергію в Україні нормативно-цільовим методом (нижній рівень). На рівні ВЕД потенціал енергозбереження від структурного фактора обчислювався за зміною структури економіки в прогнозних роках [8]. Для кожного укрупненого сектору економіки застосовувалась описана вище методика (1)–(4), відмінним є обчислення потенціалу енергозбереження для кожного укрупненого ВЕД. Потенціал енергозбереження за видами економічної діяльності враховано із [15]. По укрупнених ВЕД підсумовуються результати розрахунків, які представлені у табл. 1.

Прогнозування попиту на електричну енергію в Україні комплексним методом. Результати обчислення по верхньому та нижньому рівнях мають незначний розбіг – до 3%. З використанням комплексного методу прогнозування перспективного попиту на енергетичні ресурси за розробленою математичною програмою обчислені прогнозні рівні споживання електричної енергії за формулами (5)–(15), які дали високий ступінь збігання результатів, отриманих на різних рівнях. В подальшому до узгодженого варіанта додаються обсяги споживання електроенергії населенням на період до

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

| Показник | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 |
|---|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| TOP-рівень нормативним методом (без населення) | 82246,7* | 91726,18 | 110335,42 | 124008,25 | 146777,53 | 165050,48 |
| DOWN-рівень нормативним методом (без населення) | 82245,97 | 92211,77 | 106819,23 | 125827,81 | 148725,86 | 166549,47 |
| TOP-рівень комплексним методом (без населення) | 82246,7 | 91933,55 | 108873,66 | 124748,26 | 147562,69 | 165654,71 |
| DOWN-рівень комплексним методом (без населення), у т.ч. за секціями ВЕД | 82245,97 | 91933,54 | 108873,65 | 124748,26 | 147562,69 | 165654,71 |
| сільське господарство | 3342,3 | 3827,75 | 4781,35 | 5704,17 | 6966,36 | 7934,16 |
| добувна промисловість | 4284,6 | 4049,17 | 4420,91 | 4931,52 | 4661,11 | 5067,81 |
| переробна промисловість | 45915,8 | 49019,28 | 53976,87 | 57237,97 | 65694,38 | 73808,61 |
| постачання електроенергії, газу тощо | 15195 | 19141,91 | 25549,79 | 31814,87 | 38967,91 | 44609,56 |
| транспорт та ін. | 6807 | 8117,14 | 10653,8 | 13555,58 | 16992,13 | 18001,26 |
| інші ВЕД | 6701,27 | 7778,29 | 9490,92 | 11504,15 | 14280,81 | 16233,32 |
| Споживання населенням | 36480,0 | 35073,7 | 33667,5 | 32261,2 | 32178,5 | 32178,5 |
| Валове споживання за ВЕД та населенням – нетто | 118726,7 | 130013,3 | 146449,2 | 161217,2 | 184250,2 | 202643,2 |
| Валове споживання за ВЕД та населенням – бруто | 150456 | 163816,7 | 183061,5 | 199909,3 | 226627,8 | 247224,7 |
| Експорт | 3618 | 9000 | 12000 | 16000 | 18000 | 20000 |
| Попит на електроенергію | 154074 | 172816,7 | 195061,5 | 215909,3 | 244627,8 | 267224,7 |

* за даними Міністерства енергетики та вугільної промисловості України за 2015 р.

2040 р. за прогнозом чисельності населення та змінами у споживанні населенням при впровадженні заходів з енергозбереження (заміна існуючих побутових приладів на сучасні енер-

гоефективні, збільшення їх кількості і частки в загальному електроспоживанні, виконання робіт виробничого характеру в домогосподарствах, фріланс). Отримані результати (нетто

споживання) підсумовані по рівнях споживання за ВЕД та населенням. Наступним кроком було врахування втрат електроенергії на її транспортування в магістральних і міждержавних мережах, в розподільчих мережах та на власні потреби – це споживання бруто, далі враховуються обсяги експорту електроенергії за межі держави і, таким чином, визначається загальний попит на електричну енергію (табл.1).

Природний газ. За даними форми статистичних спостережень 4-МТП в цілому по країні на перетворення у 2015 р. було витрачено 34% природного газу від загального споживання, 2,3% – на власне споживання енергетичним сектором, 9% – на неенергетичне використання, 16,6% – кінцеве споживання, 35,6% – реалізовано населенню, 1,95% – втрати.

Прогнозування попиту на природний газ в Україні нормативно-цільовим методом (верхній рівень). При визначенні прогнозних рівнів споживання природного газу прийнято такі структурні зміни в економіці: збільшення частки валової доданої вартості секцій у структурі ВВП для сільського господарства на 1%, транспорту на 1,5%, інших ВЕД – на 4% при зменшенні частки промисловості на 4,5%, у т.ч. добувної на 2,2%, переробної на 3,3%. Такі зміни структури можуть дати економію споживання природного газу у розмірі 8,8 млрд м³ у 2040 р. Обчислення споживання природного газу на рівні країни виконано за описаною вище методикою, прогнозом обсягів ВВП та ВДВ разом за ВЕД на період до 2040 року, газоємності ВДВ країни за базовим роком, із урахуванням структурних змін, обсягів технологічного збереження природного газу в країні [15]. Прогноз споживання природного газу до 2040 р. на рівні країни надано у табл.2.

Прогнозування попиту на природний газ в Україні нормативно-цільовим методом (нижній рівень). Потенціал енергозбереження від структурного фактора обчислювався за методикою, описаною у [7]. Обчислення технологічного потенціалу енергозбереження проводилося знизу за укрупненими видами економічної діяльності (ВЕД) [15]. Прогнозується зниження споживання природного газу у секціях за КВЕД до 22,2 млрд м³ у 2025 р. й поступове збільшення споживання до 24,5 млрд м³ у 2040 р. Окрім того, прогнозується зменшення

споживання природного газу населенням. До 2025 р. буде відбуватись зменшення споживання газу внаслідок заміщення газу у населення на інші види палива, встановлення більш економічних котлів, утеплення будинків, проведення інших енергозберігаючих заходів; зміни структури промислового виробництва; впровадження енергозберігаючих заходів в промисловості; заміщення природного газу в енергетиці та теплопостачанні. Після 2025 р. прогнозується зростання обсягів споживання газу за рахунок збільшення обсягів промислового виробництва. Збільшення споживання природного газу населенням після 2025 року не прогнозується. Окремі заходи з економії природного газу описано у [15]. Прогнозні рівні споживання природного газу за видами економічної діяльності наведено у табл.2.

Прогнозування попиту на природний газ в Україні комплексним методом. Розбіжність прогнозів верхнього і нижнього рівнів становить до 34%. Ці прогнози обов'язково потребують узгодження математичними методами. З використанням комплексного методу (формули (5) – (15)), виконано узгодження прогнозів споживання природного газу по верхньому та нижньому рівнях (табл.2), який показує дуже високий рівень збіжності. До отриманого узгодженого результату додано обчислене за формулою (16) прогнозне споживання газу населенням (30% від споживання газу у 2015 р.), яке визначалось по демографічному прогнозу [14], показнику споживання газу на одну особу станом на 2015 р. та обчисленому у [15] потенціалу енергозбереження й обсягах заміщення природного газу електроенергією та іншими видами палива. Результати надано у табл. 2.

Вугільна продукція. Згідно з статистичним бюлетенем «Використання енергетичних матеріалів та продуктів перероблення нафти за 2015 рік» в Україні спожито 45284,9 тис. т кам'яного вугілля, у т.ч. втрати становили 3,5 тис. т. Форма статистичної звітності 4-МТП за видами економічної діяльності, за якою згідно з передмовою складено цей бюлетень, надає загальну величину втрат 547,1 тис. т, з якої 543,6 тис. т – втрати при видобуванні і виробництві у добувній промисловості, і 3,5 тис. т (враховані у бюлетені) – втрати при транспортуванні й розподіленні в енергетичному секто-

Таблиця 2 – Прогноз попиту на природний газ в Україні до 2040 р. з урахуванням структурного і технологічного енергозбереження, млн м³

| Показник | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 |
|---|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
| TOP-рівень нормативним методом (без населення) | 21051,0 | 22706,64 | 25374,43 | 29020,74 | 33326,05 | 37059,63 |
| DOWN-рівень нормативним методом (без населення) | 21085,0 | 22335,25 | 21172,35 | 21276,56 | 22490,5 | 24530,25 |
| TOP-рівень комплексним методом (без населення) | 21051,0 | 22555,88 | 23729,36 | 25985,5 | 29030,75 | 32073,31 |
| DOWN-рівень комплексним методом (без населення), у т.ч. за секціями КВЕДУ | 21085,0 | 22555,87 | 23729,36 | 25985,5 | 29030,76 | 32073,30 |
| сільське господарство | 334,71 | 387,09 | 521,59 | 685,83 | 865,04 | 971,26 |
| добувна промисловість | 1846,54 | 1951,9 | 2234,67 | 2522,25 | 2854,53 | 3081,58 |
| переробна промисловість | 7694,93 | 7979,19 | 9112,93 | 10627,83 | 12277,18 | 13727,03 |
| постачання електроенергії, газу тощо | 9060,59 | 10282,9 | 9673,06 | 9604,81 | 10159,17 | 11270,84 |
| транспорт | 1362,2 | 1094,96 | 1040,7 | 1029,9 | 944,5 | 817,3 |
| інші ВЕД | 751,7 | 859,8 | 1146,4 | 1514,9 | 1930,3 | 2205,3 |
| Споживання населенням | 11765,1 | 9243 | 8574 | 7986 | 7844 | 7741 |
| Попит на природний газ | 32815,7 | 31798,8 | 32303,4 | 33971,7 | 36874,7 | 39814,0 |

рі. Згідно з формою 4-МТП в Україні у 2015 р. сумарно з усіма втратами за напрямками використання спожито 45828,6 тис. т вугілля, а разом спожите вугілля за видами економічної діяльності без втрат і населення становить 44800,8 тис. т. Аналіз структури використання вугілля по найбільших споживачах у 2013–2015 рр. показав, що найбільшими споживачами вугілля за останні 3 роки залишається енергетичний сектор (50–60%) та переробна промисловість (30–40%). У структурі споживання вугілля у 2015 р. за укрупненими видами економічної діяльності та напрямками використання частка коксівного вугілля становила 22,2%; на перетворення використано 83% вугілля: у промислових ТЕС, ТЕЦ і котельнях у сільському

господарстві, в котельнях по секціях добувної промисловості й інших видах економічної діяльності. У переробній промисловості 99% вугілля з обсягу, що пішло на перетворення (або 67% спожитого), використано на коксування, а решта 32% від спожитого – витрачено у промислових печах металургії (79%) та цементної промисловості (20,3%). Транспортним сектором 37% спожитого вугілля використано на спалювання у котельнях, а 63% як паливо по графі споживання «інші потреби» згідно з формою 4-МТП. Населення у 2015 р. спожило 484,2 тис. т вугілля (1% від загального споживання).

Прогнозування попиту на вугілля в Україні нормативно-цільовим методом (верхній рівень). При визначенні прогнозних рівнів

споживання вугілля використано показник вуглеємності ВДВ 2015 р., прогноз ВВП та ВДВ до 2040 р. та потенціал енергозбереження від структурних і технологічних змін згідно з [15]. Визначено структурні зміни в економіці, в які закладено збільшення частки валової доданої вартості секцій у структурі ВВП для сільського господарства на 1%, транспорту на 1,5%, інших ВЕД – на 4% при зменшенні частки промисловості на 4,5%, у т.ч. добувної

на 2,2% і переробної на 3,3%. Такі зміни структури можуть дати економію споживання вугілля у розмірі 10,4 млн т у 2040 р. Виходячи з фактичного споживання вугілля за напрямками використання та змін у споживанні за останні 2 роки, визначено основні напрями економії та оцінено їх можливі обсяги до 2040 р. [15]. Прогноз споживання вугілля в Україні на ТОП-рівні (країни) до 2040 р. надано у табл.3.

Таблиця 3 – Прогноз попиту на вугілля в Україні до 2040 р. з урахуванням структурного і технологічного енергозбереження, тис. т

| Показник | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 |
|---|----------------------|----------------------|----------|----------|----------|----------|
| ТОП-рівень нормативним методом (без населення) | 45344,4 ¹ | 49189,3 | 56715,0 | 66171,7 | 77745,0 | 87330,1 |
| DOWN-рівень нормативним методом (без населення) | 45340,8 ² | 39031,6 ³ | 44554,1 | 56936,3 | 68535,0 | 76205,2 |
| ТОП-рівень комплексним методом (без населення) | 45344,4 | 44807,24 | 51383,53 | 62001,97 | 73547,13 | 82260,52 |
| DOWN-рівень комплексним методом (без населення), у т.ч. за секціями КВЕДу | 45340,8 | 44807,25 | 51383,54 | 62001,96 | 73547,13 | 82260,52 |
| сільське господарство | 143,4 | 185,25 | 215,84 | 234,56 | 262,03 | 296,66 |
| добувна промисловість | 834,0 | 784,55 | 733,37 | 697,18 | 501,75 | 461,46 |
| переробна промисловість | 15249,7 | 18846,42 | 20413,12 | 21345,33 | 24125,84 | 27163,47 |
| постачання електроенергії, газу тощо | 28771,2 | 24575,6 | 29546,1 | 39190,25 | 48055,38 | 53705,33 |
| транспорт | 27,9 | 37,93 | 48,35 | 59,7 | 73,5 | 80,13 |
| інші ВЕД | 317,9 | 377,5 | 426,76 | 474,95 | 528,64 | 553,47 |
| Споживання населенням | 484,2 | 402,5 | 363,9 | 324,2 | 306,1 | 286,0 |
| Попит на вугілля | 45828,6 | 45209,8 | 51747,4 | 62326,2 | 73853,2 | 82546,5 |

1. Згідно з даними форми статистичної звітності 4-МТП по Україні як сума за напрямками використання вугілля з втратами при видобуванні, транспортуванні та розподіленні.

2. Згідно з даними форми статистичної звітності 4-МТП як сума за видами економічної діяльності за 2015 р. з втратами.

3. Враховано зниження втрат у секції «Добувна промисловість» та заміщення обсягів вугілля на «перетворення» альтернативними видами місцевого палива.

Прогнозування попиту на вугілля в Україні нормативно-цільовим методом (нижній рівень). Обчислення прогнозу споживання вугілля за видами економічної діяльності проводилось за показниками вуглеємності ВДВ секцій та укрупнених секцій за 2015 р., згрупованих за найбільшими споживачами, прогнозу ВДВ до 2040 р. та оціненим потенціалом енергозбереження від структурних і технологічних змін. Розрахунок економії вугілля по окремих заходах з енергозбереження у секторах економіки надано у [15,16]. Прогноз споживання вугілля населенням визначається через показник питомої витрати вугілля на 1 особу за 2015 р., прогноз чисельності населення та потенціал енергозбереження [15]. З урахуванням розглянутих тенденцій та спираючись на обсяги заміщення природного газу вугіллям у промисловості, енергетичному секторі та комунально-побутовому споживанні [10,15], виконано прогноз споживання вугілля до 2040 р. за ВЕД та населенням (табл. 3).

Прогнозування попиту на вугілля в Україні комплексним методом. Розбіжність прогнозів верхнього та нижнього рівнів коливається у межах 11–21%, що пов'язано із різними методиками обчислення «верхнього» і «нижнього» рівнів. Узгодження результатів потребує використання математичних методів. За методикою, описаною вище, з використанням комплексного методу виконано узгодження прогнозів вугілля, отриманих за макроекономічними показниками для країни та видів економічної діяльності, згрупованих за секторами. Збіжність прогнозів є дуже високою. Прогноз споживання вугілля населенням додавався до узгодженого прогнозу (табл. 3).

ВИСНОВКИ

У роботі уточнено методичний підхід до визначення прогнозного попиту на паливо та електроенергію при зміні поняття «кінцевого споживання палива та енергії», що вносить значні корективи у методіку розрахунку потенціалу енергозбереження від структурних змін, а саме необхідність врахування прогнозної структури електро- та теплогенеруючих потужностей, внутрішньої структури секції «Транспорт» та прогнозного попиту на енергоресурси з виділенням населення як окремої

групи споживачів з іншою методикою прогнозування енергоспоживання, яка не бере участі у розрахунках на рівні країни (TOP-рівень) та видів економічної діяльності (DOWN-рівень), а включається до остаточного розрахунку прогнозного попиту після узгодження верхнього та нижнього рівнів. Розвинуто методи прогнозування рівнів споживання палива та електричної енергії на основі комплексного методу та удосконалено методіку обчислення прогнозних рівнів споживання на основі нормативно-цільового методу, яка відрізняється від попередніх підходів тим, що на рівні країни зміни обсягів споживання палива та електроенергії досліджуються не за рахунок зміни ВВП, а за зміною обсягів ВДВ за ВЕД разом, при виключенні обсягів податків на продукти та субсидій з цього розрахунку, як таких, що не мають власного споживання енергоресурсів, та обсягів споживання палива та електроенергії населенням, яке також не створює ВДВ. Верхній рівень енергоспоживання обчислюється за показником енергоємності ВДВ країни, нижній – сумарними рівнями споживання палива та електроенергії за ВЕД, кожний з яких визначається за показниками енергоємності ВДВ за ВЕД. В подальшому отриманий результат верифікується з використанням уточненого комплексного методу прогнозування попиту, який відрізняється тим, що узгодження рівнів споживання країни та видів економічної діяльності здійснюється спочатку без обсягів енергоспоживання населенням. Прогнозні обсяги споживання населенням визначаються окремо з врахуванням тенденцій зміни його чисельності та насиченням домогосподарств новими видами побутової техніки. На кінцевому етапі до узгоджених комплексним методом результатів прогнозного енергоспоживання додається прогноз споживання населенням, а в остаточних результатах попиту на електроенергію враховується прогнозний експорт електроенергії.

1. Кононов Ю.Д., Гальперова Е.В., Кононов Д.Ю. и др. Методы и модели прогнозных исследований взаимосвязей энергетики и экономики/отв. ред. Н.И. Воропай, Ю.Д. Кононов. Новосибирск, 2009. 177 с.
2. Кононов Ю.Д. Стратегические угрозы и барьеры на пути развития ТЭК: методы оценки и учета. Иркутск, 2012. 52с.

3. Кононов Ю.Д. Пути повышения обоснованности долгосрочных прогнозов развития ТЭК. Иркутск, 2012. 40 с.
4. 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.
5. 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.
6. Кулик М.М. Методи узгодження прогнозних рішень. *Проблеми загальної енергетики*. 2014. № 2. С.5—12.
7. 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. С.5—13.
8. Кулик М.М., Майстренко Н.Ю., Маляренко О.Є. Двоетапний метод прогнозування перспективного попиту на енергетичні ресурси. *Енерготехнології и ресурсосбережение*. 2015. №5-6. С. 25—33.
9. Маляренко О.Є., Майстренко Н.Ю., Куц Г.О. Прогнозування потреби економіки в енергетичних ресурсах з урахуванням попиту на енергоємні експортно-орієнтовані види продукції. *Проблеми загальної енергетики*. 2015. № 4 (43). С. 5—13.
10. Маляренко О.Є. Методичний підхід до визначення прогнозної структури споживання первинного палива. *Проблеми загальної енергетики*. 2016. № 3 (46). С.28—39.
11. Паливно-енергетичні ресурси України. Статистичний збірник / під кер. Фризоренка А.О.; відп. за випуск Божок В.М. Київ. 2015. С. 303.
12. Енергетична стратегія України до 2030 р., редакція 2013 р. URL: http://www.energoatom.kiev.ua/ua/about/strategy_2030/ (дата звернення 10.02.2017).
13. 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.
14. Соціально-економічний стан України: наслідки для народу та держави: національна доповідь/за заг. ред. В.М. Гейця та ін. Київ, 2009. 687 с.
15. 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.
16. Маляренко Е.Е., Майстренко Н.Ю. Показатели энергетической эффективности и определение потенциала энергосбережения в промышленных технологиях. *Энерготехнологии и ресурсосбережение*. 2015. № 3. С.23—30.
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.

Надійшла до редколегії 10.03.2017