

НАУКОВІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ БАЛАНСІВ

ISSN 2522-4344 (Online), ISSN 1562-8965 (Print). The problems of general energy, 2019, 2(57): 13–20
doi: <https://doi.org/10.15407/pge2019.02.013>

УДК 620.9

О.Є. МАЛЯРЕНКО, канд. техн. наук, ст. наук. співр.,
В.В. СТАНИЦІНА, канд. техн. наук,
Г.О. КУЦ, канд. техн. наук, ст. наук. співр.,
Інститут загальної енергетики НАН України,
вул. Антоновича, 172, м. Київ, 03150, Україна
Маляренко О.Є. <http://orcid.org/0000-0001-5882-916X>
Станиціна В.В. <https://orcid.org/0000-0002-1005-6185>

ПРОГНОЗУВАННЯ ПОПИТУ НА ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ ДЛЯ ЕНЕРГОЄМНИХ ВИДІВ ПРОДУКЦІЇ З УРАХУВАННЯМ ПОТЕНЦІАЛУ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ДО 2040 Р.

Визначено прогноз споживання палива, теплової та електричної енергії для виробництва 26 найбільш енергоємних видів продукції, а також для населення, соціальної сфери та країни в цілому до 2040 р. Надано порівняння результатів застосування удосконаленого методу прямого рахунку, що враховує технологічний потенціал енергозбереження на рівні виробництв, споживання паливно-енергетичних ресурсів населенням та соціальною сферою. Оцінено, що найкращу збіжність застосованого методу порівняно із нормативним за видами економічної діяльності досягнуто для теплової енергії, прийнятну для палива. Споживання електричної енергії краще прогнозувати за нормативним методом по видах економічної діяльності, що включають витрати на інше виробниче споживання, яке не враховане у статистичних спостереженнях за видами продукції, оскільки саме електрична енергія більше споживається на загальнопромислові витрати (освітлення, підйомний транспорт, водопостачання, ін.).

Ключові слова: попит, прогноз, паливо, тепла та електрична енергія, споживання, потенціал енергозбереження, населення.

В умовах економічної перебудови держави важливим питанням постає визначення стратегії розвитку економіки та її енергетичного забезпечення. Для цього розробляють енергетичні моделі на заданий прогнозний період, що необхідний для оновлення енергетичного і технологічного обладнання, які дозволяють оцінити потребу в енергоносіях, визначити орієнтовні показники енергетичної ефективності та передбачити можливі загрози в енергозабезпеченні країни (постачання енергоресурсів по імпорту та забезпечення експорту) [1–7].

Фахівцями розроблено цілу низку методів прогнозування попиту на енергетичні ресурси. Найбільш поширеним є метод прямого рахунку

та його модифікації. У ньому використовується інформація про укрупнені узагальнені показники витрат енергоресурсів, а також прогнозні дані про об'єми виробництва чи розвитку секторів економіки. Метод прямого рахунку враховує тенденцію розвитку певного виробництва з урахуванням можливого зниження питомих витрат енергоресурсів [1, 3, 5].

Метою даної статті є застосування методу прямого рахунку для прогнозування енергоспоживання на рівні виробництв продукції за найбільш енергоємними видами, що у сумі складають не менше 70% промислового енергоспоживання, і нормативного методу для прогнозування енергоспоживання населенням, соціальною сферою та країни в цілому з подальшим аналізом збіжності отриманих результатів.

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

Метод прямого рахунку застосовано на рівні виробництва продукції з використанням усереднених показників загальновиробничих питомих витрат енергоресурсів за видами продукції та обсягів їх виробництва, оціненими за тенденціями їх споживання. Для населення і соціальних споживачів розрахунки проводили за установленими і затвердженими державними органами нормативами витрат енергоресурсів на опалення, приточно-втяжну вентиляцію, гаряче водопостачання, освітлення та комунально-побутові послуги на відміну від методики, описаної у [7].

Сумарний рівень прогнозного попиту енергоресурсів (E_s^t) в цілому по країні («верхній» рівень) у загальному вигляді розраховується за таким алгоритмом [7]:

$$E_s^t = (e_{BBPs}^{\bar{0}} - \Delta e_{BBPs}^{\bar{0}-t}) V_{BBPs}^t = e_{BBPs}^{\bar{0}} V_{BBPs}^t - \sum_i^l \Delta e_i^{\bar{0}-t} V_{ВДВ i}^t - \sum_i^l \Delta e_i^t V_{ВДВ i}^t, \quad (1)$$

де $e_{BBPs}^{\bar{0}}$ – енергоємність валового внутрішнього продукту (ВВП) при s-структурі економіки у базовому році; $\Delta e_{BBPs}^{\bar{0}-t}$ – зміна енергоємності ВВП при s-структурі економіки відносно енергоємності ВВП базового року та при технологічних змінах (заміщення менш енергоємним виробництвом, перехід на режими роботи з більшим коефіцієнтом використання потужності обладнання); V_{BBPs}^t – прогнозований обсяг ВВП при s-структурі економіки; $\Delta e_i^{\bar{0}-t}$ – зміна енергоємності валової доданої вартості (ВДВ) i-сектору економіки відносно енергоємності ВДВ базового року при s-структурі економіки; $V_{ВДВ i}^t$ – прогноз обсягів ВДВ i-сектору економіки; Δe_i^t – зниження енергоємності ВДВ i-сектору економіки за рахунок технологічних змін (модернізації, реконструкції, заміщенні іншою технологією, ін.).

Сумарний рівень прогнозного попиту енергоресурсів (E_s^t) за видами виробництв («нижній» рівень) розраховується за таким алгоритмом:

$$E_s^t = \sum_n E_n^t + E_{нас}^t + E_{cc}^t, \quad (2)$$

де n – вид продукції чи послуг за діючим класифікатором видів продукції; $\sum_n E_n^t$ – сумарне енергоспоживання за видами продукції; $E_{нас}^t$ – прогноз споживання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) населенням; E_{cc}^t – прогноз споживання ПЕР для соціальної сфери.

Прогноз енергоспоживання за видами продукції визначається за формулою:

$$\sum_n E_n^t = \sum_n b_{jn}^{\bar{0}} V_n^t - \sum_n \Delta E_n^t, \quad (3)$$

де $b_{jn}^{\bar{0}}$ – питомі витрати j-виду ПЕР на виробництво n-виду продукції чи наданих послуг у базовому році; V_n^t – обсяг випуску продукції чи послуг

у прогнозованому t-році, що приймається за оцінками експертів-економістів¹; $\sum_n \Delta E_n^t$ – сумарний прогнозний потенціал енергозбереження при виробництві n-виду продукції чи наданих послуг у t-му році [8].

Прогнозні значення питомих витрат ПЕР за видами продукції обчислюються з урахуванням світових тенденцій впровадження нових технологій та їх реальних обсягів в Україні [8].

При визначенні технічно можливого потенціалу енергозбереження в технологічних процесах враховуються такі обмеження:

– по групі взаємозамінних енергозберігаючих заходів (виключають одночасне застосування):

$$\sum_{l=1}^L Z_{l_n}^t = 1 \text{ або } 0, \quad (4)$$

де $\sum_{l=1}^L Z_{l_n}^t$ – ознака впровадження l-го енергозберігаючого заходу з множини взаємозамінних заходів у виробництві n виду продукції в t-му році;

– по гранично можливій при даному рівні розвитку технічного прогресу енергоємності виробництва продукції:

$$e_{m_{nj}}^t = e_{m_{nj}}^{\bar{0}} \left(1 - \sum_{l=1}^L f_{lm_{nj}}^t Z_{lm_{nj}}^t c_{lm_{nj}}^t \right) \geq e_{m_{nj}}^{lim}, \quad (5)$$

де $f_{lm_{nj}}^t$ – частка зниження енергоємності j-го виду енергоресурсу для m-го виду обладнання у виробництві n виду продукції внаслідок впровадження l-го заходу в t-му році; $c_{lm_{nj}}^t$ – коефіцієнт обсягу впровадження l-го енергозберігаючого заходу для m-го виду обладнання у виробництві n виду продукції в t-му році, $0 \leq c_{lm_{nj}}^t \leq 1$.

Енергоємність n виду продукції, що виробляється на m-му обладнанні у базовому році розраховується за формулою $e_{m_{nj}}^{\bar{0}} = \frac{E_{m_{nj}}^{\bar{0}}}{V_{m_n}^{\bar{0}}}$.

Для реалізації описаних вище алгоритмів створюється інформаційна база даних, яка містить відповідні показники за ретроспективний період та вихідні дані для розрахунку показників на перспективний період.

Для населення прогнозні рівні попиту ПЕР визначаються так:

$$E_{нас}^t = E_{нал}^t + E_{ел}^t + E_{тен}^t = E_{оп нас}^t + E_{звп нас}^t + E_{ос нас}^t + E_{кп нас}^t, \quad (6)$$

де $E_{нал}^t$ – споживання палива на потреби опалення, гарячого водопостачання (ГВП) та господарські потреби (ГП); $E_{ел}^t$ – споживання електроенергії на потреби опалення, ГВП, освітлення та ГП;

¹ В наших розрахунках використано дані Інституту економіки та прогнозування НАН України.

$E_{мен}^t$ – споживання теплової енергії на потреби опалення, ГВП та ГП; $E_{оп\ наc}^t$ – прогноз попиту ПЕР на опалення житлових будинків населення; $E_{звп\ наc}^t$ – прогноз попиту ПЕР на гаряче водопостачання для населення; $E_{ос\ наc}^t$ – прогнозний попит електроенергії на освітлення житлових приміщень; $E_{кп\ наc}^t$ – прогнозний попит ПЕР для приготування їжі, прання та інших побутових потреб населення.

Для обчислення потреби у ПЕР для населення доцільно використати апробовану модель прогнозування енергоспоживання в сфері житлового та комунально-побутового обслуговування населення Агеєвої Т.П. [9]. Як зазначено в [9], особливістю систем енергоспоживання у сфері житлового та комунально-побутового обслуговування населення є його значна залежність від попиту населення на послуги обслуговуючих підприємств. Демографічний фактор впливає на енергоспоживання населення через його чисельність, структуру та устрій життя людей. Також на енергоспоживання населення суттєво впливають кліматичні та регіональні умови, благоустрій міст і населених пунктів, їх забудова та інженерне обладнання самих будинків, технічний стан яких у свою чергу залежить від розвитку економіки регіону та вітчизняного машинобудування. Перелічені фактори є зовнішніми, їх вплив на споживання ПЕР населення не може контролювати. До внутрішніх факторів Агеєва Т.П. відносить особливості енерговикористання в секторах житлової та комунально-побутової сфери, обсяги і структуру послуг, рівень енергоефективності, можливість реалізації резервів економії ПЕР. Всі ці фактори у [9] розподіляються на понижуючі (енергозберігаючі, організаційні та технологічні заходи) та підвищуючі (втрати, нераціональні витрати) енергоспоживання фактори.

Для соціальної сфери, в яку нами включено види економічної діяльності, що надають різні послуги населенню, варто також застосовувати формулу (6).

Визначення окремих складових для формули (6) відповідно до їх призначення для населення та споживачів соціальної сфери розраховуються окремо для кожного виду енергоносія: палива, електричної та теплової енергії. Прогнозовані рівні попиту на паливо ($E_{пал}^t$) для здійснення господарсько-побутових потреб населенням й споживачами соціальної сфери розраховуються за алгоритмом:

$$E_{пал}^t = \sum_i a_{іпал}^{\delta} \cdot m_i \cdot \delta_{іпал}^t, \quad (7)$$

де $a_{іпал}^{\delta}$ – норма витрат теплоти палива на одиницю виміру в базовому році, приймається за даними табл. 1 згідно [10]; m_i – кількість одиниць виміру за прогнозований рік, $\delta_{іпал}^t$ – коефіцієнт, який враховує вплив енергозберігаючих заходів.

Для послуг комунально-побутового призначення, які не входять до табл. Додатку А [10], норма витрат палива розраховується за формулою:

$$a_{іпал}^t = \frac{E_{пал.к.п.}^t \cdot K_{пал.}}{m_i} = \frac{E_{пал.к.п.}^t \cdot Q_H^P}{m_i \cdot 7000}, \quad (8)$$

де $E_{пал.к.п.}^t$ – обсяг річного споживання палива на комунально-побутові потреби за рік, кг у.п.; $K_{пал.}$ – коефіцієнт переведення натурального палива в умовне (калорійний еквівалент); m_i – одиниця виміру, кількість наданих послуг за рік; Q_H^P – нижча робоча теплота згорання палива, ккал/кг (ккал/м³); 7000 – теплота згорання умовного палива, ккал/кг (ккал/м³).

Прогнозний рівень попиту на електроенергію для населення та соціальної сфери ($E_{ел}^t$) визначається так:

$$E_{ел}^t = \sum_i a_{іел.}^{\delta} \cdot m_i \cdot \delta_{іел.}^t, \quad (9)$$

де $a_{іел.}^{\delta}$ – норма витрат електроенергії на одиницю виміру господарсько-побутових потреб в базовому році, приймається за даними [10]; m_i – кількість одиниць виміру за рік.

Рівні попиту на теплову енергію $E_{мен}^t$ для системи теплопостачання визначаються за алгоритмом:

$$E_{мен}^t = \left(\sum_i^n E_{np_i}^t + \sum_l^n E_{on_l}^t + \sum_l^n E_{вент_l}^t + \sum_p^n E_{звп_p}^t + \sum_k^n E_{кп_k}^t \right) K_{вмп_i}^t, \quad (10)$$

де i – види наданих послуг; $\sum_i^n E_{np_i}^t$ – технологічні витрати теплової енергії на виробництво продукції; l – типи будівель за теплотехнічними характеристиками [10]; $\sum_l^n E_{on_l}^t$ – витрати теплової енергії на опалення будівель; $\sum_l^n E_{вент_l}^t$ – витрати теплової енергії на приточну вентиляцію приміщень будівель; p – кількість споживачів гарячої води; $\sum_p^n E_{звп_p}^t$ – витрати теплової енергії на гаряче водопостачання; k – види комунальних послуг; $\sum_k^n E_{кп_k}^t$ – витрати теплової енергії на інші комунальні потреби; $K_{вмп_i}^t$ – коефіцієнт, який враховує втрати теплової енергії при виробництві, транспортуванні та розподілі теплової енергії.

Виробництво послуг в цілому (і особливо соціальних) відрізняється від матеріального виробництва значно меншою кількістю посередників між виробником послуг і кінцевим споживачем. Виробництво багатьох видів соціальних послуг співпадає з їх споживанням [9]. Узгодження результатів «верхнього» і «нижнього» рівнів виконується за методикою [7].

Для вибору видів виробництв, які формують рівні енергоспоживання країни, було обрано 51 вид енергоємної продукції та послуг. Продукція вважалась енергоємною, якщо мала високі питомі витрати протягом 2006–2015 рр. хоча б по одному з видів енергоресурсів: паливу, теплової або електричної енергії. Для виділених 51-го виду продукції було проаналізовано обсяги споживання палива, теплової, електричної енергії та обсяги споживання ПЕР разом за 2015 р., та обчислена структура споживання відповідних видів ПЕР до сумарного

споживання по цих видах. Отримана структура дозволила скоротити обсяг видів продукції, що формують рівні споживання ПЕР до 26 видів з урахуванням як питомих витрат, так і обсягів виробництва, які в сумі складають більше 70% споживання палива та енергії.

Найбільшими споживачами палива є виробництво електроенергії (36,9%), чавуну (24,4%), теплоенергії, виробленої та відпущеної котельними (17,2%) та електростанціями (9,2%). На виробництво решти продукції було витрачено 12,3% палива.

Таблиця 1. Прогнозні обсяги випуску енергоємної продукції до 2040 р.*

| | Види продукції | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 |
|----|--|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | Електроенергія, вироблена ТЕС та ТЕЦ загального користування, млрд кВт·год | 60,9 | 54 | 65 | 98 | 125 | 155 |
| 2 | Теплоенергія, вироблена і відпущена електростанціями, тис. Гкал | 38,8 | 49,0 | 50,5 | 52,0 | 53,0 | 53,0 |
| 3 | Теплоенергія, вироблена і відпущена котельними, тис. Гкал | 54,2 | 74,0 | 60,5 | 40,0 | 35,0 | 28,0 |
| 4 | Нафта сира + газ конденсат, млн т | 2,5 | 3,4 | 3,7 | 3,9 | 4,2 | 4,2 |
| 5 | Первинна переробка нафти і газового конденсату, млн т | 2,9 | 6,8 | 10,8 | 14,3 | 15,0 | 16,0 |
| 6 | Вугілля кам'яне, млн т | 39,7 | 94,1 | 113,8 | 118,8 | 121,1 | 105,1 |
| 7 | Руди і концентрати залізни неагломеровані (крім піриту випаленого), млн т | 66,9 | 67,0 | 68,5 | 69,0 | 70,0 | 72,0 |
| 8 | Чавун переробний і дзеркальний, млн т | 21,9 | 23,0 | 25,0 | 27,0 | 30,0 | 32,0 |
| 9 | Прокат готовий чорних металів, млн т | 24,5 | 26,0 | 28,0 | 30,5 | 32,5 | 35,0 |
| 10 | Труби, трубки, профілі та ін. зі сталі, млн т | 1,0 | 1,8 | 2,0 | 2,2 | 2,5 | 2,6 |
| 11 | Кокс та напівкокс, млн т | 11,6 | 12,5 | 13,4 | 14,3 | 15,0 | 16,0 |
| 12 | Аміак, тис. т | 2640,2 | 3000 | 3400 | 3800 | 4500 | 5200 |
| 13 | Сода каустична, тис. т | 35,7 | 160,0 | 190,0 | 230,0 | 250,0 | 300,0 |
| 14 | Портландцемент, цемент глиноземний, млн т | 8,5 | 11,0 | 12,0 | 14,0 | 15,0 | 16,0 |
| 15 | Масло вершкове, тис. т | 102,0 | 120,0 | 126,0 | 127,0 | 134,0 | 141,0 |
| 16 | Діяльність трубопровідного транспорту з транспортування газу, млн м куб | 78,0 | 82,1 | 72,6 | 70,3 | 68,4 | 67,3 |
| 17 | Концентрати залізородні агломеровані, млн т | 55,2 | 47,6 | 51,7 | 55,0 | 60,0 | 64,0 |
| 18 | Руди залізни агломеровані, млн т | 10,0 | 10,2 | 10,5 | 10,8 | 11,2 | 11,5 |
| 19 | Оксид алюмінію (глинозем), млн т | 1,5 | 1,6 | 1,8 | 2,0 | 2,2 | 2,5 |
| 20 | Кисень, млрд м ³ | 2,9 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| 21 | Сечовина, млн т | 2,1 | 2,5 | 2,7 | 3,0 | 3,3 | 3,6 |
| 22 | Нітрат амонію млн т | 1,1 | 1,5 | 1,7 | 2,0 | 2,2 | 2,5 |
| 23 | Цукор тростинний чи буряковий, тис. т | 1459,0 | 2420 | 2500 | 2620 | 2760 | 2900 |
| 24 | Олія соняшникова, тис. т | 3716,0 | 4450 | 4500 | 4700 | 4935 | 4970 |
| 25 | Спирт етиловий неденатурований із вмістом спирту не менше 80об%, тис. дал | 10778 | 17245 | 22420 | 25317 | 27845 | 30800 |
| 26 | Пиво солодове, крім безалкогольного, млн дал | 201,0 | 225 | 290 | 300 | 320 | 350 |

* За оцінкою Інституту загальної енергетики НАН України [11–14].

Найбільшими споживачами теплової енергії є виробництво коксу – 37,1%, чавуну – 15,9%, аміаку – 13,9%, вугілля – 12,5%. На виробництво решти продукції витрачено 20,6% теплоенергії.

Найбільшими споживачами електроенергії є виробництво руди – 31,5%, феросплавів – 19,7%, кам'яного вугілля – 9,6%, теплоенергії, виробленої та відпущеної котельними – 4,8% та послуги транспортної інфраструктури для залізничного транспорту – 14,3%. На виробництво решти продукції витрачено 20,1% електроенергії.

В цілому лідерами по споживанню паливно-енергетичних ресурсів є виробництво електроенергії на теплових електростанціях – 30,4%, чавуну – 20,7% та теплоенергія, вироблена та відпущена котельними – 15% від споживання ПЕР.

Досліджено та оцінено обсяги економії палива, електричної та теплової енергії при впровадженні модернізації обладнання та новітніх технологій. Зокрема, враховано зниження енергоємності прокату по технологічному ланцюгу виробництва з 120,6 до 68,8 кг у.п./т (країни

ЄС), скорочення частки доменного виробництва у структурі потужностей по виплавці сталі з 40–45% до 20% (Росія), повний перехід від мартенівського методу виплавки до технологій безперервного лиття заготовок, впровадження сухого гасіння коксу; низки заходів у хімічній промисловості [11], промисловості будівельних матеріалів із переходом на сухий спосіб виробництва цементу; зниження енерговитрат при переробленні нафти [12]; заходи з енергозбереження у харчовій промисловості [13] та в енергетиці [14]. Розроблено програму в середовищі Excel, яка дозволяє обрахувати потенціал енергозбереження як різницю енергоспоживання, обчисленого для питомих витрат енергоресурсів за базовим 2015 р. та питомими витратами енергоресурсів при впровадженні енергозберігаючих заходів. Обсяги впровадження оцінені з урахуванням прогнозних обсягів випуску продукції та темпів заміщення застарілого обладнання новим або модернізованим по роках від 20% до 70% прогнозного обсягу.

Таблиця 2. Прогнозні обсяги економії палива при виробництві продукції* до 2040 р., тис. т у.п.

| | Види продукції | 2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 |
|----|---|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | Електроенергія, вироблена ТЕС та ТЕЦ загального користування, млрд кВт·год | 1309,41 | 1611,58 | 3946,46 | 5150,18 | 6777,58 |
| 2 | Теплоенергія, вироблена і відпущена електростанціями, тис. Гкал | 181,3 | 333,3 | 468 | 530 | 636 |
| 3 | Теплоенергія, вироблена і відпущена котельними, тис. Гкал | 155,4 | 399,3 | 360 | 350 | 336 |
| 4 | Нафта сира + газ конденсат, млн т | 1,71 | 2,92 | 4,19 | 5,72 | 6,02 |
| 5 | Первинна переробка нафти і газового конденсату, млн т | 28,56 | 90,72 | 178,75 | 250,50 | 334,40 |
| 8 | Чавун переробний і дзеркальний, млн т | 416,0 | 952,5 | 1487,7 | 2133,0 | 2819,2 |
| 9 | Прокат готовий чорних металів, млн т | 78,0 | 168,0 | 323,3 | 669,5 | 896,0 |
| 10 | Труби, трубки, профілі та ін. зі сталі, млн т | 6,7 | 14,6 | 25,3 | 41,3 | 53,3 |
| 11 | Кокс та напівкокс, млн т | 43,7 | 84,4 | 137,3 | 193,5 | 254,4 |
| 12 | Аміак, тис. т | 88,6 | 230,4 | 396,9 | 628,5 | 902,1 |
| 14 | Портландцемент, цемент глиноземний, млн т | 55,3 | 138,5 | 249,0 | 356,7 | 472,6 |
| 15 | Масло вершкове, тис. т | 0,6 | 2,3 | 4 | 5,9 | 7,8 |
| 16 | Діяльність газопровідного транспорту з транспортування газу, млн м ³ | 40,9 | 82,9 | 123,8 | 161,0 | 196,8 |
| 17 | Концентрати залізородні агломеровані, млн т | 33,3 | 77,55 | 115,5 | 162,0 | 204,8 |
| 18 | Руди залізні агломеровані, млн т | 3,06 | 6,12 | 10,5 | 15,7 | 20,7 |
| 19 | Оксид алюмінію (глинозем), млн т | 2,48 | 6,20 | 10,1 | 13,4 | 19,0 |
| 24 | Олія соняшникова, тис. т | 28,1 | 34,0 | 41,8 | 50,0 | 56,5 |
| 26 | Пиво солодове, крім безалкогольного, млн дал | 6,9 | 10,7 | 13,0 | 15,8 | 19,4 |
| | РАЗОМ | 2480 | 4246 | 7896 | 10733 | 14013 |

*Пропущені позиції продукції не мають споживання цього виду енергоресурсу.

Таблиця 3. Прогнозні обсяги економії електроенергії при виробництві продукції* до 2040 р., млн кВт·год

| | Види продукції | 2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 |
|----|--|--------|--------|--------|--------|-------|
| 1 | Електроенергія, вироблена ТЕС та ТЕЦ загального користування, млрд кВт·год | 0,54 | 1,26 | 2,88 | 4,89 | 7,59 |
| 4 | Нафта сира + газ конденсат, млн т | 21,7 | 39,4 | 58,2 | 76,0 | 80,5 |
| 5 | Первинна переробка нафти і газового конденсату, млн т | 38,8 | 122,0 | 243,1 | 339,0 | 452,8 |
| 6 | Вугілля кам'яне, млн т | 186,1 | 372,1 | 558,1 | 744,1 | 930,1 |
| 7 | Руди і концентрати залізні неагломеровані (крім піриту випаленого), млн т | 53,6 | 109,6 | 138,0 | 168,0 | 194,4 |
| 8 | Чавун переробний і дзеркальний, млн т | 9,2 | 17,5 | 29,7 | 48,0 | 60,8 |
| 9 | Прокат готовий чорних металів, млн т | 59,8 | 128,8 | 210,5 | 305,5 | 381,5 |
| 10 | Труби, трубки, профілі та ін. зі сталі, млн т | 9,7 | 23,6 | 39,6 | 63,5 | 84,2 |
| 11 | Кокс та напівкокс, млн т | 15,0 | 32,2 | 54,3 | 78,0 | 115,2 |
| 12 | Аміак, тис. т | 23,5 | 61,0 | 105,1 | 166,4 | 238,9 |
| 13 | Сода каустична, тис. т | 20,5 | 55,9 | 104,4 | 151,7 | 226,1 |
| 14 | Портландцемент, цемент глиноземний, млн т | 52,8 | 132,2 | 237,7 | 340,5 | 451,2 |
| 15 | Масло вершкове, тис. т | 1220,4 | 2163,4 | 2879,1 | 3774,8 | 5100 |
| 16 | Діяльність трубопровідного транспорту з транспортування газу, млн м ³ | 8,1 | 16,5 | 24,6 | 32,0 | 39,1 |
| 17 | Концентрати залізородні агломеровані, млн т | 14,3 | 31,0 | 60,5 | 96,0 | 134,4 |
| 18 | Руди залізні агломеровані, млн т | 5,10 | 10,2 | 15,75 | 21,3 | 25,3 |
| 19 | Оксид алюмінію (глинозем), млн т | 8,64 | 18,8 | 26,8 | 36,1 | 53,5 |
| 20 | Кисень, млрд м ³ | 14,5 | 28,2 | 46,3 | 55,0 | 62,9 |
| 21 | Сечовина, млн т | 75,7 | 161,4 | 265,7 | 384,9 | 518,4 |
| 22 | Нітрат амонію млн т | 11,2 | 25,1 | 43,8 | 63,4 | 88,9 |
| 23 | Цукор тростинний чи буряковий, тис т | 22,0 | 27,3 | 33,3 | 40,0 | 47,3 |
| 24 | Олія соняшникова, тис. т | 27,1 | 32,9 | 40,4 | 48,4 | 54,7 |
| 25 | Спирт етиловий неденатурований із вмістом спирту не менше 80об%, тис. дал | 1,9 | 2,9 | 3,8 | 4,7 | 5,9 |
| 26 | Пиво солодове, крім безалкогольного, млн дал | 7,9 | 12,4 | 14,9 | 18,1 | 22,3 |
| | РАЗОМ | 1967 | 3723 | 5440 | 7356 | 9749 |

*Пропущені позиції продукції не мають економії цього виду енергоресурсу.

Таблиця 4. Прогнозні обсяги економії теплової енергії при виробництві продукції* до 2040 р., тис. Гкал

| | Види продукції | 2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 |
|----|--|-------|---------|---------|---------|---------|
| 4 | Нафта сира + газ конденсат, млн т | 6,9 | 11,7 | 16,9 | 23,0 | 24,2 |
| 5 | Первинна переробка нафти і газового конденсату, млн т | 157,1 | 499,0 | 992,4 | 1387,5 | 1849,6 |
| 6 | Вугілля кам'яне, млн т | 10,3 | 20,5 | 30,8 | 41,1 | 51,4 |
| 8 | Чавун переробний і дзеркальний, млн т | 27,6 | 70,0 | 129,6 | 204,0 | 313,6 |
| 9 | Прокат готовий чорних металів, млн т | 15,6 | 28,0 | 42,7 | 58,5 | 70,0 |
| 10 | Труби, трубки, профілі та ін. зі сталі, млн т | 7,6 | 18,4 | 31,2 | 48,0 | 57,7 |
| 11 | Кокс та напівкокс, млн т | 112,5 | 207,7 | 314,6 | 405,0 | 552,0 |
| 12 | Аміак, тис. т | 47,8 | 124,2 | 213,9 | 338,8 | 486,2 |
| 13 | Сода каустична, тис. т | 17,5 | 47,7 | 89,0 | 129,4 | 192,9 |
| 15 | Масло вершкове, тис. т | 8772 | 17967,6 | 26504,9 | 36367,6 | 46685,1 |
| 16 | Діяльність трубопровідного транспорту з транспортування газу, млн м ³ | 4,7 | 9,5 | 14,2 | 18,4 | 22,5 |

Продовження табл. 4

| | Види продукції | 2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 |
|----|--|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 17 | Концентрати залізорудні агломеровані, млн т | 0,9 | 2,1 | 3,3 | 4,8 | 6,4 |
| 19 | Оксид алюмінію (глинозем), млн т | 9,18 | 21,2 | 29,2 | 40,9 | 56,5 |
| 20 | Кисень, млрд м ³ | 2,6 | 5,4 | 8,1 | 10,8 | 14,4 |
| 21 | Сечовина, млн т | 22,2 | 47,4 | 78,1 | 113,1 | 152,3 |
| 22 | Нітраг амонію млн т | 1,5 | 3,4 | 5,9 | 8,5 | 11,9 |
| 23 | Цукор тростинний чи буряковий, тис т | 166,7 | 204,3 | 214,1 | 304,2 | 399,3 |
| 24 | Олія соняшникова, тис. т | 104,3 | 126,5 | 154,2 | 185,1 | 209,6 |
| 25 | Спирт етиловий неденатурований із вмістом спирту не менше 80 об%, тис. дал | 34,5 | 53,8 | 70,9 | 89,1 | 110,9 |
| 26 | Пиво солодове, крім безалкогольного, млн дал | 17,0 | 26,3 | 31,7 | 38,6 | 47,5 |
| | РАЗОМ | 9539 | 19495 | 28976 | 39817 | 51315 |

*Пропущені позиції продукції не мають споживання цього виду енергоресурсу.

Таблиця 5. Прогнозні рівні попиту на енергоресурси до 2040 р.

| Показники | паливо, млн т ул. | теплоенергія, млн Гкал | електроенергія, млрд кВт·год | паливо, млн т ул. | теплоенергія, млн Гкал | електроенергія, млрд кВт·год | паливо, млн т ул. | теплоенергія, млн Гкал | електроенергія, млрд кВт·год |
|--|----------------------|---------------------------|---------------------------------|----------------------|---------------------------|---------------------------------|----------------------|---------------------------|---------------------------------|
| | 2015 | | | 2020 | | | 2025 | | |
| 1. Прогноз споживання ПЕР за 26-ма видами продукції – разом | 64,2 | 24,4 | 33,5 | 64,0 | 32,3 | 39,3 | 73,9 | 37,8 | 39,3 |
| 2. Споживання населенням | 19,1 | 160,8 | 36,5 | 15,9 | 170,0 | 31,9 | 14,9 | 180,9 | 34,2 |
| 3. Інші послуги | 2,37 | 12,6 | 6,7 | 2,99 | 15 | 7,8 | 4 | 18,8 | 9,3 |
| Разом п.1–3 | 85,7 | 197,8 | 76,7 | 82,9 | 217,3 | 79,0 | 92,8 | 237,5 | 82,9 |
| Всього по країні | 108,3 | 213 | 118,7 | 110 | 227,5 | 123,8 | 120,9 | 246,4 | 143,1 |
| % разом до всього по країні | 0,79 | 0,93 | 0,65 | 0,75 | 0,95 | 0,64 | 0,77 | 0,96 | 0,58 |
| різниця – інше виробниче споживання (не враховане на нижньому рівні) | 22,6 | 15,2 | 42,0 | 27,1 | 10,2 | 44,8 | 28,0 | 8,9 | 60,2 |
| | 2030 | | | 2035 | | | 2040 | | |
| 1. Прогноз споживання ПЕР за 26-ма видами продукції – разом | 86,2 | 41,2 | 41,9 | 99,3 | 44,2 | 44,5 | 112,2 | 46,7 | 44,4 |
| 2. Споживання населенням | 14,0 | 181,5 | 43,2 | 13,8 | 197,2 | 46,8 | 13,65 | 208,6 | 50,1 |
| 3. Інші послуги | 5,17 | 23,6 | 11,6 | 6,35 | 28,6 | 14,4 | 6,98 | 31,6 | 16,3 |
| Разом п.1–3 | 105,3 | 246,3 | 96,7 | 119,4 | 270,0 | 105,8 | 132,9 | 286,9 | 110,8 |
| Всього по країні | 136,52 | 257,9 | 167,9 | 156,12 | 286,3 | 194,4 | 171,35 | 306,7 | 215,8 |
| % разом до всього по країні | 0,77 | 0,96 | 0,58 | 0,76 | 0,94 | 0,54 | 0,78 | 0,94 | 0,51 |
| різниця – інше виробниче споживання (не враховане на нижньому рівні) | 31,2 | 11,6 | 71,1 | 36,7 | 16,3 | 88,6 | 38,5 | 19,8 | 105,0 |

ВИСНОВКИ

Для формування рівнів енергоспоживання країни за видами виробництв з 51 виду енергоємної продукції (за високими питомими витратами протягом 2006–2015 рр. хоча б по одному з видів енергоресурсів) було проаналізовано та виділено

26 видів продукції з урахуванням як питомих витрат, так і обсягів виробництва, які сумарно склали більше 70% споживання енергоресурсів. Результати обчислення показали, що прогнозування за видами продукції, населенням та іншими послугами найкраще всього збігається із прогно-

зуванням по країні для теплової енергії (різниця складає 4–7%). Допустимо збігаються прогнозні рівні споживання палива – різниця складає 8,9–19,8%, а прогноз споживання електричної енергії відрізняється на «верхньому» та «нижньому» рівнях на 35–49%, що потребує уточнення вихідних даних по групах споживачів. Можливо статистичні спостереження не охоплюють достатню кількість споживачів електроенергії або ці дані для окремих груп споживачів занижені. Прогнозування електричної енергії нормативним методом за енергоємністю ВДВ давало розходження до 20% [7], тобто для цього виду енергоресурсу нормативний метод є більш релевантним. Для теплової енергії навпаки, метод прямого рахунку кращий, бо дає менше розходження двох рівнів завдяки більш детальному розрахунку витрат за нормативами. З даного дослідження випливає висновок щодо необхідності комбінування кількох методів при прогнозуванні енергоспоживання для різних видів енергоресурсів.

1. Пириашвили Б.З., Ворончук М.М., Галиновський Е.И. Имитационное моделирование в энергетике; под ред. Б.М. Данилишина. К.: Наук. думка, 2008. 303 с.
2. Костюковський Б.А., Максимець Е.А., Спітківський А.І., Сас Д.П., Парасюк М.В. Формування узгоджених прогнозів розвитку економіки та енергетики з використанням оптимізаційних моделей. *Проблеми загальної енергетики*. 2008. Вип. 1(18). С. 21–23.
3. Мартинюк О.В., Черненко П.О. Підвищення точності моделювання трендової та сезонної складових при середньостроковому прогнозуванні споживаної електроенергії енергооб'єднання. *Проблеми загальної енергетики*. 2012. Вип. 1(28). С. 35–41.
4. Сас Д.П. Прогнозування попиту на електричну енергію за допомогою методу UP-DOWN. *Проблеми загальної енергетики*. 2013. Вип. 3(34). С. 11–16.
5. 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).
6. 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://visnykku.com.ua/wp-content/uploads/file/42/11.pdf> (дата звернення: 10.01.2019).
7. Кулик М.М., Малярєнко О.Є., Майстрєнко 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>.
8. Малярєнко О.Є., Майстрєнко Н.Ю., Станиціна В.В. Обґрунтування прогнозних обсягів потенціалу енергозбереження в укрупнених секторах економіки з урахуванням технологічних і структурних зрушень. *Проблеми загальної енергетики*. 2016. Вип. 4(47). С. 58–67. <https://doi.org/10.15407/pge2016.04.058>.
9. Агєєва 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. 20 с.
10. Посібник та доповнення до КТМ 204 України 244-94 Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні. 2001. 84 с.
11. Станиціна В.В. Прогнозна потреба у паливно-енергетичних ресурсах у виробництві деяких видів енергоємної хімічної продукції. *Проблеми загальної енергетики*. 2018. Вип. 2(53). С. 21–27. <https://doi.org/10.15407/pge2018.02.021>.
12. Гнедой Н.В., Малярєнко Е.Е. Энергоэффективность и определение потенциала энергосбережения в нефтепереработке. К.: Наук. думка, 2008. 182 с.
13. Майстрєнко Н.Ю. Прогнозування попиту на паливно-енергетичні ресурси у енергоємних виробництвах харчової промисловості з урахуванням потенціалу енергозбереження. *Проблеми загальної енергетики*. 2018. Вип. 4(55). С. 11–16. <https://doi.org/10.15407/pge2018.04.011>.
14. Кулик М.М., Горбулін В.П., Кириленко О.В. Концептуальні підходи до розвитку енергетики України (аналітичні матеріали). К.: Інститут загальної енергетики НАН України, 2017. 78 с.

Надійшла до редколегії: 13.05.2019