

# НАУКОВІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ БАЛАНСІВ

УДК 620.662.3

О.Є. МАЛЯРЕНКО, канд. техн. наук, Т.О. ЄВТУХОВА, Н.Ю. МАЙСТРЕНКО,  
Інститут загальної енергетики НАН України, м. Київ

## ПРОГНОЗУВАННЯ ЗМІН КІНЦЕВОГО СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ З УРАХУВАННЯМ СТРУКТУРНИХ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗРУШЕНЬ В ЕКОНОМІЦІ КРАЇНИ

*Запропонована методика розрахунку рівнів кінцевого споживання паливно-енергетичних ресурсів з урахуванням структурних та технологічних зрушень в економіці України в цілому та за її секціями (ВЕД). Визначено потенціал енергозбереження в економіці країни та в її складових по найбільш енергоємних видах економічної діяльності.*

*Ключові слова:* кінцеве споживання енергетичних ресурсів, структурні та технологічні зрушення в економіці, потенціал енергозбереження.

Розрахунок прогнозного енергетичного балансу країни за видами економічної діяльності виконується методом «знизу-вгору». Тобто сума споживання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) за видами економічної діяльності (ВЕД) дорівнює даним на національному рівні.

За даним форматом балансу математичне рівняння записується так:

$$P_{kc} \pm P_{en.c} + P_{nep} + P_{nu} + P_{vtr} = P_{vc} \quad (1)$$

де  $P_{kc}$  – обсяги кінцевого споживання палива і енергії на національному рівні, ТДж;  $P_{en.c}$  – обсяги споживання палива і енергії енергетичним сектором на здійснення технологічних процесів перетворення, ТДж;  $P_{nep}$  – обсяг надходження і виходу палива і енергії в секторі перетворення, ТДж;  $P_{nu}$  – обсяги витрат палива на неенергетичні цілі, ТДж;  $P_{vtr}$  – обсяги втрат палива і енергії при виробництві, транспортуванні, зберіганні, розподілу та з інших обставин, ТДж;  $P_{vc}$  – обсяги валового споживання палива і енергії, ТДж.

© О.Є. МАЛЯРЕНКО, Т.О. ЄВТУХОВА, Н.Ю. МАЙСТРЕНКО,  
2013

Формування прогнозного паливно-енергетичного балансу (ПЕБ) потрібно починати з розділу «Кінцеве споживання», який включає прогнозні потреби у паливно-енергетичних ресурсах за видами економічної діяльності, за якими формується статистична звітність з енергоспоживання. Прогнозні рівні кінцевого споживання ПЕР (енергія, що безпосередньо використана кінцевими споживачами – технологічним устаткуванням підприємств, транспортними засобами, населенням) доцільно обчислювати за окремими видами енергоресурсів: паливо –  $B'_{kc}$ , тепла –  $Q'_{kc}$  і електрична енергія –  $W'_{kc}$ , виражених в умовному паливі через коефіцієнти переведення  $k_t$  і  $k_{el}$ . Алгоритми для визначення рівнів кінцевого споживання ( $P'_{kc} = B'_{kc} + k_t \times Q'_{kc} + k_{el} \times W'_{kc}$ )

для кожного виду енергії на прогнозований період можна записати так:

$$P'_{kc_i} = e_{ВДВ_i} \cdot V_{ВДВ_i}, \text{ ТДж/рік}, \quad (2)$$

де  $e_{ВДВ_i}$  – енергоємність валової доданої вартості  $i$ -го виду економічної діяльності, ТДж/рік;

$V_{ВДВ_i}$  – обсяг валової доданої вартості  $i$ -го виду економічної діяльності, грн/рік.

Прогнозні значення енергоемності ВДВ на короткострокову перспективу можна очікувати з урахуванням тенденцій їх зміни за ретроспективний період (наприклад 5 років), що вже відбуваються в секторах економіки. Визначення ж на період 11–20 років вимагає сценарного підходу, що враховує стратегічний розвиток економіки країни.

Нами була запропонована така розрахункова формула визначення прогнозованої енергоемності кінцевого споживання ПЕР за ВЕД:

$$e'_{ij} = (e^{\bar{\sigma}}_{isj} - \Delta e^{\bar{\sigma}-t}_{isj}) - \Delta e^{\bar{\sigma}-t}_{техн}, \quad (3)$$

де  $(e^{\bar{\sigma}}_{isj} - e^{\bar{\sigma}-t}_{isj})$  – прогнозна енергоемність ВДВ за  $i$ -м ВЕД у  $t$ -му році, що визначається як різниця енергоемності ВДВ  $j$ -го виду енергоресурсу базового року та зниження енергоемності ВДВ за рахунок зміни структури економіки по секторах за ВЕД;

$\Delta e^{\bar{\sigma}-t}_{техн} = (e^{\bar{\sigma}^{техн}}_{ij} - e^{\bar{\sigma}^{техн}-t}_{ij})$  – зниження енергоемності ВДВ за рахунок технологічного фактора енергозбереження в  $i$ -му секторі ВЕД у  $t$ -му році; визначається як різниця між енергоемністю виробництва за ВЕД в Україні та технологічно передових країнах світу (розраховується з енергетичних балансів, представлених МЕА, та економічних показників валової доданої вартості вибраних країн).

При прогнозуванні енергоемності ВДВ  $i$ -го ВЕД приймається, що величина  $e^{\bar{\sigma}^{зартб}}_{ij}$  буде відповідати цьому значенню у  $t$ -му році прогнозного періоду:  $e^{\bar{\sigma}^{зартб}}_{ij} = e^t_{ij}$ . Проміжні значення енергоемності, що відповідають періодам  $t - 1$ ,  $t - 2, \dots, t - n$ , визначаються за залежністю:  $e^t_{ij} = e^{\bar{\sigma}}_{ij} \times (1 + \alpha)^t$ , де  $\alpha$  – темпи зміни показника енергоемності ВДВ відносно базового року, які визначаються як середньозважена величина.

На величину енергоемності ВДВ має вплив коефіцієнт завантаження технологічного обладнання, при зниженні якого енергоемність зростає. Врахувати вплив цього показника можна за такою формулою:

$$\Delta e^{\bar{\sigma}-t}_{техн} = \sum_k^{k \in I} a^{\bar{\sigma}}_{kij} \times e^{\bar{\sigma}}_{kij} - a^t_{kij} \times e^t_{kij}, \quad (4)$$

де  $a^{\bar{\sigma}}_{kij}$ ,  $a^t_{kij}$  – усереднений коефіцієнт завантаження технологічного обладнання по  $k$ -му виду продукції за  $i$ -м ВЕД у базовому та прогнозованому роках.

Зниження енергоемності ВДВ за рахунок зміни структури сектору економіки (внутрішньосекторних структурних зрушень) визначається за формулою

$$\Delta e^{\bar{\sigma}-t}_{isj} = \sum_k^{k=1} \sum_{j=1}^{j=3} e_{ksj} \times \Delta r^{\bar{\sigma}-t}_{ksj}, \quad (5)$$

де  $k$  – вид виробництва продукції (послуг) за класифікатором видів економічної діяльності, що входить до сектору  $i$ ;  $e^{\bar{\sigma}}_{ksj}$  – енергоемність  $k$ -го виду продукції за  $j$ -м енергоресурсом при  $s$ -й структурі  $i$ -го сектору економіки у базовому році;  $\Delta r^{\bar{\sigma}-t}_{ksj}$  – зміна частки виду продукції у секторі економіки.

Аналогічно обчислюється зниження енергоемності ВДВ за рахунок міжсекторних структурних зрушень.

Окремим рядком у розділі «Кінцеве споживання» сектору «Послуги» (секції Р «Діяльність домашніх господарств») виділено «Послуги населення».

Оскільки категорія «населення» не має валової доданої вартості (не виробляє додану вартість), то прогноз споживання палива населенням визначається залежністю:

$$P^t_{b_{нас}} = b^t_{нас} \cdot V^t_{нас} = b^{\bar{\sigma}}_{нас} \cdot V^t_{нас} - \Delta P^t_{b_{нас}}, \quad (6)$$

де  $b^t_{нас}$ ,  $b^{\bar{\sigma}}_{нас}$  – питомі витрати палива на одну особу населення у прогнозованому та базовому роках;

$V^t_{нас}$  – прогноз чисельності населення, визначається фахівцями з демографії;

$\Delta P^t_{b_{нас}}$  – потенціал економії палива населенням у прогнозованому періоді.

Аналогічно розраховується прогнозне споживання теплової і електричної енергії.

Прогнозні показники питомих витрат на душу населення на подальшу перспективу доцільно корегувати із європейськими нормами.

Розрахунки сценарних варіантів кінцевого споживання виконано для двох структур економіки: за діючою та Оновленою енергетичною стратегією України до 2030 року та з урахуванням технологічного потенціалу енергозбереження, наведеного у діючій енергетичній стратегії, та перерахованого відносно показників енергоефективності 2010 року: перший сценарій – зростання матеріальної сфери зі скороченням енергоемних видів переробної промисловості до рівня власного споживання; другий – зростання сфери послуг з незмінною структурою переробної промисловості.

Потенціал енергозбереження оцінювався по обсягу можливого впровадження набору енергозберігаючих заходів, які, в першу чергу, включали економію ПЕР від модернізації або реконструкції технологічного та енергетичного устаткування. Оцінений потенціал енергозбереження було скореговано по окремих ВЕД для двох сценаріїв прогнозу ВДВ за двома варіантами прогнозної структури: перший варіант – за сценарієм, розробленим за методологією, описаною у [1]; другий – за формулою:  $P_{пал_i}^t = e^{\beta_{пал_i}} \cdot ВДВ_{s_i}^t - \Delta E_{пал_i}^t$ ; після чого визначалась прогнозна паливоємність (теплоємність, електроємність) ВДВ:  $e_{пал_i}^t = \frac{P_{пал_i}^t}{ВДВ_{s_i}^t}$ ,

і по прогнозних обсягах ВДВ визначався прогноз палива (теплової, електричної енергії) (табл. 1).

Визначений в Оновленій енергетичній стратегії потенціал енергозбереження (ПЕЗ) за видами економічної діяльності було враховано при прогнозуванні рівнів споживання палива повністю за такими ВЕД: сільське господарст-

во, добувна промисловість, виробництво електроенергії, будівництво, або частково за такими ВЕД: переробна промисловість – 52%, діяльність транспорту – 23%, інші споживачі за ВЕД – 56%. У споживанні палива населенням ПЕЗ було враховано повністю (рис. 1).

При впровадженні цього потенціалу енергозбереження будуть досягнуті показники енергоефективності, які наведені в табл. 2.

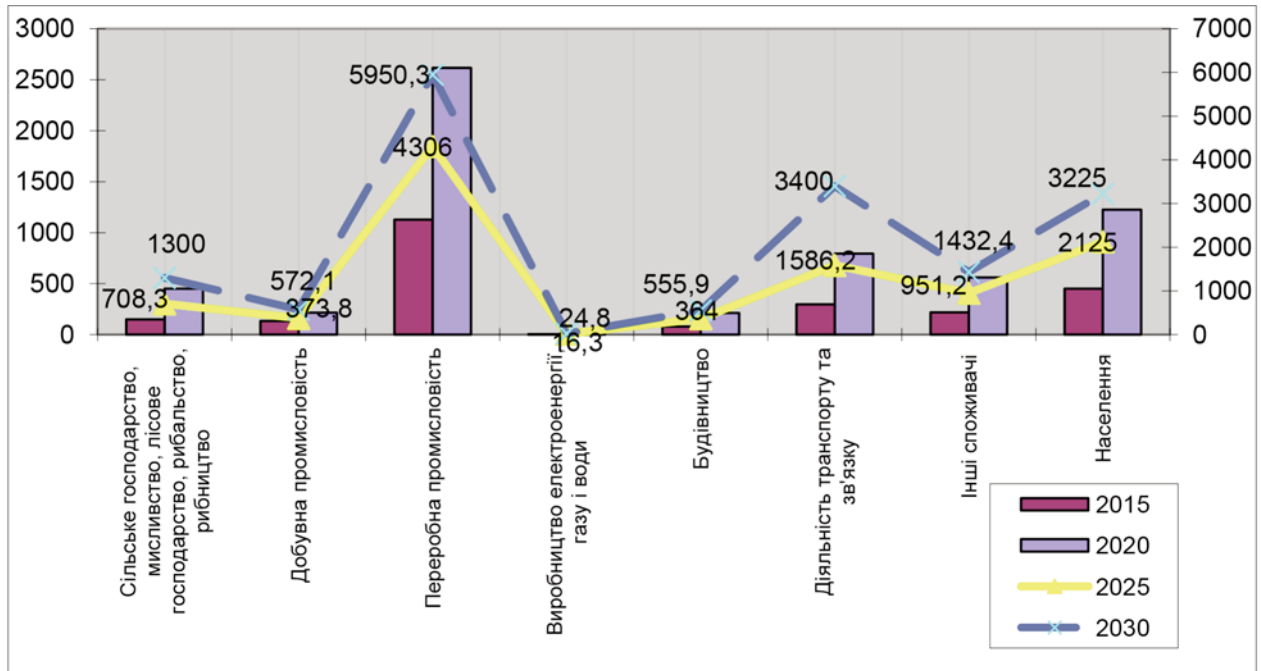
Досягнення цих же показників енергоефективності, див. табл. 2, при структурі ВДВ за сценарієм Оновленої стратегії (табл. 1) дозволить досягти економії палива у сільському господарстві – 12,6%, у діяльності транспорту – 22,9%, по решті ВЕД і населенню таких самих відсотків, як і в варіанті по сценарію І.

Прогноз кінцевого споживання, розрахованого за показниками енергетичної ефективності (табл. 2) та прогнозом ВДВ за сценарієм Оновленої стратегії (рис. 1), наведено у табл. 3.

Рівень кінцевого споживання за першим сценарієм досягне 94,1 млн т у.п., а другим – 95,9 млн т у.п., тобто сценарій структури ВДВ за

Таблиця 1 – Прогноз валової доданої вартості у цінах 2007 р. за сценаріями І та ІІ, млн грн

| Вид економічної діяльності  | 2010   | 2015   |        | 2020    |         | 2025    |         | 2030    |         |
|---|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|   |        | I      | II     | I       | II      | I       | II      | I       | II      |
| Сільське господарство, мисливство, лісове господарство, рибальство, рибництво | 53797  | 76540  | 70514  | 113362  | 95370   | 166245  | 126713  | 218783  | 161709  |
| Добувна промисловість   | 30386  | 50484  | 47227  | 62401   | 52001   | 69378   | 56288   | 79269   | 55488   |
| Переробна промисловість   | 117541 | 132723 | 130280 | 153923  | 152363  | 168863  | 174099  | 174392  | 190246  |
| Виробництво електроенергії, газу і води                                       | 22066  | 32570  | 31756  | 45761   | 42641   | 62833   | 56288   | 77684   | 71342   |
| Будівництво   | 12555  | 33384  | 33384  | 50961   | 50961   | 68069   | 68069   | 87196   | 87196   |
| Діяльність транспорту   | 72414  | 96896  | 113995 | 128962  | 159123  | 170172  | 218606  | 212441  | 285369  |
| Інші споживачі  | 273312 | 391655 | 387095 | 484649  | 487561  | 603457  | 608955  | 735617  | 734031  |
| Разом ВДВ   | 582071 | 814251 | 814251 | 1040020 | 1040020 | 1309018 | 1309018 | 1585381 | 1585381 |
| Населення, млн чол.   | 45,8   | 44,1   |        | 42,4    |         | 40,7    |         | 39      |         |



**Рис.1.** Економічно доцільний потенціал енергозбереження від економії палива за рахунок технологічного фактора відносно 2010 року, тис. т у.п.

I-м варіантом є більш ефективним з точки зору споживання палива. Досягнення однакових показників паливоємності ВДВ буде потребувати за II-м сценарієм більшої на 1,7 млн т у.п. кількості палива.

Прогнозні рівні кінцевого споживання електричної енергії були розраховані за тим самим алгоритмом, як і рівні палива. Прогнозні структури ВДВ надані у табл. 1. Економічно доцільний потенціал енергозбереження за рахунок економії електричної енергії показано на рис. 2.

При впровадженні цього потенціалу елек-

трозбереження будуть досягнуті показники електроефективності, які наведені у табл. 4.

Можливий потенціал економії теплової енергії наведено у табл. 5, а розрахунок прогнозної теплоємності наведено в табл. 6.

Потенціал енергозбереження як резерв економії паливно-енергетичних ресурсів включає потенціал енергозбереження за рахунок технічної та структурної складової. Технічна складова містить в собі потенціал енергозбереження в секторах економіки та міжсекторний потенціал енергозбереження. Структурна складова вклю-

**Таблиця 2 – Прогнозна паливоємність кінцевого споживання, кг у.п./грн**

| Вид економічної діяльності  | 2010   | 2015   | 2020   | 2025   | 2030   |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| Сільське господарство, мисливство, лісове господарство, рибальство, рибництво | 0,044  | 0,042  | 0,040  | 0,040  | 0,038  |
| Добувна промисловість   | 0,069  | 0,066  | 0,065  | 0,063  | 0,062  |
| Переробна промисловість   | 0,234  | 0,226  | 0,217  | 0,209  | 0,200  |
| Виробництво електроенергії, газу і води                                       | 0,0403 | 0,0402 | 0,0401 | 0,0401 | 0,0400 |
| Будівництво   | 0,049  | 0,047  | 0,045  | 0,044  | 0,043  |
| Діяльність транспорту та зв'язку  | 0,070  | 0,066  | 0,062  | 0,058  | 0,054  |
| Інші споживачі  | 0,007  | 0,0064 | 0,0058 | 0,0054 | 0,0050 |
| Населення, кг у.п./1 люд.   | 0,660  | 0,650  | 0,631  | 0,608  | 0,578  |

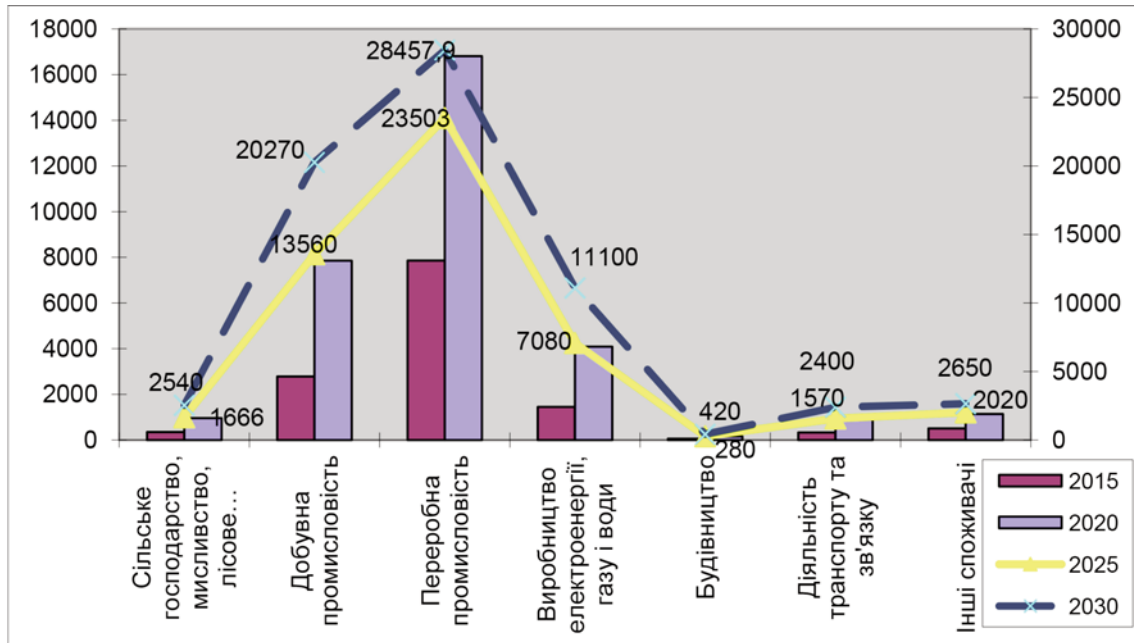


Рис. 2. Економічно доцільний потенціал економії електроенергії за рахунок технологічного фактора, млн кВт·год

Таблиця 3 – Прогноз кінцевого споживання палива за сценарієм ВДВ, розробленим за Оновленою стратегією, тис. т у.п.

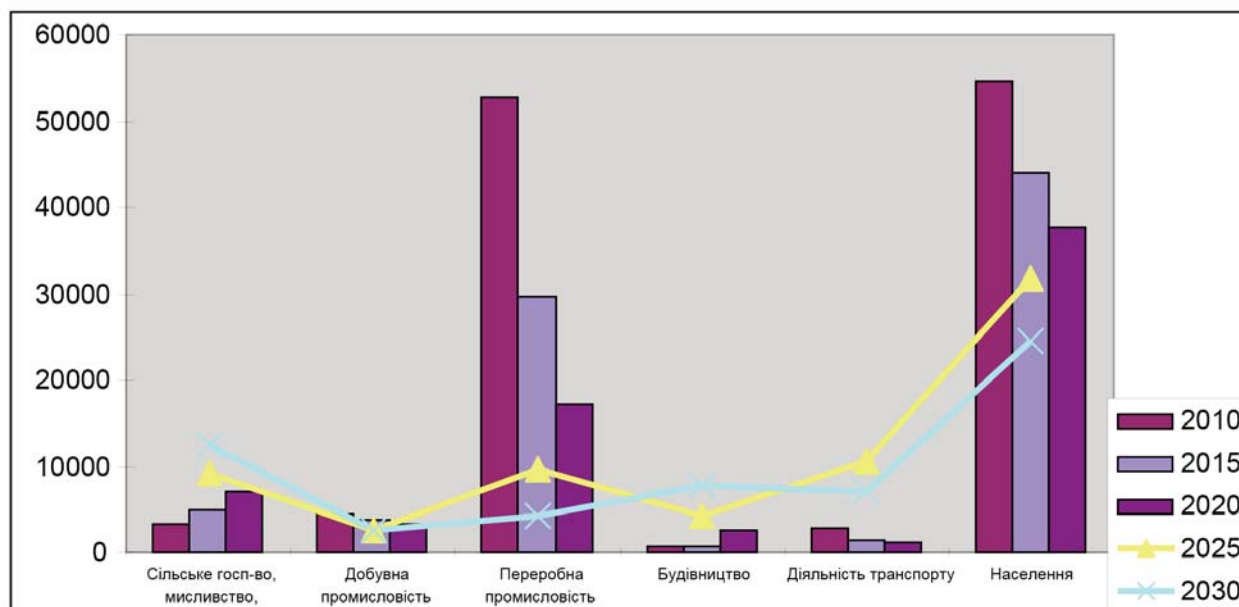
| Вид економічної діяльності  | 2010   | 2015  | 2020   | 2025   | 2030   |
|---|--------|-------|--------|--------|--------|
| Сільське господарство, мисливство, лісове господарство, рибальство, рибництво | 2389,5 | 2994  | 3857   | 5088   | 6222   |
| по паливоємності 2010 р.  | 2389,5 | 3103  | 4196   | 5575   | 7115   |
| Добувна промисловість   | 2090   | 3123  | 3397   | 3568   | 3416   |
| по паливоємності 2010 р.  | 2090   | 3248  | 3577   | 3871   | 3816   |
| Переробна промисловість   | 27519  | 29394 | 33081  | 36321  | 38049  |
| по паливоємності 2010 р.  | 27519  | 30501 | 35671  | 40760  | 44540  |
| Виробництво електроенергії, газу і води                                       | 890    | 1277  | 1711   | 2255   | 2854   |
| по паливоємності 2010 р.  | 890    | 1280  | 1719   | 2270   | 2877   |
| Будівництво   | 617    | 1562  | 2293   | 2982   | 3731   |
| по паливоємності 2010 р.  | 617    | 1641  | 2505   | 3346   | 4287   |
| Діяльність транспорту та зв'язку  | 5073   | 7519  | 9843   | 12626  | 15410  |
| по паливоємності 2010 р.  | 5073   | 7986  | 11147  | 15315  | 19992  |
| Інші споживачі  | 1896   | 2470  | 2820   | 3265   | 3664   |
| по паливоємності 2010 р.  | 1896   | 2686  | 3383   | 4225   | 5093   |
| Населення   | 30244  | 28671 | 26774  | 24751  | 22528  |
| по паливоємності 2010 р.  | 30244  | 29106 | 27984  | 26862  | 25740  |
| Разом за ВЕД  | 70718  | 77009 | 83776  | 90856  | 95873  |
| по паливоємності 2010 р.  | 70718  | 98927 | 126356 | 159038 | 192614 |

**Таблиця 4 – Прогнозна електроємність кінцевого споживання, кВт·год/грн**

| Вид економічної діяльності   | 2010  | 2015  | 2020  | 2025  | 2030  |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| Сільське господарство, мисливство, лісове господарство, рибальство | 0,061 | 0,056 | 0,053 | 0,051 | 0,049 |
| Добувна промисловість  | 0,596 | 0,54  | 0,47  | 0,40  | 0,34  |
| Переробна промисловість  | 0,449 | 0,39  | 0,34  | 0,31  | 0,286 |
| Виробництво електроенергії, газу і води                            | 1,007 | 0,96  | 0,92  | 0,89  | 0,86  |
| Будівництво  | 0,094 | 0,092 | 0,091 | 0,090 | 0,089 |
| Діяльність транспорту та зв'язку                                   | 0,143 | 0,14  | 0,14  | 0,13  | 0,13  |
| Інші споживачі   | 0,067 | 0,066 | 0,065 | 0,064 | 0,063 |
| Населення, кВт·год/1 люд.  | 805,7 | 1000  | 1220  | 1470  | 1790  |

**Таблиця 5 – Можливий потенціал економії теплоенергії за рахунок технологічного фактора при структурі економіки за сценарієм I, тис. Гкал**

| Вид економічної діяльності   | 2015    | 2020    | 2025    | 2030    |
|--|---------|---------|---------|---------|
| Сільське господарство, мисливство, лісове господарство, рибальство | 229,6   | 680,2   | 1496,2  | 2625,4  |
| Добувна промисловість  | 750,0   | 2050,0  | 3560,0  | 5400    |
| Переробна промисловість  | 11513,7 | 26705,6 | 43946,7 | 60514,0 |
| Будівництво  | 100     | 200     | 300     | 500     |
| Діяльність транспорту та зв'язку                                   | 100     | 400     | 600     | 900     |
| Населення, кВт·год/1 люд.  | 8797    | 13122   | 17073   | 22210   |



**Рис. 3.** Прогноз кінцевого споживання теплоенергії з урахуванням потенціалу енергозбереження, тис. Гкал

**Таблиця 6 – Прогнозна теплоємність кінцевого споживання, тис. Гкал/грн**

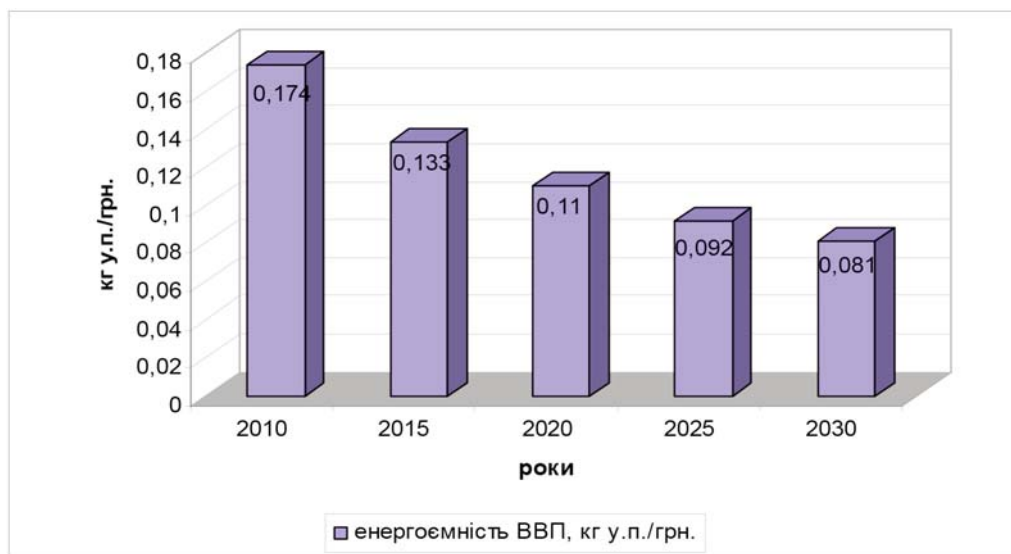
| Вид економічної діяльності                                    | Рік      |       |       |       |       |
|---|----------|-------|-------|-------|-------|
|   | 2010     | 2015  | 2020  | 2025  | 2030  |
| Сільське госп-во, мисливство, лісове господарство, рибальство | 0,064    | 0,059 | 0,057 | 0,05  | 0,049 |
| Добувна промисловість   | 0,144    | 0,1   | 0,07  | 0,05  | 0,04  |
| Переробна промисловість                                       | 0,597    | 0,2   | 0,1   | 0,05  | 0,02  |
| Будівництво   | 0,032    | 0,08  | 0,1   | 0,134 | 0,159 |
| Діяльність транспорту   | 0,038    | 0,02  | 0,012 | 0,08  | 0,04  |
| Разом ВДВ   | 0,314    | 0,15  | 0,08  | 0,06  | 0,04  |
| Населення, кВт·год/чол  | 1199,476 | 1000  | 890   | 780   | 630   |

чає потенціал енергозбереження за рахунок зміни структури економіки (міжсекторний потенціал енергозбереження) та зміни структури за видами економічної діяльності в секторах економіки (внутрішньосекторний потенціал енергозбереження). Метою впровадження комплексу заходів з енергозбереження є зниження енергоємності ВВП.

Для зниження показника енергоємності ВВП необхідно вдосконалення прогнозної структури економіки України, і зокрема промисловості, в якій переважають енергоємні види економічної діяльності. На даному етапі важливо визначитись чи варто і далі розвивати експортоорієнтовані енергоємні види економічної діяльності, чи скоротити їх обсяги до внутрішніх потреб країни (наприклад, чорна металургія, хімія).

Показниками енергетичної ефективності, які прийнято визначати на рівні країни, є енергоємність ВВП та її види: паливоємність ВВП і електроємність ВВП. На рис. 4 надано динаміку зниження показника енергоємності ВВП країни до 2030 р., який з рівня 0,174 кг у.п./грн може бути знижений до 0,081 кг у.п./грн (тобто на 53%) при впровадженні розрахованого потенціалу енергозбереження у повному обсязі.

Динаміку показника електроємності ВВП на перспективний період до 2030 р. подано на рис. 5. Прогнозується зниження цього показника з 0,168 кВт·год/грн до 0,081 кВт·год/грн, або на 48% шляхом впровадження заходів з енергозбереження, в основному за рахунок модернізації обладнання та зниження втрат при транспортуванні енергоносія [2].



**Рис. 4.** Динаміка показника енергоємності ВВП до 2030 р.

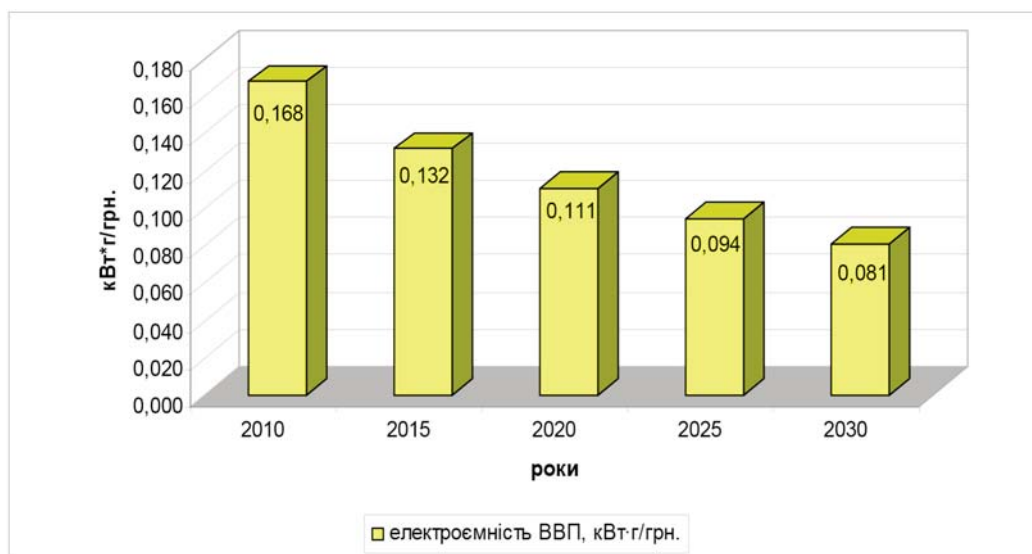


Рис. 5. Динаміка показника електроємності ВВП до 2030 р.

## ВИСНОВКИ

1. Енергоємність ВВП України внаслідок технологічних та структурних зрушень знижуватиметься на 53% до 2030 р., а електроємність – відповідно на 48%, що відбуватиметься при зменшенні частки експортоорієнтованих енергоємних ВЕД.

2. Розрахований потенціал енергозбереження може зменшуватися при прискореному впровадженні енергозберігаючих заходів у ВЕД та секціях економіки і, відповідно, енергоємність їх зменшуватиметься більш швидкими темпами або навпаки, стагнація в економіці перешкоджатиме енергозбереженню та енергоємність ВВП знижуватиметься повільніше.

3. Рівні витрат енергоресурсів на здійснення послуг населенню на прогнозні роки необхідно розраховувати за соціальними показниками, такими як витрати окремих видів енергії на душу населення з урахуванням змін їх на прогнозовані роки, одночасно доцільно корегувати їх із європейськими нормами.

1. Горська О.В. Регіональне структурне регулювання індустріальної економічної системи / За ред. С.І. Дорогунцова. – К.: Наук. світ, 2003. – 275 с.

2. Звіт про науково-дослідну роботу «Розробка наукових основ та розвиток методології формування прогнозних енергетичних балансів країни в умовах глобалізації економіки з урахуванням потенціалів енергозбереження». держ. реєстр. 0110U002009. Інв. № 0713U002394. – К.: ІЗЕ НАН України, 2012. – 300 с.

3. Звіт про результати використання палива, теплоенергії та електроенергії. Статистична форма 11- МТП, 4 - МТП. Річні форми за 2007–2011 роки.

4. Результати використання котельно-пічного палива, теплоенергії, електроенергії за 2011–2012 роки. – Режим доступу: <http://ukrstat.gov.ua/>

Надійшла до редколегії: 16.11.2013

Рецензент

Зав. відділу прогнозування розвитку атомної та відновлюваної енергетики  
ІЗЕ НАН України, канд. техн. наук  
С.В. Шульженко