

УДК 620.9.332.1

Н.Ю. МАЙСТРЕНКО, канд. техн. наук, ORCID: 0000-0002-1757-1665,
О.Є. МАЛЯРЕНКО, канд. техн. наук, ст. наук. співр. ORCID: 0000-0001-5882-916X,
В.В. ГОРСЬКИЙ ORCID: 0000-0001-9128-9556
Інститут загальної енергетики НАН України, вул. Антоновича, 172, м. Київ, 03150, Україна

ТРИЕТАПНИЙ МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНІВ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ В ЕКОНОМІЦІ З УРАХУВАННЯМ РЕГІОНАЛЬНИХ ПОТЕНЦІАЛІВ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Розроблено метод прогнозування рівнів енергоспоживання для трьох ієрархічних рівнів побудови економіки України: країна, регіони, види економічної діяльності в регіонах. Такий підхід дозволяє визначити попит на паливно-енергетичні ресурси на регіональних рівнях структурування економіки з урахуванням особливостей їх економічного розвитку та оцінених потенціалів енергозбереження. Узгодження отриманих прогнозів здійснюється векторним методом Кулика двічі: на рівні сумарного енергоспоживання за видами економічної діяльності в регіоні та енергоспоживання на регіональному рівні; на рівні сумарного енергоспоживання за регіонами і рівня країни. Приведено методику обчислення прогнозів енергоспоживання на трьох ієрархічних рівнях з відповідним узгодженням цих прогнозів. Надано приклад прогнозу споживання теплової енергії на трьох ієрархічних рівнях з оціненим регіональним потенціалом енергозбереження.

К л ю ч о в і с л о в а: метод, попит, регіон, споживання енергоресурсів, прогнозування, вид економічної діяльності, узгодження.

Прогнозуванню енергоспоживання присвячено чимало робіт вітчизняних та зарубіжних учених [1–16]. В основному роботи присвячені прогнозуванню на короткостроковий період в окремих секторах економіки [5, 6, 8, 10–14]. На довгострокову перспективу прогнози споживання енергоресурсів розробляються по секторах світової економіки та окремих регіонах світу [7, 9, 15–18].

Комплексний метод прогнозування попиту на енергоресурси [17], який розроблено в Інституті загальної енергетики НАН України, дозволяє розробити узгоджений прогноз споживання енергетичних ресурсів на двох ієрархічних рівнях економіки: країна та види економічної діяльності, оскільки статистична звітність по енергоспоживанню та валовій доданій вартості на цих двох рівнях часто відрізняється. Особливо це спостерігається по звітності за видами палива: природний газ, вугілля, нафтопродукти та по звітності на електроенергію. Іноді виникає проблема оцінки регіональних рівнів енергоспоживання з урахуванням особливостей їх економічного розвитку. Кожен регіон має свої земель-

ні, природні, енергетичні ресурси, особливості структури електро- та теплозабезпечення. На рівні регіонів розробляються програми з енергозбереження, які включають заходи з підвищення енергоефективності та економії енергоресурсів за видами регіонального виробництва. З урахуванням розвитку в країні державної політики місцевого самоврядування та більшої фінансової самостійності регіонів модифікація комплексного методу з включенням регіонального рівня стає дуже актуальною.

У наукових дослідженнях Інституту загальної енергетики НАН України було розроблено метод узгодження прогнозних рішень [1] та двоетапний метод прогнозування попиту на енергетичні ресурси [18], який потім був розвинутий та отримав назву комплексного методу [17, 19, 20]. Цей метод та методика розрахунку прогнозного попиту на енергоресурси на ієрархічних рівнях країни та видів економічної діяльності використовувалася при виконанні низки завдань державних органів влади, розробленні проекту діючої Енергетичної стратегії України до 2035 р., обчислення викидів парникових газів від спалювання окремих видів палива. У ході апробації методики та результатів прогнозування виникла задача про-

© Н.Ю. МАЙСТРЕНКО, О.Є. МАЛЯРЕНКО, В.В. ГОРСЬКИЙ, 2020

гнозування енергоспоживання для регіональних рівнів прогнозного попиту на енергоресурси, які необхідні для оцінки викидів парникових газів від спаленого палива не тільки по країні та секторах економіки (видах економічної діяльності), а й у регіонах країни для розроблення заходів з їх зменшення.

Представлена робота є початком дослідження, в якому буде визначено вплив структури економіки країни та структур економіки окремих регіонів на прогнозні рівні енергоспоживання, вплив технологічного фактору на ці прогнозні рівні енергоспоживання. Прогнозні обсяги споживання енергоресурсів населенням визначаються за окремою методикою [17, 19, 20] незалежно від обсягів по видах економічної діяльності або регіонів, оскільки споживання енергоресурсів населенням не входить у статистичні форми звітності по енергоресурсах (11-МТП та 4-МТП). Ці обсяги оцінюються по обсягах продажу палива населенню, даних по споживанню електричної і теплової енергії населенням за регіональними електро- і теплогенеруючими компаніями. Обсяги прогнозного попиту для населення у цій статті розглядатися не будуть.

Метою проведеного дослідження є модифікація комплексного методу прогнозування попиту на енергетичні ресурси з двох ієрархічних рівнів побудови економіки на трьохрівневу модель прогнозування рівнів енергоспоживання з урахуванням регіональних особливостей за видами економічної діяльності (ВЕД) та оціненому регіональному потенціалі енергозбереження для діючого поділу економіки країни.

Задачею дослідження є розроблення трьохрівневої моделі та методики обчислення прогнозного попиту на енергетичні ресурси на рівнях країни, регіонів України та видів економічної діяльності в групі регіонів, енергоспоживання якої складає більше 70% з оцінкою енергозберігаючих заходів, що є загальними для всіх регіонів України.

Передумови для прогнозування. Економіка України включає 27 регіонів [21]. Для оцінки можливих обсягів економії енергоресурсів згідно з [19] проведено аналіз електро- і теплоспоживання в регіонах та виділено групу регіонів, споживання яких по електричній енергії та окремо по тепловій енергії у сумі складе більше 70% споживання відповідного енергетичного ресурсу по країні. Для всіх регіонів розглянуто показники енергетичної ефективності – енергоємність валового регіонального продукту та енергоємність валової доданої вартості регіону, їх динаміку за період 2013–2019 рр. та обрано за базовий – 2017 рік. Обчислення прогнозів енер-

госпоживання на перспективу виконано відносно енергоємності валової доданої вартості регіону за 2017 р. та на основі прогнозу валової доданої вартості (ВДВ) регіону і оціненого потенціалу енергозбереження. Узгодження отриманих прогнозів виконано за методикою Кулика [1, 17]. Для групи з 12 регіонів створено інформаційну базу даних по споживанню теплової і електричної енергії за 2017 р. за регіональною структурою економіки за видами економічної діяльності та обчислено показники енергетичної ефективності – енергоємність ВДВ регіону за ВЕД. Прийнято, що на цьому етапі досліджень структура економіки регіонів за ВЕД відповідає структурі за 2017 р. За розробленим прогнозом ВДВ за регіонами та обчислених за базовий рік структурах економіки виконано прогноз ВДВ за ВЕД для групи з 12 регіонів. Цей прогноз та обчислена енергоємність ВДВ за ВЕД за базовий рік дозволяє визначити I сценарій прогнозів споживання енергоресурсів на перспективу відносно рівня енергоефективності 2017 р. За II сценарієм прогнозу енергоресурсів буде враховано потенціали енергозбереження від впровадження технологічних заходів, що є характерними для більшості регіонів України. В наступних дослідженнях буде враховано особливості розвитку регіонального виробництва та оцінено заходи з енергозбереження для енергоємних видів виробництва за ВЕД для групи з 12 регіонів.

Опис моделі прогнозування енергоспоживання за трьохрівневим методом. Прогнозування енергоспоживання на всіх ієрархічних рівнях здійснюється удосконаленим нормативним методом, що формує прогноз енергоспоживання за відповідним рівнем як суму прогнозів на рівні регіонів або видів економічної діяльності в регіоні та прогнозу енергоспоживання для населення, відповідно на рівні країни або регіону. Трьохрівнева модель враховує як загальний потенціал енергозбереження (від структурних і технологічних зрушень) в країні в цілому [22], так і особливості на регіональному рівні (область, місто, село, селище, територіальна громада) у певних (вибраних) ВЕД у наданні послуг (виробництві). Для розрахунку рівнів споживання паливно-енергетичних ресурсів за видами економічної діяльності (третій рівень), в регіонах (другий рівень) та в економіці країни в цілому (перший рівень) виділено групи показників енергетичної ефективності: I-й рівень – макрорівень – країна: енергоємність «ВДВ разом»; II-й рівень – мезорівень – регіони (області): енергоємність ВДВ регіону; III-й рівень – мікрорівень – енергоємність ВДВ за видами економічної діяльності (ВЕД) в регіоні [23].

Для I рівня – країна прогнозний рівень енергоспоживання визначається за формулою [17]:

$$P_s^t = e_{ВДВs}^{\delta} V_{ВДВs}^t - \Delta E_s^t + P_{нас}^t, \quad (1)$$

де $e_{ВДВs}^{\delta}$ – енергоємність ВДВ країни у t -му році за s -ої структури економіки; $V_{ВДВs}^t$ – прогноз валової доданої вартості країни (разом за ВЕД) у t -му році за s -ої структури економіки; ΔE_s^t – обсяги зниження енергоресурсів за структурних і технологічних змін (потенціал енергозбереження) у t -му році за s -ої структури економіки; $P_{нас}^t$ – прогноз споживання енергоресурсів населенням, що визначається за окремою методикою, наведеною у [17, 20].

Енергоємність ВДВ країни визначається за формулою:

$$e_{ВДВs}^{\delta} = \frac{P_s^{\delta}}{V_{ВДВs}^{\delta}}, \quad (2)$$

де P_s^{δ} – споживання паливно-енергетичних ресурсів по країні за базовий рік за s -ої структури економіки; $V_{ВДВs}^{\delta}$ – валова додана вартість країни (разом за ВЕД) у базовому році за s -ої структури економіки.

Прогноз валової доданої вартості виконано в Інституті загальної енергетики НАН України за публікацією [24]. Потенціал енергозбереження визначено в Інституті загальної енергетики НАН України, який був головним розробником першої Енергетичної стратегії України до 2030 р. (редакції 2006 р.) [25], розробив розділ «Прогнозні енергетичні баланси» Енергетичної стратегії України до 2030 р. (редакції 2013 р.) [26], а також підготував розділ по прогнозних показниках енергетичної ефективності для проекту діючої Енергетичної стратегії України до 2035 р. [27].

Для II рівня – регіони країни використовується загальне рівняння:

$$P_s^t = \sum_f P_f^t + P_{нас}^t, \quad (3)$$

де P_f^t – прогнозний попит на енергоресурс у t -му році для f -го регіону України.

Потрібно зауважити, що прогнози, отримані за формулами (1) та (3), не співпадуть. Це неузгодження обумовлене різними показниками енергетичної ефективності і є загальновідомою проблемою [1]. Для кожного виду енергоресурсу відсоток неузгодженості буде різним. Найкраще співпадіння за двоетапною моделлю спостерігалось для теплової енергії (до 5%), найгірше – для природного газу (до 30%) [17, 20].

Прогнозний попит на енергоресурси в регіонах визначається:

$$\sum_f P_f^t = \sum_f e_{ВДВf}^{\delta} V_{ВДВf}^t - \sum_f \Delta E_f^t, \quad (4)$$

де $e_{ВДВf}^{\delta}$ – енергоємність ВДВ базового року для f -го регіону України; $V_{ВДВf}^t$ – прогноз ВДВ у t -му році для f -го регіону України, визначається за темпами зміни показника за ретроспективу та оцінками міжнародних економічних організацій [24]; $\sum_f \Delta E_f^t$ – прогнозний загальний потенціал енергозбереження у t -му році по всіх f -их регіонах у прогнозному році для всієї економіки, який визначається за наступною формулою:

$$\sum_f \Delta E_f^t = \sum_f \Delta FE_f^t + \sum_{fa} E_{fa}^t, \quad (5)$$

де $\sum_f \Delta FE_f^t$ – прогнозний потенціал енергозбереження у t -му році в кожному регіоні, що включає загальні для всіх населених пунктів та видів економічної діяльності заходи з енергозбереження (зниження втрат в мережах, на виробництві, при наданні послуг, зниження обсягів енергоресурсів на утримання адміністративних і виробничих приміщень, освітлення вулиць, ін.) для f -го регіону;

$\sum_{fa} E_{fa}^t$ – прогнозний потенціал енергозбереження у t -му році, що враховується на нижчих ступенях побудови адміністративного устрою країни f -го регіону (заходи з енергозбереження, що є характерними для виробництв регіону).

Для III рівня прогноз енергоспоживання для регіонів визначається за загальною формулою:

$$P_f^t = \sum_q P_{qf}^t + P_{нас\ f}^t, \quad (6)$$

де крім приведених вище позначень, q -ий вид економічної діяльності за діючим класифікатором КВЕД-2010.

Прогнозне сумарне енергоспоживання за видами економічної діяльності (ВЕД) у регіоні визначається за формулою:

$$P_{qf}^t = \sum_q e_{ВДВqf}^{\delta} V_{ВДВqf}^t - \sum_q \Delta E_{qf}^t, \quad (7)$$

де $e_{ВДВqf}^{\delta}$ – енергоємність ВДВ q -го виду економічної діяльності в f -му регіоні; $V_{ВДВqf}^t$ – обсяг ВДВ у f -му регіоні у прогнозному році, що задається прогнозною структурою ВДВ; $\sum_q \Delta E_{qf}^t$ – сумарний прогнозний потенціал енергозбереження у t -му році по всіх q -их видах економічної діяльності у прогнозному році для економіки f -го регіону.

Необхідно зауважити, що ВВП країни та валовий регіональний продукт (ВРП), що розраховані на рівні країни, є однаковою величиною, а за рівнями споживання енергоресурсів обсяги споживання для регіонів не є тотожними сумі в країні.

В регіоні f для q -их секцій економіки обсяги прогнозного споживання ПЕР можуть визначатись за нижчими складовими ВЕД: розділами, групами і класами видів економічної діяльності:

$$P_{qf}^t = \sum_r P_{rf}^t, \quad (8)$$

де r – розділ, група чи клас у виді економічної діяльності в регіоні, що входить до певної секції q в країні, за діючим класифікатором КВЕД–2010; $\sum_r P_{rf}^t$ – сумарне енергоспоживання в регіоні f за регіональними розділами, групами, класами, що входять до видів економічної діяльності (ВЕД) r , яке визначається за формулою:

$$\sum_r P_{rf}^t = \sum_r e_{ВДВrf}^{\delta} V_{ВДВrf}^t - \sum_r \Delta E_{rf}^t, \quad (9)$$

де $e_{ВДВrf}^{\delta}$ – енергоємність ВДВ r -ого розділу, групи, класу виду економічної діяльності в базовому році, що входить до певного регіону f ; $V_{ВДВrf}^t$ – обсяг ВДВ у прогнозованому році для розділу, групи, класу виду економічної діяльності (секції) r , що задається прогнозною структурою

ВДВ регіону; $\sum_r \Delta E_{rf}^t$ – сумарний прогнозний потенціал енергозбереження у t -му році в регіоні f по всіх r -их розділах, групах, класах видів економічної діяльності (секції).

На більш низькому ієрархічному рівні може визначатись прогноз енергоспоживання за енергоємними видами k -ої продукції, що виробляється за r -им розділом (групою, класом) у q -ій секції за ВЕД, що розвивається у f -му регіоні у t -му році:

$$P_{krqf}^t = b_{jk}^t V_{krqf}^t, \quad (10)$$

де b_{jk}^t – питомі витрати j -ого виду енергоресурсу (паливо, тепла енергія, електроенергія) при виробництві k -ого виду продукції у t -му році для r -ого розділу (групи, класу) q -ої секції за ВЕД в економіці f -го регіону, од. виміру/грн.; V_{krqf}^t – прогнозний обсяг випуску продукції k -ого виду в r -ому розділі, групі, класі q -ої секції за ВЕД у t -му році для економіки f -го регіону, тис. грн/рік.

За розробленою трьохрівневою методикою прогнозування попиту на енергоресурси створено комп'ютерну програму в середовищі Ексел та визначено прогнозні обсяги ВДВ за регіонами України та видами економічної діяльності для групи найбільш енергоємних 12-ти регіонів України (70% енергоспоживання країни) та групи інших регіонів, що сумарно споживають 30% енергоспоживання країни (табл. 1).

Таблиця 1. Прогноз валової доданої вартості (ВДВ) регіонів України в постійних цінах 2015 р. (тис. грн.) та структура ВДВ за регіонами до 2040 р. (%)

Показники	2017-факт	%	2020	%	2025	%
Україна	1762181	100	2056700	100	2445025	100
Вінницька обл.	53644	3	63040	3,1	75796	3,1
Дніпропетровська обл.	175519	10	207474	10,1	251838	10,3
Донецька обл.	89983	5,1	107287	5,2	132031	5,4
Запорізька обл.	70681	4	83181	4	100246	4,1
Івано-Франківська обл.	38677	2,2	45181	2,2	53791	2,2
Київська обл.	92258	5,2	110489	5,4	136921	5,6
Львівська обл.	89813	5,1	104078	5,1	122251	5
Одеська обл.	91024	5,2	104190	5,1	119806	4,9
Полтавська обл.	87687	5	101756	4,9	119806	4,9
Харківська обл.	111679	6,3	132368	6,4	161372	6,6
Черкаська обл.	42248	2,4	50871	2,5	63571	2,6
м. Київ	425667	24,2	490982	23,9	572136	23,4
Інші регіони	393297	22,32	455799	22,16	535459	21,9
Сума ВДВ за регіонами	1762177	100	2056697	100	2445025	100

Продовження табл. 1

Показники	2030	%	2035	%	2040	%
Україна	2903715	100	3532660	100	4297835	100
Вінницька обл.	92919	3,2	116578	3,3	146126	3,4
Дніпропетровська обл.	296179	10,2	353266	10	425486	9,9
Донецька обл.	162608	5,6	201362	5,7	266466	6,2
Запорізька обл.	116149	4	137774	3,9	163318	3,8
Івано-Франківська обл.	60978	2,1	74186	2,1	94552	2,2
Київська обл.	162608	5,6	201362	5,7	244977	5,7
Львівська обл.	150993	5,2	187231	5,3	232083	5,4
Одеська обл.	142282	4,9	183698	5,2	227785	5,3
Полтавська обл.	139378	4,8	173100	4,9	210594	4,9
Харківська обл.	194549	6,7	240221	6,8	296551	6,9
Черкаська обл.	72593	2,5	91849	2,6	116042	2,7
м. Київ	670758	23,1	777185	22	863865	20,1
Інші регіони	641719	22,1	794851	22,5	1009992	23,5
Сума ВДВ за регіонами	2903715	100	3532660	100	4297835	100

Згідно з розробленою методикою, для обчислення прогнозу споживання енергоресурсу, на прикладі теплової енергії, обчислюється показник енергоефективності базового року – теплоенергоємність ВДВ країни та регіонів України за 2017 р. Результати обчислення надано у табл. 2. За результатами попередніх досліджень [20]

отримано прогнозний потенціал енергозбереження в споживанні теплової енергії по Україні. Цей потенціал розподілено за регіональним споживанням (табл. 2).

За даними табл. 1, 2 та за формулами (1) та (4) з урахуванням технологічного потенціалу енергозбереження визначено прогноз теплової

Таблиця 2. Теплоенергоємність ВДВ регіонів України та країни в цілому у 2017 р. та прогнозний потенціал теплоенергозбереження в регіонах України та по країні в цілому до 2040 р.

Регіони	Теплоенергоємність ВДВ у 2017 р., Гкал/грн	Прогнозний потенціал теплоенергозбереження, тис. Гкал				
		2020	2025	2030	2035	2040
Україна	0,03344	1200	2600	4500	7300	10400
Вінницька обл.	0,040657	44	96	167	270	385
Дніпропетровська обл.	0,067594	242	523	906	1470	2094
Донецька обл.	0,060078	110	239	413	670	954
Запорізька обл.	0,064798	93	202	350	567	808
Івано-Франківська обл.	0,045247	36	77	134	217	309
Київська обл.	0,029656	56	121	209	339	483
Львівська обл.	0,021779	40	86	149	242	345
Одеська обл.	0,013941	26	56	97	157	224
Полтавська обл.	0,03232	58	125	216	351	500
Харківська обл.	0,026728	61	132	228	370	527
Черкаська обл.	0,050156	43	93	162	263	374
м. Київ	0,007193	62	135	234	379	540
Інші регіони	-	330	716	1236	2005	2856

Таблиця 3. Прогноз споживання теплової енергії за регіонами та по Україні з урахуванням обсягів теплоенергозбереження, тис. Гкал

Показники	2017-факт	2020	2025	2030	2035	2040
Україна	58927	67576	79161	92600	110831	133319
Вінницька обл.	2181	2519	2985	3611	4470	5556
Дніпропетровська обл.	11864	13782	16499	19114	22409	26666
Донецька обл.	5406	6336	7694	9356	11428	15055
Запорізька обл.	4580	5297	6294	7176	8360	9774
Івано-Франківська обл.	1750	2009	2357	2625	3140	3969
Київська обл.	2736	3221	3940	4613	5633	6782
Львівська обл.	1956	2227	2576	3139	3835	4709
Одеська обл.	1269	1427	1614	1887	2404	2952
Полтавська обл.	2834	3231	3747	4288	5243	6306
Харківська обл.	2985	3477	4181	4972	6051	7399
Черкаська обл.	2119	2508	3095	3479	4344	5446
м. Київ	3062	3469	3981	4591	5211	5674
Інші регіони	16185	18385	21183	25029	30802	38953
Сума споживання за регіонами	58927	67886	80146	93882	113330	139242
Різниця у прогнозах	0	-313	-989	-1290	-2510	-5924

енергії за регіонами та по Україні за прогнозом ВДВ регіонів й України та теплоенергоємності відповідного ієрархічного рівня за 2017 р. з урахуванням обсягів теплоенергозбереження до 2040 р. (табл. 3).

Як видно з результатів розрахунку за табл. 3, розходження результатів прогнозування, отриманих на рівні країни та сума за регіонами, складає 4,44%. Оскільки зміна структури економіки на перспективу у цьому дослідженні не розглядалась, прогноз споживання теплової енергії виріс удвічі. Даний приклад є лише перевіркою роботи моделі.

Перейдемо до визначення прогнозного рівня споживання теплової енергії на III ієрархічному рівні (мікрорівень – ВЕД в регіоні).

Оскільки визначення прогнозного споживання теплової енергії за 12-ма регіонами відбувалось за однаковою методикою: формули (6)–(9), то наведемо один такий розрахунок на прикладі м. Києва. Валова додана вартість регіону м. Київ за видами економічної діяльності у базовому році та на перспективу надана у табл. 4.

За даними табл. 4 та обчисленому за формулою (2) показнику теплоенергоємності ВДВ окремих секцій економіки визначено прогноз споживання теплової енергії за видами економічної діяльності м. Києва до 2040 р. з урахуванням технічного прогресу (табл. 5). Як видно з табл. 5, з причини розходження статистичних даних у базовому році, не співпадають і прогнози споживання теплової енергії на перспективу.

Таблиця 4. Прогноз валової доданої вартості в економіці м. Києва до 2040 р., тис. грн

Види економічної діяльності регіону, роки	2017 р. – факт	2020	2025	2030	2035	2040
Промисловість	86895	100228	116795	136928	158653	176348
Транспорт, складське господарство, поштова і кур'єрська діяльність	32700	37718	43952	51529	59704	66363
Державне управління й оборона; соціальне страхування	9525	10986	12802	15009	17390	19330
Освіта	7373	8505	9911	11619	13463	14964
Охорона здоров'я та надання соціальної допомоги	8951	10324	12031	14104	16342	18165
Інші види економічної діяльності	280223	323220	376645	441570	511632	568695
Разом за ВЕД м. Києва	425667	490982	572136	670758	777185	863865

Таблиця 5. Прогноз споживання теплової енергії за видами економічної діяльності регіону (м. Київ) за показником енергоефективності 2017 р. та за прогнозом ВДВ з урахуванням технологічного потенціалу енергозбереження, тис. Гкал

Показники	Теплоенергоємність ВДВ регіону в 2017 р., Гкал/грн	2017 р. (факт)	Прогноз споживання теплової енергії				
			2020	2025	2030	2035	2040
Прогноз споживання, обчислений по теплоенергоємності ВДВ регіону (м. Київ)	0,00719	3062,11	3470	3981	4591	5211	5674
Промисловість	0,01344	1168,29	1324	1519	1752	1988	2165
Транспорт, складське гос-во, поштова і кур'єрська діяльність	0,00498	162,99	185	212	244	277	302
Державне управління й оборона; соціальне страхування	0,06509	619,99	702	806	930	1055	1149
Освіта	0,02975	219,36	249	285	329	373	406
Охорона здоров'я та надання соціальної допомоги	0,00807	72,25	82	94	108	123	134
Інші види економічної діяльності	0,00264	739,17	809	928	1070	1213	1320
Разом за ВЕД регіону (прогнозне сумарне споживання за ВЕД регіону (м. Київ))	-	2982,04	3351	3844	4433	5031	5476
Різниця у прогнозах (Регіон – сума за ВЕД регіону)	-	80,07	119	137	158	180	198

Це розходження необхідно узгодити за методом Кулика [1]. Результати узгодження згідно методики [1] надано у табл. 6.

Узгоджений регіональний рівень $Y_T(t)$ далі розподіляється за видами економічної діяльності регіону за корегуючим коефіцієнтом $q(t)$ [1, 17, 20].

Уточнені після узгодження рівні споживання теплової енергії за видами економічної діяльності регіону представлені у табл. 7.

Після проведення аналогічних розрахунків по групі з 12-ти енергоємних регіонів (70% енергоспоживання країни) та 13-ої групи за іншими регіонами разом (30% енергоспоживання країни),

Таблиця 6. Узгодження прогнозних рівнів споживання теплової енергії по м. Києву до 2040 р. (регіональний рівень), тис. Гкал

Показники	2020	2025	2030	2035	2040
Прогноз споживання по теплоенергоємності ВДВ регіону - $F_T(t)$	3470	3981	4591	5211	5674
Прогноз споживання за сумою прогнозів за ВЕД регіону - $F_d(t)$	3351	3844	4433	5031	5476
$R(t) = F_T(t) - F_d(t)$	119	137	159	181	198
$F_{di}(t)_{max}$ - Промисловість	1324	1519	1752	1988	2165
$k(t) = F_d(t)/F_{di}(t)_{max}$	2,531	2,531	2,530	2,530	2,530
$[k(t)]$	2	2	2	2	2
$D_n(t) = k(t) - [k(t)]$	0,531	0,531	0,530	0,530	0,530
$n_{min}(t) = [k(t)] + 1$	3	3	3	3	3
$n_{max}(t) = n_{min}(t) + 1$	4	4	4	4	4
$S(n_{min}(t))$ за [3]	0,41667	0,41667	0,41667	0,41667	0,41667
$S(n_{max}(t))$ за [3]	0,3611	0,3611	0,3611	0,3611	0,3611
$Y_T(n_{min}) = F_T(t) - S(n_{min}(t))R(t)$	3420,04	3923,58	4525,29	5136,09	5591,44
$Y_T(n_{max}) = F_T(t) - S(n_{max}(t))R(t)$	3426,65	3931,19	4534,11	5146,15	5602,44
$Y_T(t) = Y_T(n_{min})(1 - \Delta n(t)) + Y_T(n_{max})\Delta n(t)$	3424	3928	4530	5141	5597
$q(t) = Y_T(t)/F_d(t)$	1,0218	1,0218	1,0219	1,0220	1,0222

Таблиця 7. Узгоджений прогноз споживання теплової енергії за ВЕД в м. Києві до 2040 р, тис. Гкал

Показники	2020	2025	2030	2035	2040
Разом за ВЕД регіону (м. Київ) - всього	3424	3928	4530	5141	5597
у тому числі:					
Промисловість	1353	1552	1790	2032	2213
Транспорт, складське гос-во, поштова і кур'єрська діяльність	189	217	250	284	309
Державне управління й оборона; соціальне страхування	718	824	950	1078	1174
Освіта	254	291	336	382	415
Охорона здоров'я та надання соціальної допомоги	84	96	111	126	137
Інші види економічної діяльності	827	948	1093	1240	1349

проводиться узгодження уточненого сумарного регіонального рівня з рівнем країни і уточнюється частка регіонів у загальному споживанні енергоресурсу по країні.

ВИСНОВКИ

Запропонована нова трьохрівнева методика прогнозування енергоспоживання з урахуванням регіональних особливостей, що дозволяє обчислити рівні споживання енергоресурсів на відповідних ієрархічних рівнях (країна, регіон, види економічної діяльності у регіоні) нормативним методом прогнозування для подальшого узгодження отриманих прогнозів методом Кулика. Вперше був запропонований обрахунок прогнозу енергоспоживання на регіональному рівні (другий ієрархічний рівень) з узгодженням його значення з третім ієрархічним рівнем (сума енергоспоживання за ВЕД в регіоні), та узгодження сумарного прогнозу енергоспоживання по регіонах з першим ієрархічним рівнем(країна). На кожному рівні структурування економіки можливо врахувати технологічний потенціал енергозбереження (обчислити економію ПЕР) на державному, регіональному рівнях та за видами економічної діяльності в регіоні, який включає заходи з енергозбереження за видами економічної діяльності та загально-регіональні й загальнодержавні заходи. Ця модель в подальшому може бути об'єднана із моделлю за комплексним (двоетапним) методом через визначення сумарних регіональних прогнозів за видами економічної діяльності та їх узгодженням із прогнозами за ВЕД по країні.

1. Кулик М.М. Методи узгодження прогнозних рішень. *Проблеми загальної енергетики*. 2014. Вип. 2(37). С. 5—12.

2. Кулик М.М., Сас Д.П. Детерміновано-стохастичне моделювання виробництва електроенергії

в інтегрованих енергосистемах для довгострокової перспективи. *Технічна електродинаміка*. 2014. Т. 5. С. 32—34. http://nbuv.gov.ua/UJRN/TED_2014_5_12.

3. Касьянова Н.В., Левшова Ю.О. Комплексна модель оцінки енергоспоживання в регіоні. *Научный вестник Донбасской государственной машиностроительной академии*. 2014. № 2 (14Е). С. 164—171.

4. Братковська К.О. Щодо енергетичної моделі сталого споживання теплової енергії. *Ефективна економіка*. 2015. № 11. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=4592>

5. 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>

6. Idowu S., Saguna S., Ahlund Ch., Schelen O. Forecasting Heat Load for Smart District Heating Systems: A Machine Learning Approach. 2014. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/205368718.pdf> <https://doi.org/10.1109/SmartGridComm.2014.7007705>

7. 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

8. Anshul Bansal, Susheel Kaushik Rompikuntla, Jag-anadh Gopinadhan, Amanpreet Kaur, Zahoor Ahamed Kazi. Energy Consumption Forecasting for Smart Meters. 2015. <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1512/1512.05979.pdf>

9. Fazil Kaytez, M. Cengiz Taplamacioglu, Ertuğrul Çam, Firat Hardalac. Forecasting electricity consumption: A comparison of regression analysis, neural networks and least squares support vector machines. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. May 2015, Vol. 67. P. 431—438. URL: https://www.researchgate.net/publication/270006584_Forecasting_electricity_consumption_A_comparison_of_regression_analysis_neural_networks_and_least_squares_support_vector_machines. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2014.12.036>

10. Idowu S., Saguna S., Ahlund Ch., Schelén O. Applied machine learning: Forecasting heat load in district

heating system. *Energy and Buildings*. Volume 133. 1 December 2016. P. 478-488. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778816310155>. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.09.068>.

11. Mohammad Azhar Mat Daut, Mohammad Yusrri Hassan, Hayati Abdullah, Hasimah Abdul Rahman, Md Pauzi Abdullah, Faridah Hussin. Building electrical energy consumption forecasting analysis using conventional and artificial intelligence methods: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 70. April 2017. P. 1108-1118. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032116310619>. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.015>.

12. Kai Li, Tao Zhang. Forecasting Electricity Consumption Using an Improved Grey Prediction Model. *Information*. 2018. 9(8) P. 204. URL: <https://www.mdpi.com/2078-2489/9/8/204/pdf> <https://doi.org/10.3390/info9080204>

13. Saloux E., Candanedo J. A. Forecasting District Heating Demand using Machine Learning Algorithms. *Energy Procedia*. September 2018. Vol. 149. Pages 59–68. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187661021830465X>. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.08.169>

14. Tianhe Sun, Tieyan Zhang, Yun Teng, Zhe Chen and Jiakun Fang. Monthly Electricity Consumption Forecasting Method Based on X12 and STL Decomposition Model in an Integrated Energy System. 2019. URL: <https://www.hindawi.com/journals/mpe/2019/9012543>. <https://doi.org/10.1155/2019/9012543>

15. Country Energy Demand Forecast. URL: <https://www.enerdata.net/research/country-energy-demand-forecast.html> (дата звернення 11.09.2020).

16. Energy demand by region. URL: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/energy-outlook/demand-by-region.html> (дата звернення 11.08.2020).

17. Кулик М.М., Маляренко О.Є., Майстренко Н.Ю., Станиціна В.В., Спітківський А.І. Застосування методу комплексного прогнозування для визначення перспективного попиту на енергетичні ресурси. *Проблеми загальної енергетики*. 2017. Вип. 1(48). С. 5—15. <https://doi.org/10.15407/pge2017.01.005>

18. 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. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/131184>

19. 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. Вип. 3(54). С. 10—15. <https://doi.org/10.15407/pge2018.03.010>

20. Маляренко О.Є., Майстренко Н.Ю., Станиціна В.В., Богославська О.Ю. Удосконалений комплексний метод прогнозування енергоспоживання на довгострокову перспективу. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2019. № 3. С. 53—61. URL: <http://energy.kpi.ua/article/view/196383/196629>

21. Адміністративно-територіальний устрій областей. URL: <https://static.rada.gov.ua/zakon/new/NEWSAIT/ADM/zmist.html> (дата звернення 11.08.2020).

22. 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. Вип. 4(47). С. 58—67. <https://doi.org/10.15407/pge2016.04.058>

23. Майстренко Н.Ю. Удосконалена чотирьохрівнева методика прогнозування рівнів енергоспоживання з урахуванням структурних зрушень в економіці. *Проблеми загальної енергетики*. 2017. Вип. 3(50). С. 15—22. <https://doi.org/10.15407/pge2017.03.015>

24. Майстренко Н.Ю., Богославська О.Ю. Особливості прогнозування рівнів енергоспоживання України при застосуванні різних прогнозних структур економіки. *Проблеми загальної енергетики*. 2019. Вип. 2(57). С. 21—26. <https://doi.org/10.15407/pge2019.02.021>

25. Енергетична стратегія України до 2030 р. (редакція 2006 р.). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/145-2006-%D1%80#Text> (дата звернення: 11.08.2020).

26. Енергетична стратегія України до 2030 р. (редакція 2013 р.) URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13#Text>. (дата звернення 11.08.2020).

27. Енергетична стратегія України до 2035 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text> (дата звернення 11.08.2020).

Надійшла до редколегії: 21.08.2020