

Енергосберегаючі технології

УДК 620.92

Кулик М.М., акад. НАН України, докт. техн. наук, проф.,
Майстренко Н.Ю., **Маляренко О.Є.**, канд. техн. наук

Інститут загальної енергетики НАН України, Київ

вул. Антоновича, 172, 03680 Київ, Україна, e-mail: dep2@ienergy.kiev.ua

Двоетапний метод прогнозування перспективного попиту на енергетичні ресурси

Розроблено метод двоетапного прогнозування попиту на енергетичні ресурси, апробований на прикладі прогнозування попиту на первинні енергоресурси та електричну енергію на рівнях країни (верхній рівень) та укрупнених видів економічної діяльності – секторів економіки та населення (нижній рівень). Запропоновано аналітичні рішення для розрахунку прогнозів верхнього та нижнього рівнів, встановлено аналітичні залежності, які забезпечують уточнення та збіжність прогнозів верхнього та нижнього рівнів. Віднайдені прогнози мінімізують суму квадратів неув'язок на множині можливих рішень. Виконано співставний аналіз та визначено переваги використання розробленого та відомих методів. Наведено приклади розрахунків прогнозного попиту на первинні енергоресурси та електричну енергію в Україні до 2030 р. на рівні країни та укрупнених видів економічної діяльності й населення. *Бібл. 8, табл. 8.*

Ключові слова: прогноз, попит, сектор, макrorівень, енергоємність, електроємність.

Серед різноманітних задач прогнозування є дуже широкий клас, який допускає можливість його здійснення з використанням узагальнених показників (зокрема, по країні в цілому) та персоніфікованих даних (за видами економічної діяльності (ВЕД), секторами економіки та ін.). Такі задачі постійно вирішуються при прогнозуванні розвитку економіки певної країни, енергетичних комплексів, торговельних, транспортних систем, при вирішенні екологічних задач планети та її регіонів та ін. При цьому є можливість здійснити прогноз певних показників з використанням вихідних даних макrorівня, а також віднайти такий прогноз шляхом визначення відповідних показників для секторів, що його утворюють, з подальшим їх підсумовуванням.

У випадку визначення попиту на електроенергію його розраховують за секторами економіки та утворюють відповідну суму по країні в цілому. Обидва підходи мають рівнозначні ступені обґрунтування, апріорі немає можливості визначити перевагу якогось з них. Однак проблема полягає в тому, що вони надають результати, різниця в яких може бути недопустимо великою. Для забезпечення співпадіння цих показників частина фахівців пропонувала організувати ітераційні процеси зі змінами шляхом експертних оцінок у вихідних даних у моделях макrorівня (TOP-рівень) та у секторальних моделях (DOWN-рівень). Це можуть бути зміни на етапах прогнозного періоду в структурі виробництва, цінах та тарифах, показни-

ках енергоефективності та ін. З використанням нового набору даних провадяться розрахунки показників TOP- та DOWN-рівнів та їх співставлення, у разі співпадіння розрахунки припиняються [1]. В іншому разі ітерації проводжуються до співпадіння результатів для TOP- та DOWN-рівнів із заданою точністю. Однак збіжність таких ітераційних процесів не гарантована та, згідно літературних даних, спостерігається рідко. Тому частина фахівців [2] пропонує користуватись одним із прогнозів та ігнорувати інші, використовуючи певну експертну оцінку. Такий підхід зумовлює зниження точності прогнозів.

Метод уточнення прогнозних рішень TOP- та DOWN-рівнів

Вихід із ситуації, що склалася, забезпечує метод безітераційного узгодження прогнозних рішень, описаний у [3]. Згідно нього, на першому етапі розрахунків розробляються з використанням відомих тих чи інших методів прогнози TOP- та DOWN-рівнів. Для кожного етапу прогнозного періоду t_j утворюється вектор показників:

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

де $F_T(t_j)$ – прогноз TOP-рівня для заданого показника на етапі $t = t_j$; $F_{di}(t_j)$ – прогноз i -го сектора (ВЕД) DOWN-рівня для заданого показника на етапі $t = t_j$; $i = (1, n-1)$.

Визначається сума секторальних показників:

$$F_d(t_j) = \sum_{i=1}^{n-1} F_{di}(t_j) \quad (2)$$

та різниця

$$R(t_j) = F_T(t_j) - F_d(t_j). \quad (3)$$

Далі проводиться агрегування вихідного вектора (1) шляхом об'єднання частини секторальних прогнозів $F_{di}(j)$ та визначення мінімальної їх кількості:

$$k(t_j) = F_d(t_j) / F_{di}(t_j)_{\max}. \quad (4)$$

Величина $k(t_j)$, як правило, є неціле число. У подальшому використовуються його ціла частина $[k(t_j)]$ та залишок:

$$\Delta n(t_j) = k(t_j) - [k(t_j)]. \quad (5)$$

З використанням (4) визначаються мінімальна та максимальна розмірність агрегованих систем з урахуванням рівняння для TOP-рівня:

$$n_{\min}(t_j) = [k(t_j)] + 1; \quad (6)$$

$$n_{\max}(t_j) = n_{\min}(t_j) + 1. \quad (7)$$

Уточненим показником, який забезпечуватиме співпадіння показників TOP- та DOWN-рівнів, у випадку цілих $n(t_j)$, згідно [3], є

$$Y_T(t_j) = F_T(t_j) - S(n(t_j)) R(t_j), \quad (8)$$

в якому використовується величина $S(n(t_j))$, що протабульована у [3] до $n = 20$. Частина відповідної таблиці в інтересах даної статті наведена у табл.1.

З використанням (8) розраховуються $Y_T(t_j, n_{\min}(t_j))$ та $Y_T(t_j, n_{\max}(t_j))$, потім у випадку нецілих значень $n(t_j)$ – остаточне значення показника TOP-рівня:

$$Y_T(t_j) = Y_T(t_j, n_{\min}(t_j)) (1 - \Delta n(t_j)) + Y_T(t_j, n_{\max}(t_j)) \Delta n(t_j). \quad (9)$$

Значення всіх показників DOWN-рівня визначаються за залежністю

$$Y_{di}(t_j) = q(t_j) F_{di}(t_j), \quad (10)$$

де

$$q(t_j) = Y_T(t_j) / F_d(t_j), \quad i = 1, n - 1. \quad (11)$$

Теоретичне обґрунтування методу (1)–(11) зроблене в [3]. Відмінність наведеного методу полягає у визначенні уточненого показника TOP-рівня. Згідно (9), він обчислюється з використанням двох його допоміжних значень $Y_T(t_j, n_{\min}(t_j))$ та $Y_T(t_j, n_{\max}(t_j))$ та подальшої інтерполяції. У методі, наведеному у [3], уточнений показник верхнього рівня визначається на основі одного значення розмірності агрегованої системи $n(t_j)$, який на відміну від (6), (7) розраховується згідно залежності $n(t_j)$, $\{k(t_j)\} + 1$, де знак $\{\dots\}$ означає операцію округлення до цілого. Завдяки цьому метод (1)–(11) повинен забезпечувати більш високу точність, особливо у випадках, коли дробова частина показника $k(t_j)$ є наближеною до 0,5.

Таблиця 1. Залежність константи S від кількості прогнозів n

Константа	Кількість прогнозів n							
	1	2	3	4	5	6	7	8
S(n)	–	0,5	0,41667	0,3611	0,3332	0,3067	0,2833	0,2607

Визначення прогнозного попиту на енергоресурси TOP- та DOWN-рівнів нормативним методом

Нормативний метод — це один із способів розробки прогнозних та планових документів, що використовує системи норм та нормативів. Вони розробляються для забезпечення наукового фундаменту прогнозних та планових документів, їх пропорційності й збалансованості, визначенні й обліку резервів. Поступово у системі норм та нормативів склався ряд взаємозв'язаних, але в той же час самостійних підсистем. Найважливішими з них, що використовуються при прогнозуванні споживання паливно-енергетичних ресурсів, є такі: соціальні норми та нормативи (досліджують зміну в часі обсягів споживання на особу окремих товарів та послуг, забезпеченість житлом, комунально-побутовими послугами, транспортними послугами та ін.), фінансово-економічні (відрахування від прибутку, ставки податків тощо), норми та нормативи капітальних вкладень та тривалості інвестиційного циклу; норми та нормативи витрат та запасів сировини, матеріалів, палива та енергії. Основні чинники, на яких базується застосування нормативного методу для прогнозування перспективного попиту в первинних енергоресурсах (ПЕР):

1) прогресивність полягає у врахуванні при прогнозуванні заходів з економії й раціонального використання усіх видів ресурсів;

2) децентралізованість передбачає пріоритетність нижчих рівнів прогнозування відносно вищих, самостійність суб'єктів господарювання у визначенні необхідних обсягів ПЕР для випуску продукції, тобто мікрорівень формує вищі рівні, підвищуючи ступінь обґрунтованості прогнозів на макрорівні;

3) рівноважність визначає в майбутньому прогнозі баланс між тиском держави на економіку та відсутність контролю та розвиток «тіньової економіки»;

4) системність передбачає декілька траєкторій розвитку економіки, коли рівноважні значення норм та нормативів при прогнозуванні, наприклад, валового внутрішнього продукту (ВВП) залежать від інших норм та нормативів — темпів розвитку окремих секторів економіки.

Тому застосування нормативного методу для прогнозування потреби у ПЕР будується на узгодженні інтересів усіх суб'єктів та на принципі досягнення паритету «зверху — вниз» та «знизу — вверху». Цей метод є базовим інструментом для макропрогнозування та розширює можливості взаємодії між рівнями економіки.

Існуючі методи прогнозування (регресійного аналізу, прямого рахунку, нормативний метод) для застосування у задачах прогнозування на рівнях TOP та DOWN використовують різні показники енергетичної ефективності: на рівні країни — показники енергоємності ВВП та їх видів (електроємності ВВП, газоємності ВВП тощо), на нижчих рівнях — показники енергоємності валової доданої вартості (ВДВ) за видами економічної діяльності (ВЕД) чи їх укрупненими групами, та випуск продукції на більш низьких рівнях (виробництво) [7, 8]. Визначаються ці показники за формулами:

— енергоємність ВВП первинного постачання енергії j-виду

$$e_{\text{ВВП}j} = P_{tj}^t / V_{\text{ВВП}}^t, \quad (12)$$

де P_{tj}^t — обсяг споживання первинного енергоресурсу j-виду ($j = 1$ — первинні енергоресурси разом, $j = 2$ — електрична енергія); $V_{\text{ВВП}}^t$ — обсяг ВВП, створеного у країні за рік t;

— енергоємність ВДВ первинного постачання енергії j-виду укрупненої i-секції економіки за класифікатором КВЕД-2010:

$$e_{\text{ВДВ}ij} = P_{tj}^t / V_{\text{ВДВ}i}^t, \quad (13)$$

де P_{tj}^t — обсяг споживання первинного енергоресурсу j-виду ($j = 1$ — первинні енергоресурси разом, $j = 2$ — електрична енергія) i-секцією економіки за КВЕД-2010; $V_{\text{ВДВ}i}^t$ — обсяг ВДВ, створеного в i-секції економіки за рік t.

На першому етапі за нормативним методом з урахуванням потенціалу енергозбереження від структурних змін в економіці, що визначався за методикою [4], визначено прогнозні рівні споживання первинних енергоресурсів на рівні країни (TOP-рівень) за показниками енергоємності ВВП базового року та обчислених потенціалів енергозбереження за етапами прогнозного періоду при прогнозних обсягах ВВП, за формулою:

$$P_{tj}^t = e_{\text{ВВП}j}^b V_{\text{ВВП}j}^t - \Delta E_{sj}^{6-t} = (e_{\text{ВВП}j}^b - \Delta e_{\text{ВВП}j}^{6-t}) V_{\text{ВВП}j}^t, \quad (14)$$

де $e_{\text{ВВП}j}^b$ — енергоємність ВВП j-виду енергоресурсу для базового року; ΔE_{sj}^{6-t} — обсяг економії (перевитрат) j-виду енергоресурсу за рахунок зміни s-структури економіки (зміни співвідношення обсягів ВДВ за секціями до ВВП та обсягів випуску продукції в i-секції до ВДВ узагальноючої секції), розраховується за методикою [4];

та на рівні укрупнених ВЕД за секціями (DOWN-рівень) за показниками енергоемності ВДВ базового року та прогнозних обсягах ВДВ до кінця прогнозного періоду для секцій згідно [5] за формулою:

$$P_{ij}^t = e^{\delta_{ВДВij}} V_{ВДВi}^t - \Delta E_{sij}^{6-t}, \quad (15)$$

де $e^{\delta_{ВДВij}}$ — енергоемність ВДВ і-секції за j-видом енергоресурсу у базовому році; ΔE_{sij}^{6-t} — обсяг економії (перевитрат) енергоресурсів за рахунок зміни s-структури секції (зміни співвідношення обсягів випуску продукції в і-секції до ВДВ узагальнюючої секції), розраховується за методикою [4].

Проблема уточнення прогнозних розрахунків полягає у тому, що при визначенні показників базового року — енергоемності ВВП та ВДВ за секціями — обсяг споживання j-виду енергоресурсу визначається для показника енергоемності ВВП зі звітної енергетичного балансу країни, а економічної діяльності — за формами статистичної звітності 4-МТП та 11-МТП економічної діяльності. Підсумовування кінцевого споживання енергоресурсу за видами економічної діяльності та для населення (з форми 4-МТП) не співпадає з величиною, що наведена у звітних енергетичних балансах Держстату України: вона може бути як більшою, так і меншою. Крім того, величина ВВП відрізняється від сумарного значення ВДВ за ВЕД на обсяг податків та субсидій, які не мають енерговитрат. Показники енергоемності ВВП та її види: електроємність ВВП, газоемність ВВП — є прийнятими у світі для аналізу енергоефективності на рівні країни, тому їх використання для прогнозування на верхньому рівні є обґрунтованим.

Узагальнена система рівнянь для уточнення прогнозів, отриманих по макро- та сумарних

мікропоказниках описана у роботі [3]. У даній роботі надано розвиток описаного у [3] методичного підходу до уточнення прогнозів на прикладі прогнозів попиту на первинні енергоресурси та електроенергію, отриманих за різними показниками.

Розроблення загального прогнозу ПЕР складається з декількох частин. Першою є розробка прогнозу номінального ВВП на період 15–20 років (середньострокова перспектива). Дослідження номінального ВВП враховує тенденції економіки, її темпи та пропорції, дані провідних наукових установ країни, прогнозні оцінки Міжнародного Валютного Фонду та Всесвітнього Банку, консенсус-прогноз Міністерства економічного розвитку та торгівлі, прогноз, закладений у діючу Енергетичну стратегію України до 2030 р. (редакція 2013 р.). Нами були використані наведені джерела [5, 6] та враховані економічні трансформації, що відбуваються нині, а також розроблений уточнений прогноз зміни номінального ВВП на період до 2030 р. Він полягає у припущеннях, що темпи економічного розвитку країни відновляться, починаючи з 2017 р., та складуть у середньорічному вимірі за 2015–2020 рр. 1,3 % (всього 6,8 %), за 2021–2025 рр. — всього 21,1% (середньорічні — 3,9 %), за 2026–2030 рр. — всього 16,0 % (середньорічні — 3,0 %). Наступною частиною прогнозування є розроблення прогнозу ВДВ по укрупнених секторах (секціях) економіки, який складений за прогнозною структурою економіки згідно Енергетичної стратегії до 2030 р. (редакція 2013 р.) та продовжений за закладеними у ній тенденціями розвитку окремих енергоемних секторів економіки.

Прогноз ВВП та ВДВ за видами економічної діяльності надано у табл.2. За 2013 р. наведено фактичні дані, на прогнозний період — розрахункові, які отримані за показниками

Таблиця 2. Прогноз макроекономічних та секторальних показників, млрд грн (ціни 2013 р.)

Показники	2013 р.	2020 р.	2025 р.	2030 р.
ВВП України ¹ (TOP-рівень)	1465,2	1564,8	1895,0	2198,2
Сума ВДВ за ВЕД (DOWN-рівень), у тому числі ² :	1286	1399	1669,4	1969,6
сільське господарство та ін.	100,0	178,4	250,1	314,3
промисловість	230,1	278,5	295,6	296,8
будівництво	28,7	62,6	81,5	101,1
транспорт	118,6	175,3	223,6	268,2
інші ВЕД	533,6	704,2	818,6	989,2
Населення, млн осіб ³	45,6	42,4	40,7	39,0

¹ Прогноз ВВП на 2020–2030 рр. розроблений авторами з врахуванням песимістичного сценарію діючої Енергетичної стратегії України до 2030 р. редакції 2013 р.; фактичні дані за 2013 р. для ВВП та структури ВДВ взято за даними Держстату України станом на 14.07.2015 р.

² Прогноз ВДВ за ВЕД обчислено по роках для відповідного значення ВВП та прогнозної структури ВВП [4].

³ Взяті згідно даних демографічного прогнозу [6].

Таблиця 3. Прогноз енергоємності ВВП та ВДВ за видами економічної діяльності, кг у.п./грн

Показники	2013 р.	2020 р.	2025 р.	2030 р.
Енергоємність ВВП України	0,113	0,107	0,100	0,093
Енергоємність ВДВ за ВЕД:				
сільське господарство та ін.	0,042	0,042	0,042	0,042
промисловість	0,271	0,250	0,237	0,219
будівництво	0,030	0,030	0,030	0,030
транспорт	0,073	0,073	0,073	0,073
інші ВЕД	0,014	0,014	0,014	0,014
Населення, кг у.п./особу	1220	1219,6	1219,6	1219,6

Таблиця 4. Прогноз електроємності ВВП та ВДВ за видами економічної діяльності, кВт-год/грн

Показники	2013 р.	2020 р.	2025 р.	2030 р.
Електроємність ВВП України	0,123	0,118	0,111	0,105
Електроємність ВДВ за ВЕД:				
сільське господарство та ін.	0,029	0,029	0,029	0,029
промисловість	0,310	0,299	0,291	0,286
будівництво	0,030	0,030	0,030	0,030
транспорт	0,071	0,071	0,071	0,071
інші ВЕД	0,02	0,02	0,02	0,02
Населення, кВт-год/особу	909,1	909,1	909,1	909,1

Таблиця 5. Прогноз попиту на первинні енергоресурси в Україні за нормативним методом, млн т у.п.

Показники	2013 р.	2020 р.	2025 р.	2030 р.
Споживання ПЕР по енергоємності ВВП 2013 р.	165,79	166,78	188,95	205,47
Прогноз споживання ПЕР за видами економічної діяльності та населенням, у тому числі:	139,10	154,10	160,61	162,58
сільське господарство та ін.	4,20	7,50	10,52	13,22
промисловість	62,36	70,12	69,95	65,01
будівництво	0,86	1,87	2,43	3,02
транспорт	8,66	12,82	16,36	19,62
інші ВЕД	7,47	10,07	11,71	14,15
населення	55,55	51,71	49,64	47,56

Таблиця 6. Прогноз попиту на електричну енергію в Україні за нормативним методом, млрд кВт-год

Показники	2013 р.	2020 р.	2025 р.	2030 р.
Споживання електричної енергії по електроємності ВВП 2013 р., млн кВт-год	180,90	184,77	210,04	231,08
Прогноз споживання за видами економічної діяльності та населенням, у тому числі:	135,54	155,81	165,29	171,70
сільське господарство та ін.	2,90	5,19	7,28	9,15
промисловість	71,28	83,37	85,96	84,81
будівництво	0,87	1,89	2,46	3,06
транспорт	8,40	12,43	15,86	19,02
інші ВЕД	10,67	14,39	16,73	20,21
населення	41,41	38,55	37,00	35,46

«TOP-рівня» (країна) та «DOWN-рівня» (укрупнені сектори).

Прогнози енергоємності ВВП та ВДВ з урахуванням економії первинних енергоресурсів при структурних змінах в економіці надано у табл.3.

Передбачається, що енергоємність ВВП знизиться за рахунок структурних змін та зниження енергоємності у промисловості внаслідок впровадження передових технологій (у металургії та виробництві харчових продуктів) та скорочення частки енергоємних виробництв

(хімічного). Для визначення прогнозової величини енергоемності ВДВ за ВЕД (крім промисловості) враховано лише структурні зміни частки ВДВ у структурі ВВП.

Зниження енергоемності ВДВ обчислювалось за формулою:

$$\Delta e^{\delta-t}_{ВДВij} = \Delta E_{sj}^{\delta-t} / V_{ВДВi}^t, \quad (16)$$

де зниження споживання енергоресурсів за рахунок зміни s-структури секції визначається за формулою [4]:

$$\Delta E_{sj}^{\delta-t} = e^{\delta}_{ВДВij} (V_{ВДВi\delta}^t - V_{ВДВi\delta}^t), \quad (17)$$

де $V_{ВДВi\delta}^t$ — обсяг ВДВ i-секції за структурою базового року (часткою ВДВ до ВВП як у базовому році) при прогнозованому значенні ВВП у t-році; $V_{ВДВi\delta}^t$ — обсяг ВДВ i-секції за структурою прогнозованого t-року при тому ж значенні прогнозованого ВВП.

Прогноз електроємності ВВП та ВДВ з урахуванням економії електроенергії при структурних змінах в економіці надано у табл.4. Пе-

Таблиця 7. Прогноз попиту на первинні енергоресурси в Україні за двохетапним методом, млн т у.п.

Країна, ВЕД (сектор), параметри	2013 р.	2020 р.	2025 р.	2030 р.
Країна (TOP-рівень)	165,79	161,63	177,45	188,81
Сума за ВЕД та населенням (DOWN-рівень), у тому числі:	139,10	161,63	177,44	188,79
сільське господарство та ін.	4,20	7,87	11,62	15,35
промисловість	62,36	73,55	77,28	75,49
будівництво	0,86	1,96	2,7	3,51
транспорт	8,66	13,45	18,06	22,78
інші ВЕД	7,47	10,56	12,94	16,43
населення	55,55	54,24	54,84	55,23
Розрахункові параметри:				
R(t)	–	12,69	28,33	42,9
$n_{\min}(t)$	–	3	3	3
$\Delta n(t)$	–	0,198	0,296	0,5
$S(n_{\min})(t)$	–	0,41667	0,41667	0,41667
$S(n_{\max})(t)$	–	0,3611	0,3611	0,3611
$Y_T(n_{\min})$	–	161,49	177,05	187,62
$Y_T(n_{\max})$	–	162,2	178,72	190,0
q(t)	–	1,04893	1,10478	1,1612

Таблиця 8. Прогноз попиту на електричну енергію в Україні за двохетапним методом, млрд кВт·год

Країна, ВЕД (сектор), параметри	2013 р.	2020 р.	2025 р.	2030 р.
Країна (TOP-рівень)	180,90	172,37	191,11	206,43
Сума за ВЕД та населенням (DOWN-рівень), у тому числі:	135,54	172,38	191,09	206,43
сільське господарство та ін.	2,90	5,74	8,42	11,0
промисловість	71,28	92,23	99,39	101,96
будівництво	0,873	2,09	2,84	3,68
транспорт	8,40	13,75	18,34	22,86
інші ВЕД	10,67	15,92	19,34	24,3
населення	41,41	42,65	42,78	42,63
Розрахункові параметри:				
R(t)	–	28,95	44,75	59,36
$n_{\min}(t)$	–	2	2	2
$\Delta n(t)$	–	0,86	0,923	0,025
$S(n_{\min})(t)$	–	0,5	0,5	0,41667
$S(n_{\max})(t)$	–	0,41667	0,41667	0,3611
$Y_T(n_{\min})$	–	170,3	187,66	206,35
$Y_T(n_{\max})$	–	172,7	191,39	209,65
q(t)	–	1,10623	1,15621	1,20213

редбачається, що електроємність ВВП знизиться за рахунок структурних змін та зниження енергоємності у промисловості.

За даними, наведеними у табл. 2, 3, обчислено прогнози споживання первинних енергоресурсів на рівні країни та за видами економічної діяльності згідно нормативного методу, які наведено у табл.5.

Як видно з табл.5, різниця між отриманими величинами складає 19,2 % у базовому році (за статистичними даними по країні та за видами економічної діяльності) та 8–26 % на перспективу. Звітний енергетичний баланс України, приведений на сайті Держстату [7], включає галузі економіки та види виробництва, розділені між кінцевим споживанням (промисловість без переробки нафти, газу, виробництва коксу, брикетів, електричної та теплової енергії) та сектором перетворення, куди віднесені вилучені з промисловості види виробництва. Прогноз на макрорівні враховує економію від зміни структури економіки, що закладена у [5].

За даними, наведеними у табл. 2, 4, обчислено за нормативним методом прогнози споживання електричної енергії на рівні країни та за видами економічної діяльності, які наведено у табл.6. Фактичні дані по споживанню електричної енергії на рівні країни та ВЕД та населенням у 2013 р. різняться на 33 %, на перспективу – на 18–35 %. Звітний електробаланс з 2010 р. Держстатом більше не складається.

Визначення прогнозного попиту на енергоресурси TOP- та DOWN-рівнів двоетапним методом

Прогнози, наведені в табл. 5, 6, були уточнені з використанням алгоритму (1)–(11), при цьому була забезпечена збіжність TOP- та DOWN-рівнів. Результати розрахунків наведені в табл. 7, 8.

Розрахункові параметри у цих таблицях наведені для наочності й подані у послідовності, яка зумовлена алгоритмом (1)–(11). Величини $R(t)$ для усіх етапів визначаються згідно формули (3), $n_{\min}(t)$ – згідно залежності (6), $\Delta n(t)$ – згідно (5), $S(n_{\min}(t))$ та $S(n_{\max}(t))$ беруться із табл.1. Для розрахунку $Y_{T(n_{\min})}$ та $Y_{T(n_{\max})}$ використана формула (8). Уточнене значення показника TOP-рівня визначається згідно залежності (9). Для розрахунку показників DOWN-рівня спочатку визначається параметр $q(t)$ по формулі (11) і далі всі секторальні показники Y_{di} за залежністю (10). Звертає на себе увагу (див. табл. 7, 8) ви-

сока ступінь співпадіння показників попиту на первинні енергоресурси та електроенергію TOP- та DOWN- рівнів на всіх етапах прогнозного періоду, тоді як зазначені показники для базового року (фактичні дані) для цих рівнів відрізняються між собою на 19 та 33 % відповідно.

Висновки

Розроблений двоетапний метод прогнозування може бути застосований для визначення майбутніх показників широкого класу структур (економічні, енергетичні, екологічні, соціальні, транспортні, торгівельні та ін.), які передбачають можливість обчислення необхідних показників для їх верхніх рівнів та секторів (галузей), що їх утворюють.

Двоетапний метод прогнозування на першому етапі використовує один із відомих методів (регресійний, прямого рахунку, нормативний та ін.), які не мають можливості забезпечити співпадіння показників TOP- та DOWN- рівнів.

Застосування нормативного методу для прогнозування попиту на первинні енергоресурси та електроенергію в Україні на період до 2030 р. надає розбіжність у показниках верхнього та секторального рівнів на 8–26 % та 18–35 % відповідно, причому розбіжність зростає зі збільшенням глибини прогнозування. Дані базового року були максимально наближені до реальних показників.

Двоетапний метод прогнозування забезпечує високий ступінь співпадіння (практично повне) показників попиту на первинні енергоресурси та електроенергію TOP- та DOWN-рівнів на всіх етапах прогнозного періоду до 2030 р. Зазначені показники цих рівнів для базового року при цьому відрізняються між собою на 19 та 33 % відповідно.

Список літератури

1. Jacobsen H.K. Integrating the bottom-up and top-down approach to energy-economy modelling; the case of Denmark // Energy Economics 20. – 1998. – P. 443–461.
2. Wanke P., E. Saliby E. TOP-DOWN OR BOTTOM-UP FORECASTING? Pesquisa Operacional, Setembro a Dezembro de 2007. – Vol. 27, № 3. – P. 591–605.
3. Кулик М.М. Методи узгодження прогнозних рішень // Проблеми загальної енергетики. – 2014. – Вип. 2. – С. 5–12.
4. Енергетична стратегія до 2030 року (редакція 2013 р.). – Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/1071-2013-%D1%80>.

5. Консенсус-прогноз МЕРТ. – Режим доступа: <http://www.me.gov.ua/Tags/DocumentsByTag?lang=uk-UA&tag=EkonomichnaSituatsiiaTaMakroekonomichnePrognozuvannya>, .
6. 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. – Вип. 2. – С. 5–22.
7. Основи методології планування та прогнозування. – Режим доступу: <http://chitalky.ru/?p=991>.
8. Нормативный метод. – Режим доступу: <http://eclib.net/14/25.html>.

Поступила в редакцию 12.11.15

Кулик М.Н., *акад. НАН Украины, докт. техн. наук, проф.,*
Майстренко Н.Ю., *канд. техн. наук*
Институт общей энергетики НАН Украины, Киев
ул. Антоновича, 172, 03680 Киев, Украина, dep2@ienergy.kiev.ua

Двухэтапный метод прогнозирования перспективного спроса на энергетические ресурсы

Разработан двухэтапный метод прогнозирования спроса на энергетические ресурсы на примере прогнозного спроса на первичные энергоресурсы и электрическую энергию с использованием уровней страны (верхний уровень) и укрупненных видов экономической деятельности – секторов экономики и населения (нижний уровень). Предложены аналитические решения для расчета прогнозов верхнего и нижнего уровней, установлены аналитические зависимости, которые обеспечивают уточнение и сходимость прогнозов верхнего и нижнего уровней. Найденные прогнозы минимизируют сумму квадратов неувязок на множестве возможных решений. Выполнен сопоставимый анализ и определены преимущества использования разработанного и известных методов. Приведены примеры расчетов прогнозного спроса на первичные энергоресурсы и электрическую энергию в Украине к 2030 г. на уровне страны и укрупненных видов экономической деятельности и населения. *Библ. 8, табл. 8.*

Ключевые слова: прогноз, спрос, сектор, макроуровень, энергоёмкость, электроёмкость.

Kulik M.M., *Academician of National of Academy of Sciences of Ukraine,*
Doctor of Technical Sciences, Professor, Maistrenko N.Yu.,
Malyarenko O.Ye., *Candidate of Technical Sciences*
Institute of General Energy of National of Academy of Sciences of Ukraine, Kiev
172, Antonovicha Str., 03680 Kiev, Ukraine, e-mail: dep2@ienergy.kiev.ua

Two-Stage Forecasting Method of the Future Energy Demand

A two-stage method was developed to forecast the future demand for energy tested on the example of forecasting the demand for primary energy and electric energy at the national level (top level) and aggregated economic activities – sectors of economy and households (bottom level). Analytical solutions were proposed for the calculation of forecasts on top and bottom levels, analytical dependences were established to ensure the forecast accuracy and consistency between top and bottom levels. The obtained forecasts minimize the sum of squares of discrepancies for a set of possible solutions. A comparative analysis was made and the advantages of the proposed and known methods were identified. The examples of calculated demand for primary energy and electric energy at the national level and aggregated economy sectors and households in Ukraine until 2030 were presented. *Bibl. 8, Table 8.*

Key words: forecast, demand, sector, macrolevel, energy intensity, electricity intensity.

References

1. Jacobsen H.K. Integrating the bottom-up and top-down approach to energy-economy modelling; the case of Denmark, *Energy Economics*, 1998, 20, pp. 443–461.
2. Wanke P., E. Saliby E. TOP-DOWN OR BOT-TOM-UP FORECASTING? Pesquisa Operacional, Setembro a Dezembro de 2007, 27 (3), pp. 591–605.
3. Kulyk M.M. Metodi uzgodzhennja prognoznih rishen', *Problemi zagal'noi energetiki*, 2014, iss. 2, pp. 5–12. (Ukr.)
4. Energetichna strategija do 2030 roku (redakcija 2013 r.). — Rezhim dostupu: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13/paran3#n3>, <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/1071-2013-%D1%80>. (Ukr.)
5. Konsensus-prognoz MERT. — Rezhim dostupu: <http://www.me.gov.ua/Tags/DocumentsByTag?lang=uk-UA&tag=EkonomichnaSituatsiaTaMakroekonomichnePrognozuvannja>, <http://www.me.gov.ua/Documents/List?lang=uk-UA&tag=Konsensus-prognoz>. (Ukr.)
6. Malyarenko E.E., Maystrenko N.Yu. Prognozuvannja rivniv spozhivannja palivno-energetichnih resursiv z urahuvannjam potencialu energoberezhennja pri strukturnih zminah v ekonomici, *Problemi zagal'noi energetiki*, 2015, iss. 2, pp. 5–22. (Ukr.)
7. Osnovi metodologii planuvannja ta prognozuvannja. — Rezhim dostupu: <http://chitalky.ru/?p=991>. (Ukr.)
8. Normativnyj metod. — Rezhim dostupu: <http://eclib.net/14/25.html>. (Rus.)

Received November 12, 2015

**Подписывайтесь на журнал
«Энерготехнологии и ресурсосбережение» (индекс 74546)
на 2016 г. по Сводному Каталогу агентства
«УКРИНФОРМНАУКА»**

По вопросам организации подписки обращайтесь по адресам:

в Украине
ООО «Укринформнаука»
Директор «Укринформнаука»
Яцкив Татьяна Михайловна
Тел.: +38 (044) 288-03-46
e-mail: innovation@nas.gov.ua
<http://u-i-n.com.ua>

в России
ООО «Информнаука»
начальник отдела по работе с издателями
Богачева Екатерина Сергеевна
Тел.: +7 (495) 787-38-73
Моб.: +7 (916) 668-26-07
ICQ: 643180321
e-mail: e-bogacheva@viniti.ru
<http://www.informnauka.com>