

НАУКОВІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ БАЛАНСІВ

ISSN 2522-4344 (Online), ISSN 1562-8965 (Print). The problems of general energy, 2018, 3(54): 10–15
doi: <https://doi.org/10.15407/pge2018.03.010>

УДК 620.9

Г.О. КУЦ, канд. техн. наук, ст. наук. співр., **О.Є. МАЛЯРЕНКО**, канд. техн. наук,
ст. наук. співр., **Н.Ю. МАЙСТРЕНКО**, канд. техн. наук,
В.В. СТАНИЦІНА, канд. техн. наук, Інститут загальної енергетики
НАН України, вул. Антоновича, 172, м. Київ, 03150, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ПРОГНОЗНОГО ПОПИТУ НА ТЕПЛОВУ ЕНЕРГІЮ КОМПЛЕКСНИМ МЕТОДОМ З УРАХУВАННЯМ ПОТЕНЦІАЛУ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Розглянуто методичний підхід до прогнозування попиту на теплову енергію комплексним методом з використанням методів нормативного, прямого рахунку та векторного методу узгодження прогнозних рішень. Виконано прогноз споживання теплової енергії за видами економічної діяльності (ВЕД) та для населення з урахуванням потенціалу енергозбереження від структурних змін між ВЕД та технологічного потенціалу для окремих ВЕД та населення до 2040 р.

Ключові слова: тепла енергія, попит, прогноз, споживання, вид економічної діяльності, промисловість, населення.

Розвиток економіки потребує її енергетичного забезпечення та, відповідно, прогнозування рівнів споживання енергоресурсів на довгострокову перспективу. Методи екстраполяції, що зарекомендували себе при короткостроковому прогнозуванні, дають на дальню перспективу значну розбіжність для різних функцій, навіть при високому середньоквадратичному відхиленні. В умовах нестабільного розвитку економіки, яка значно залежить від зовнішніх факторів (військові дії, обмеженість доступу до власних енергоресурсів на окупованих територіях, нестабільність постачання вуглеводневого палива по імпорту), найбільш релевантним є нормативний метод, хоча метод прямого рахунку і його модифікації отримали найбільше розповсюдження в прогнозних оцінках енергоспоживання [1–7].

Метою статті є визначення особливостей прогнозування попиту на теплову енергію на різних ієрархічних рівнях: країни, видів економічної діяльності й населення. За ВЕД тепла енергія використовується на технологічні потреби та

комунальні (опалення, вентиляція приміщень, гаряче водопостачання). Населення споживає теплову енергію на опалення житла і гаряче водопостачання. Кожний з цих рівнів потребує використання кількох методичних підходів та різних алгоритмів визначення показників для оцінки споживання теплової енергії, оскільки вона має різне призначення, а постачання здійснюється від різних систем: централізованого тепlopостачання (ТЕЦ та потужні опалювальні котельні), децентралізованого тепlopостачання (опалювальні та промислові котельні і ТЕЦ підприємств) та індивідуальних систем опалення (електричні, пічні на твердому та газовому паливі).

Аналіз обсягів відпуску теплової енергії за 2005–2015 рр. (табл. 1) показує, що потреба, в основному, покривається опалювальними котельними (54–60%), ТЕЦ підприємств (10–14%) та ТЕЦ загального користування (17–27%). Необхідно зазначити, що за ці роки обсяг відпуску тепла джерелами СЦТ знизився близько удвічі (з 196201,4 тис. Гкал (2005 р.) до 99175,0 (2015 р.)).

Розподіл теплової енергії за напрямками споживання, до яких включено найбільш те-

© Г.О. КУЦ, О.Є. МАЛЯРЕНКО, Н.Ю. МАЙСТРЕНКО, В.В. СТАНИЦІНА, 2018

Таблиця 1 – Фактичні обсяги відпуску теплової енергії теплогенеруючими джерелами СЦТ України (за 2005, 2013, 2015 рр.)

Види теплогенеруючих джерел	Обсяги відпуску теплової енергії генеруючими підприємствами					
	2005 р.		2013 р.		2015 р.	
	млн Гкал	%	млн Гкал	%	млн Гкал	%
1. Конденсаційні теплові електростанції (КЕС)	2,14	1,2	1,67	1,1	1,65	1,6
2. Атомні електростанції	1,68	0,8	1,63	1,1	1,5	1,5
3. Теплові електростанції комбінованого виробництва тепла і електроенергії (ТЕЦ)	33,7	17,2	27,6	18,6	25,3	25,5
4. ТЕЦ підприємств	27,4	14,0	16,8	11,3	10,3	10,4
5. Опалювальні котельні	117,3	59,7	89,1	60,0	54,2	54,7
6. Утилізаційні установки	14,0	7,1	11,6	7,9	6,3	6,3
Всього за теплогенеруючими джерелами	196,2	100	148,3	100	99,2	100

плоємні ВЕД і населення, в 2015 р. був наступним (рис.1): сільське господарство, лісове господарство та рибне господарство – 2124,2 тис. Гкал (3,9 % від загального обсягу споживання ВЕД, який складає 54377,7 тис. Гкал); промисловість – 36201,7 (66,5%), у т. ч. добувна промисловість і розроблення кар'єрів – 2196,3 (4,0%), переробна промисловість – 31506,5 (57,9%), постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря; водопостачання; каналізація, поводження з відходами – 1728,9 (3,2%); транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність – 1281,1 (2,3%); інші ВЕД – 13041,8 (24,0%).

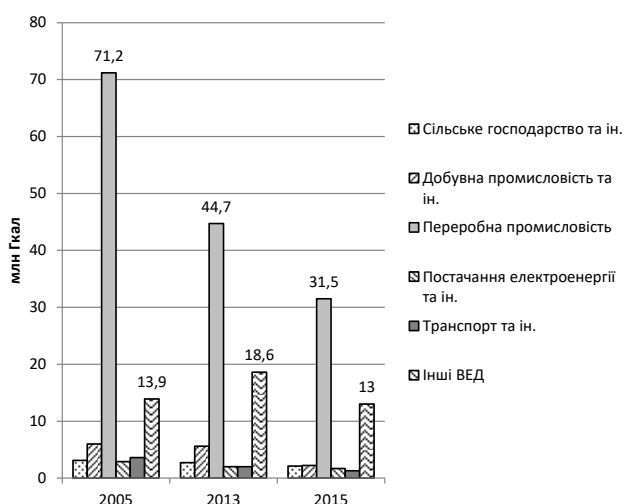


Рисунок 1. Структура споживання теплової енергії за видами економічної діяльності

Обсяг теплової енергії, спожитої населенням, за відсутності обліку, визначено шляхом розрахунку за нормативами на опалення і гаряче водо-

постачання з урахуванням коефіцієнта реального попиту, що отриманий при порівнянні фактичного і нормативного споживання за ретроспективний період у СЦТ (за обсягами відпуску теплової енергії) та опосередковано у системах децентралізованого та індивідуального теплопостачання (за обсягами відпуску теплової енергії населенню від промислових ТЕЦ і котельних, обсягами продажу природного газу та ін. палива населенню, з відокремленням витрат на приготування їжі [8], оцінкою споживання електронагрівальних приладів за даними їх продажу) [9]. Загальний обсяг теплової енергії, спожитої населенням від СЦТ і СДТ в 2015 р. дорівнював 158340,2 тис. Гкал (без урахування населення окупованих територій).

Показниками для прогнозування попиту на теплову енергію на відповідних ієрархічних рівнях є:

I Рівень країни (TOP-рівень): теплоємність ВДВ країни базового року, прогноз ВВП та ВДВ країни, обсяг прогнозованого теплозбереження відносно споживання у базовому році;

II Рівень укрупнених видів економічної діяльності (ВЕД) – секторів економіки (DOWN-рівень): теплоємність ВДВ секцій за КВЕД-2010 у базовому році, прогноз ВДВ відповідних секцій, обсяг прогнозованого теплозбереження за секціями відносно споживання у базовому році;

Населення: загальна площа житлового фонду на перспективу, демографічний прогноз, річні питомі витрати теплової енергії на опалення (Гкал/м²), річні питомі витрати теплової енергії на гаряче водопостачання (Гкал/1люд.), коефіцієнти реального попиту населення на теплову енергію.

Методи, що використані для прогнозування попиту на теплову енергію:

– TOP-рівень – нормативний метод на основі двох сценаріїв структури економіки;

- DOWN-рівень – *нормативний метод на основі двох сценаріїв структури за ВЕД*;
- Узгодження TOP та DOWN-рівнів – *комплексний (двоетапний) метод* [10];
- Населення – *нормативний метод та метод прямого рахунку*.

На рівні країни граничний обсяг теплової енергії, достатній для підтримки намічених темпів зростання ВВП, з урахуванням заходів з енергозбереження визначався за формулою [11]:

$$E_{sq}^t = e_{ВДВ sq}^{\delta} V_{ВДВ s}^t - \sum_i^I \Delta e_{iq}^{\delta-t} V_{ВДВ i}^t - \sum_i^I \Delta e_{iq}^t V_{ВДВ i}^t, \quad (1)$$

де $e_{ВДВ sq}^{\delta}$ – теплоємність валової доданої вартості країни (ВДВ) при s -структурі економіки у базовому році; $V_{ВДВ s}^t$ – прогнозний обсяг ВДВ країни при s -структурі економіки; $\Delta e_{iq}^{\delta-t}$ – зміна теплоємності валової доданої вартості (ВДВ) i -сектору економіки при зміні s -структури; $V_{ВДВ i}^t$ – прогноз обсягів ВДВ i -секторів економіки; Δe_{iq}^t – зниження теплоємності ВДВ i -сектору економіки за рахунок технологічних змін (модернізації, реконструкції обладнання, заміщенні іншою технологією, ін.), q – індекс енергоресурсу – тепла енергія.

На рівні ВЕД прогнозні рівні теплової енергії за динамікою виробництва найбільш енергоємних ВЕД з урахуванням структурних зрушень та зміни технологій визначались за формулою [11]:

$$E_{iq}^t = e_{ВДВ iq}^{\delta} V_{ВДВ i}^t - \Delta e_{iq}^{\delta-t} V_{ВДВ i}^t - \Delta e_{iq}^t V_{ВДВ i}^t, \quad (2)$$

де позначення формули (2) відповідають позначенням формули (1) для рівня i – сектор економіки (укрупнений ВЕД).

Вихідні дані по теплоємності ВДВ базового 2015 р. за ВЕД враховано наступні: сільське господарство – 0,01 Мкал/грн, добувна промисловість – 0,02 Мкал/грн, переробна промисловість – 0,13 Мкал/грн, постачання електроенергії – 0,04 Мкал/грн, транспорт – 0,01 Мкал/грн, інші ВЕД – 0,01 Мкал/грн; разом за ВЕД (країна) – 0,03 Мкал/грн. Інші вихідні для визначення прогнозного попиту на теплову енергію представлено у табл. 2 і 3.

Структурні фактори енергозбереження (табл. 3) визначають вплив змін у структурі економіки між секторами (укрупнені ВЕД) та в секторах економіки такими шляхами: зміною макроекономічних пропорцій в економіці з метою зниження енергоспоживання; зменшенням питомої ваги енергоємних ВЕД і виробництв секторів за рахунок розвитку менш енергоємних та наукоємних ВЕД з низькою енергоємністю та високою доданою вартістю.

Технологічне енергозбереження було враховано по енергоємних виробництвах. Цей потенціал енергозбереження обчислюється виключно як сума потенціалів на «нижньому» рівні (табл. 3).

Враховано також міжсекторальні заходи, до яких відносяться: використання сучасних ефективних систем обліку та контролю за витратами енергоресурсів, автоматичних систем керування теплоспоживанням; вибір оптимальної структури теплогенеруючих і теплоспоживаючих установок у секторах, використан-

Таблиця 2 – Прогнозні вихідні дані для визначення попиту на теплову енергію для груп споживачів на період до 2040 р.

Показники	2015	2020	2025	2030	2035	2040
ВВП , млрд грн, у т.ч. ВДВ за ВЕД, млрд грн (%):	1979,5 (100)	2307,4 (100)	2807,2 (100)	3415,3 (100)	4095,6 (100)	4633,8 (100)
- Сільське господарство, лісове господарство та рибне господарство	236,0 (11,9)	286,6 (12,4)	354,3 (12,6)	434,5 (12,7)	525,1 (12,8)	593,1 (12,8)
- Добувна промисловість і розроблення кар'єрів	94,8 (4,8)	92,3 (4,0)	101,1 (3,6)	116,1 (3,4)	110,6 (2,7)	120,5 (2,6)
- Переробна промисловість	239,1 (12,1)	258,4 (11,2)	280,7 (10,0)	310,8 (9,1)	360,4 (8,8)	407,8 (8,8)
- Постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря. Водопостачання; каналізація, поводження з відходами.	63,6 (3,2)	81,1 (3,5)	107,0 (3,8)	137,1 (4,0)	168,4 (4,1)	194,6 (4,2)
- Транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність	131,2 (6,6)	159,9 (6,9)	205,7 (7,3)	270,8 (7,9)	341,1 (8,3)	375,3 (8,1)
- Інші ВЕД	916,8 (46,3)	1084,1 (47,0)	1375,0 (49,0)	1731,0 (50,7)	2133,1 (52,1)	2428,1 (52,4)

Таблиця 3 – Обсяги економії (перевитрат) теплової енергії від структурного та технологічного теплозбереження до 2040 р., млн Гкал

Показники	2020	2025	2030	2035	2040
Потенціал теплозбереження на рівні країни (за ВЕД разом)	3,4	9,2	15,4	21,7	27,3
у т.ч. структурне теплозбереження	2,5	6,5	10,8	14,1	15,8
технологічне теплозбереження	0,9	2,7	4,6	7,6	11,5
- Сільське господарство	-0,02	0,0	0,06	0,14	0,22
у т.ч. структурне теплозбереження	-0,1	-0,18	-0,24	-0,33	-0,37
технологічне теплозбереження	0,09	0,18	0,3	0,47	0,59
- Добувна промисловість	0,64	1,23	1,67	2,59	3,0
у т.ч. структурне теплозбереження	0,44	0,81	1,15	2,07	2,4
технологічне теплозбереження	0,20	0,42	0,52	0,52	0,6
- Переробна промисловість	3,13	8,8	15,2	20,9	24,8
у т.ч. структурне теплозбереження	2,67	7,7	13,4	17,7	20,0
технологічне теплозбереження	0,46	1,1	1,8	3,2	4,8
- Постачання електроенергії, газу, ін.; водопостачання; ін.	-0,04	-0,02	0,03	0,25	0,75
у т.ч. структурне теплозбереження	-0,26	-0,64	-1,03	-1,39	-1,73
технологічне теплозбереження	0,22	0,62	1,06	1,64	2,48
- Транспорт та ін.	-0,026	-0,07	-0,22	-0,39	-0,31
у т.ч. структурне теплозбереження	-0,068	-0,19	-0,43	-0,68	-0,67
технологічне теплозбереження	0,042	0,12	0,21	0,29	0,36
- Інші ВЕД	-0,12	-0,74	-1,33	-1,72	-1,16
у т.ч. структурне теплозбереження	-0,21	-1,03	-2,05	-3,24	-3,87
технологічне теплозбереження	0,093	0,29	0,72	1,52	2,71

ня альтернативного палива, відновлювальної енергії та ін.

Прогнози, отримані на «верхньому» та «нижньому» рівнях, узгоджувались з використанням векторного методу за методикою акад. Кулика М.М. [10]. Оскільки в секції D «Постачання електроенергії та ін.» тепла енергія використовується лише на власне споживання секції, то потенціал енергозбереження від структурних зрушень на TOP та DOWN-рівнях співпадає, тобто:

$$e_{ВДВ_{sq}}^b \cdot \Delta V_{ВДВ_s}^{b-t} = \sum_i e_{ВДВ_{iq}}^b \cdot \Delta V_{ВДВ_i}^{b-t} \quad (3)$$

Результати узгодження прогнозних рівнів теплової енергії приведено у табл. 4.

Для прогнозування попиту на теплову енергію для населення використано 2 методи: прямого рахунку – для прогнозу попиту на гаряче водопостачання по питомих витратах теплової енергії на особу за базовий рік і демографічному прогнозу, та нормативний метод – для попиту на опалення будівель згідно існуючих норм на опалення [12] з урахуванням підвищення теплової ефективності будівель (табл. 5).

Результати обчислень проведено із застосуванням програми SPROS [13] і надано у табл. 6.

ВИСНОВКИ

Для визначення прогнозного попиту на теплову енергію на рівні країни та видів економічної діяльності доцільно використовувати удоскона-

Таблиця 4 – Розрахунок прогнозних рівнів споживання теплової енергії комплексним методом до 2040 р., тис. Гкал

Показники	2020	2025	2030	2035	2040
Споживання теплової енергії по теплоємності ВВП	57507,4	66065,5	77697,6	91179,9	100476,1
Споживання теплової енергії за ВЕД	57435,8	64845,9	74624,1	86223,2	94789,9
R(t)	71,6	1219,6	3073,5	4956,7	5686,2
$\Delta n(t)$	0,71	0,805	0,906	0,945	0,938
n_{\min}	2	2	2	2	2
n_{\max}	3	3	3	3	3
$S(n_{\min})$ (t)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
$S(n_{\max})$ (t)	0,41667	0,41667	0,41667	0,41667	0,41667
$Y_{\text{TOP}}(n_{\min})$	57471,6	65455,7	76160,85	88701,55	97633,0
$Y_{\text{TOP}}(n_{\max})$	57477,57	65557,33	76416,96	89114,59	98106,83
$Y_{\text{TOP}}(t)$	57475,84	65537,5	76392,89	89091,88	98077,46
q (t)	1,0007	1,0112	1,0237	1,0333	1,0347

Таблиця 5 – Показники для визначення та обсяги прогнозного попиту на теплову енергію для населення (без урахування окупованих територій у 2015 р.*)

Показники	2015*	2020	2025	2030	2035	2040
- питомі річні витрати на опалення, Гкал/м ²	0,230	0,210	0,186	0,170	0,161	0,160
- прогноз загальної площі житлового фонду, млн м ²	973,8	1137,4	1167,5	1198,3	1229,9	1230,0
- норма площі на 1 люд., м ² /люд.	24,3	26,8	28,7	30,7	31,6	31,7
- питомі річні витрати на гаряче водопостачання, Гкал/1 люд	1,860	1,791	1,775	1,672	1,670	1,670
- прогноз чисельності населення, млн осіб	40,0	42,4	40,7	39,0	38,9	38,8
- коефіцієнт реального попиту на теплову енергію	0,539	0,54	0,625	0,675	0,75	0,8
Прогноз витрат теплової енергії на потреби населення з урахуванням коефіцієнта реального попиту, млн Гкал	160,8	170,0	180,9	181,5	197,2	208,6

Таблиця 6 – Прогнозний попит на теплову енергію до 2040 р., млн Гкал

Споживачі	2015 р.	2020 р.	2025 р.	2030 р.	2035 р.	2040 р.
Разом за ВЕД (без населення), у т.ч.	52,2	57,5	65,5	76,4	89,1	98,1
Сільське господарство, лісове господарство та рибне господарство	2,1	2,5	3,0	3,7	4,4	4,9
Добувна промисловість та розроблення кар'єрів	2,3	2,0	2,0	2,3	2,2	2,4
Переробна промисловість	31,5	33,6	36,3	40,0	45,8	50,6
Постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря; Водопостачання; каналізація, поводження з відходами	2,4	2,8	3,5	4,2	4,9	5,0
Транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність	1,3	1,5	1,9	2,5	3,1	3,4
Інші ВЕД	12,6	15,0	18,8	23,6	28,6	31,6
Втрати в тепломережах	14,6	14,2	13,9	13,8	13,0	11,2
Попит населення	160,82	169,98	180,86	181,52	197,23	208,6
Україна, всього	227,6	241,7	260,3	271,7	299,3	317,9

лену методику [11], при цьому секція D обчислюється за загальним алгоритмом для ВЕД, а структурний потенціал енергозбереження на TOP- та DOWN-рівні співпадатиме (немає перетворення енергоносія в інші види палива та енергії). Визначення прогнозного попиту для населення відрізняється методичним підходом від інших енергоносіїв. Співпадіння методики обчислення буде лише для витрат теплової енергії на гаряче водопостачання, яке обчислюється за нормою на 1 люд. [12]. Прогноз теплової енергії на опалення будівель має визначатись за прийнятою методикою [12], при цьому тепла енергія на опалення може надходити як від систем централізованого і децентралізованого опалення, так і від індивідуальних. Останні види теплогенеруючих джерел можуть виробляти теплову енергію шляхом спалювання палива у побутових пічках (індивідуальні будинки) та використання електричних нагрівачів повітря приміщень (квартири та будинки). Статистичні дані для визначення фактичного споживання теплової енергії у повному обсязі в статзвітності 11-МТП відсутні, тому для визначення прогнозного попиту теплової енергії для населення потрібно виконувати розрахунок, що включає витрати палива населенням згідно форми 4-МТП без урахування витрат палива на приготування їжі (експертним шляхом) та враховувати обсяги використання електронагрівальних приладів населенням (експертним шляхом). Ця особливість відрізняє підхід до прогнозування теплової енергії від прогнозування для інших енергоносіїв.

1. Пириашвили Б.З., Ворончук М.М., Галиновський Е.И. и др. Имитационное моделирование в энергетике; под ред. Б.М. Данилишина. К.: Наук. думка, 2008. 303 с.
2. Лі Чао. Моделі прогнозування споживання електроенергії в КНР на довгострокову перспективу. *Вісник ОНУ ім. І.І. Мечникова*. 2016. Т. 21. Вип. 5(47). С. 26—32. http://visnyk-onu.od.ua/journal/2016_21_5/06.pdf (дата звернення 28 серпня 2018 р.).
3. Малярченко О.Є., Майстренко Н.Ю. Прогнозування рівнів споживання паливно-енергетичних ресурсів з урахуванням потенціалу енергозбереження при структурних змінах в економіці. *Проблеми загальної енергетики*. 2015. № 2(41). С. 5—22. <https://doi.org/10.15407/hge2015.02.005>.
4. Розен В.П., Демчик Я.М. Порівняльний аналіз методів прогнозування споживання електро-

енергії виробничих систем *Вісник Криворізького національного університету* Зб. наук. праць. 2016. Вип. 42. С. 41—47. <http://visnykknknu.com.ua/wp-content/uploads/file/42/11.pdf> (дата звернення 28 серпня 2018 р.).

5. Черненко П.О., Мартинюк О.В. Середньострокове дворівневе прогнозування електричного споживання енергооб'єднання. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2008. № 6. С. 77—81. ISSN 1997-9266.
6. Кулик М.М. Методи узгодження прогнозних рішень. *Проблеми загальної енергетики*. 2014. № 2(37). С. 5—12.
7. Сас Д.П. Прогнозування попиту на електричну енергію за допомогою методу UP-DOWN. *Проблеми загальної енергетики*. 2013. № 3(34). С. 11—16.
8. Агеєва 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*. Інститут загальної енергетики НАН України. К., 2002.
9. Білодід В.Д., Дерій В.О. Оцінка потужності електричних теплогенераторів для систем централізованого теплопостачання як регуляторів навантаження електроенергетичної системи. *Проблеми загальної енергетики*. 2016. № 4(47). С. 40—49. <https://doi.org/10.15407/pge2016.04.040>.
10. Кулик М.М., Малярченко О.Є., Майстренко Н.Ю. Двоетапний метод прогнозування перспективного попиту на енергетичні ресурси. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2015. № 5-6. С. 25—33.
11. Кулик М.М., Малярченко О.Є., Майстренко Н.Ю., Станиціна В.В., Спітківський А.І. Застосування методів комплексного прогнозування для визначення перспективного попиту на первинні енергетичні ресурси. *Проблеми загальної енергетики*. 2017. № 1(48). С. 5—15. <https://doi.org/10.15407/pge2017.01.005>.
12. Посібник та доповнення до “Норм та вказівок по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні”. КТМ 204 України 244-94. 2004. 84 с.
13. Спітківський А.І., Малярченко О.Є., Майстренко Н.Ю., Станиціна В.В. Використання програми «SPROS» для прогнозування попиту на енергетичні ресурси. *Проблеми загальної енергетики*. 2017. № 2(49). С. 5—13. <https://doi.org/10.15407/pge2017.02.005>.

Надійшла до редколегії: 30.08.2018