

Паливо та енергетика

УДК 620.9

DOI: 10.33070/etars.1.2025.01

Малярєнко О.Є., канд. техн. наук, ORCID: 0000-0001-5882-916X,
Майстрєнко Н.Ю., канд. техн. наук, ORCID: 0009-0004-3677-2333,
Станиціна В.В., канд. техн. наук, ORCID: 0000-0002-1005-6185

Інститут загальної енергетики Національної академії наук України
вул. Антоновича, 172, 03150 Київ, Україна, e-mail: malyarenlena@gmail.com

Прогноз потреби у тепловій енергії з урахуванням реалій воєнного часу та повоєнного відновлення (до 2030 року)

Анотація. Прогноз споживання теплової енергії в країні та за секціями економіки є актуальним для визначення обсягів генерації теплової енергії різними видами теплогенеруючих джерел, що працюють на органічному паливі та відновлюваних джерелах енергії. Прогноз споживання теплової енергії ґрунтується на макроекономічних показниках. Ці показники оцінено з відкритих джерел інформації за фактичним станом економіки країни, що зазнала скорочення через руйнування, які завдані російським агресором. Метою дослідження є розроблення методичних підходів до прогнозування споживання теплової енергії за сценаріями розвитку економіки з урахуванням реалій воєнного часу та обмеженої статистичної інформації. У статті наведено розроблений авторами макроекономічний прогноз валового внутрішнього продукту України та валових доданих вартостей укрупнених секцій економіки. Він враховує реалії воєнного часу на основі оцінок вітчизняних економістів та фахівців міжнародних фінансових організацій. Показано методологічний підхід до прогнозування споживання теплової енергії на рівні країни та секцій економіки. Розроблено прогнози споживання теплової енергії для двох сценаріїв розвитку економіки: 1) помірного відновлення за умови відродження економіки країни до 2030 р.; 2) консервативний за умови збереження існуючих тенденцій розвитку промислового сектора економіки та невідновлення великих зруйнованих підприємств. Враховано необхідність модернізації інфраструктури та переорієнтацію економіки на новітні технологічні рішення. Прогнозування споживання теплової енергії у статті базується на комплексному аналізі поточного стану енергетичної системи та промислового сектора економіки, їх потенціалу з впровадженням інновацій та адаптації до змінюваних умов з урахуванням міжнародного досвіду. *Бібл. 70, табл. 7.*

Ключові слова: тепла енергія, населення, секції економіки, валовий внутрішній продукт (ВВП), прогноз, споживання.

Вступ

Економіка України зазнала значних руйнувань внаслідок повномасштабного вторгнення Росії в Україну в лютому 2022 року. Частина економіки, зокрема приватний сектор, перелаштувалася на виробництво деяких видів озброєння, надання послуг з ремонту військової техніки та автомобілів, надання широкомасштабної медичної допомоги постраждалим військовим та цивільним та ін. Також внаслідок воєнних дій були захоплені або зазнали екологічних катастроф території, що раніше використовувалися у сільському господарстві. Була пошкоджена критична інфраструктура з надання послуг електропостачання, теплозабезпечення та водопостачання. Деякі прифронтові регіони мають обмеження по електро-, тепло- та водопостачанню. Зруйновані цілі міста та населені пункти. Усі ці жахливі реалії призводять до необхідності перегляду розроблених раніше прогнозів попиту на теплову енергію, що враховували лише окупацію Криму, часткову окупацію Луганської та Донецької областей [1–4].

Запропоновані у попередніх публікаціях макроекономічні показники потребували серйозного перегляду. Це спонукало авторів виконати наведену нижче роботу для оцінки потреби країни та її основних видів економічної діяльності в тепловій енергії. Науковцями Інституту газу НАН України здійснено низку досліджень щодо трансформації функціонування системи теплозабезпечення країни, регіонів, окремих міст [5–6], впровадження новітніх технологій [7–11], врахування екологічних обмежень [12–14]. Результати, які наведені у статті, доповнять дослідження, що виконані науковцями Інституту газу НАН України, дадуть можливість розробити прогнозний баланс теплової енергії.

Проблемам прогнозування енергоспоживання та розроблення прогнозних енергетичних балансів присвячені роботи багатьох українських вчених, зокрема Кулика М.М., Розена В.П., Касьянкової Н.В., Піріашвілі Б.З., Макарова В.М., Капліна М.І., Маляренко О.Є., Майстренко Н.Ю., Станиціної В.В. та ін. [2, 15–22]. Удосконалений нормативний метод, що є найбільш релевантним в умовах постійних змін в економіці внаслідок війни, широко розглянутий в роботах Інституту загальної енергетики [1–4]. Публі-

кації зарубіжних вчених, що стосуються методів прогнозування попиту на енергоресурси, за останні роки є досить цікавими з точки зору тематики досліджень. Деякі автори займаються глобальними прогнозами енергоресурсів у світі [23, 24], деякі розробляють методи прогнозування, здебільшого електроенергії [25–27], деякі вирішують вузьку задачу прогнозування потреби в енергоресурсах для конкретної групи споживачів, наприклад, помісячне споживання електроенергії студентським містечком [28], прогнозування споживання електроенергії для смарт-систем [29], прогнозування теплового навантаження в централізованій системі тепlopостачання [30], прогнозування споживання теплової енергії для опалення житлової забудови невеликого міста [28–31]. У жодній з розглянутих робіт не враховувалися сценарії воєнних дій з різким падінням виробництва внаслідок окупації та руйнувань промислових, енергетичних та інфраструктурних об'єктів та післявоєнного відродження за сценаріями, визначеними на основі метода експертних оцінок. Для повоєнного відновлення економіки країни, у тому числі будівництва нових, реконструкції чи модернізації існуючих промислових підприємств та теплогенерувальних об'єктів, необхідною є інформація щодо прогнозу потреби у тепловій енергії в країні та за секціями економіки.

Мета дослідження

Метою дослідження є розроблення підходів до прогнозування потреби у тепловій енергії та формування можливих сценаріїв теплозабезпечення з урахуванням реалій воєнного часу, повоєнного відновлення та вкрай обмеженої статистичної інформації.

Передумови для прогнозування макроекономічних показників розвитку України

У результаті повномасштабного вторгнення Росії падіння валового внутрішнього продукту (ВВП) України у 2022 році становило –28,8 % [32]. На 9 найбільш постраждалих регіонів припадало 30 % національного ВВП. У 2023 році відбулося зростання ВВП України на 5,8 % [32]. За останніми даними, уряд очікує зростання цього

показника у 2024 році до 2,5 %, знизивши очікуване значення з 4,9 % [33]. Міністерство економіки прогнозувало зростання ВВП України у 2024 році на 4 %. Світовий банк очікував, що у 2024 році економіка України зросте на 3,2 %, а вже у 2025 році — на 6,5 % [34]. В Інституті економіки і прогнозування НАН України розроблено дві структури післявоєнної економіки України [35]. Кабінет Міністрів прогнозував зростання ВВП на 4,6 % у 2024 році, на 6,8 % у 2025 році, на 6,6 % у 2026 році [36]. Нацбанк України очікує, що у 2024 році зростання економіки буде до 3,6 % з наступним прискоренням зростання ВВП до 4–6 % на рік. Такі прогнози Нацбанку спираються на припущення, що від 2025 року буде відчутне зниження високих безпечових ризиків та при цьому буде збережена підтримка іноземних партнерів. За даними Міністерства економіки, більшість ключових видів економічної діяльності в 2023 році демонструвала позитивні результати. Окремо у Мінекономіки відзначили, що відбувається відновлення економічної активності підприємств у багатьох секторах переробної промисловості, що важливо саме під час воєнних дій. Найбільшими стримуючими факторами для росту економіки нині зали-

шалися безпекова ситуація, руйнування виробничих потужностей окремих підприємств (переважно на сході країни) та логістичні обмеження для експортерів. Таким чином, різні провідні інституції світу та України мають неоднакове бачення її майбутнього. Ці дані було взято за основу при прогнозуванні макроекономічних показників.

На основі публікації Інституту економіки і прогнозування НАН України [35] та з урахуванням тенденцій зміни економіки України за два роки війни запропоновано власне бачення розвитку економічних процесів, які будуть мати місце до 2030 року. Цей прогноз ВВП та структури валової доданої вартості (ВДВ) є більш помірним у порівнянні з прогнозом, наведеним у [35]: у ньому закладено менші темпи відновлення економіки країни (сценарій помірного відновлення економіки). Вибрані найбільш енергоємні сектори (групи секцій) економіки: сільське господарство, добувна промисловість, переробна промисловість; постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря; водопостачання, поводження з відходами; транспорт та ін.; інші види економічної діяльності (ВЕД). Результати прогнозу наведені у табл. 1 [37].

Також на основі фактичного стану та тенден-

Таблиця 1. Прогноз ВВП України та прогнозна структура ВДВ за основними ВЕД за власними розрахунками (сценарій помірного відновлення економіки)*

Table 1. Ukraine's GDP and structure of gross added value forecasts by main types of economic activity according to own calculations (the scenario of moderate recovery of the economy)

Показники	2020 (факт.)	2021 (факт.)	2022 (факт.)	2023 (факт.)	2025	2030
Прогноз ВВП у цінах 2016 р., млрд грн	2604,1	2596,3	1841,9	1878,7	2083,0	2827,2
Прогноз ВДВ разом у цінах 2016 р., млрд грн	2251,8	2232,8	1618,8	1653,3	1853,8	2516,2
Структура валової доданої вартості за основними видами економічної діяльності, % до ВВП						
Сільське господарство	11,8	10,9	8,2	7,4	9,5	10,0
Промисловість, у тому числі:	19,1	20,4	18,1	17,2	19,0	19,3
добувна	4,7	6,4	5,7	4,0	5,5	5,3
переробна	11,5	10,3	7,6	8,2	9,1	9,5
постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря; водопостачання, поводження з відходами	2,9	3,7	4,8	5,0	4,4	4,5
Транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність	5,6	5,4	3,9	4,3	4,8	7,5
Інші ВЕД	50,1	49,3	58,1	58,7	52,7	49,1
ВДВ разом	86,6	86,0	88,3	87,6	86,0	85,9
Податки-субсидії	13,4	14,0	11,7	12,4	14,0	14,1
ВВП	100	100	100	100	100	100

* Прогноз складено за умови припинення воєнних дій до кінця 2025 року.

цій 2022–2023 рр., які висвітлені у відкритих джерелах інформації, розроблено другий сценарій розвитку економіки — консервативний, тобто розвиток економіки з урахуванням падіння виробництва, руйнувань підприємств та об'єктів інфраструктури за умови збереження існуючих тенденцій розвитку промислового сектора економіки та невідновлення великих зруйнованих підприємств.

Проаналізовано фактичний стан економіки України. Прогноз економічного розвитку України до 2030 року, що було взято за основу для розроблення прогнозу споживання теплової енергії, виконувався за авторськими методиками з урахуванням зазначених вище показників.

Методологічний підхід до прогнозування потреби у тепловій енергії та вихідні дані

Обчислення прогнозних рівнів потреби у тепловій енергії для рівня країни (верхній рівень) виконується за удосконаленим нормативним методом за рівнянням [2]:

$$E_{T_j}^{t_l} = e_{ВДВ_{T_j}}^{\delta} V_{ВДВ_{T_s}}^{t_l} \mp \Delta e_{ВДВ_{ij}}^{\delta-t_l} V_{ВДВ_{T_s}}^{t_l} - \sum_{i=1}^I \Delta e_{ВДВ_{T_{sj}}}^{t_l} V_{ВДВ_{is}}^{t_l} \pm \sum E_{замj}^{t_l} \quad (1)$$

де $e_{ВДВ_{T_j}}^{\delta}$ — енергоемність (теплоємність) ВДВ j -го виду енергоресурсу (теплової енергії) на рівні країни у базовому δ році; визначається розрахунково за статистичними даними [32]; $V_{ВДВ_{T_s}}^{t_l}$ — прогноз обсягів ВДВ країни, створених при s -ій прогнозній структурі економіки у t -му році; обчислюється як частка від прогнозного ВВП за прогнозовою структурою ВДВ за секціями економіки (див. табл. 1); $\Delta e_{ВДВ_{ij}}^{\delta-t_l}$ — зміна енергоемності (теплоємності) ВДВ країни j -го виду енергоресурсу у прогнозному році за структурної перебудови економіки відносно структури базового року; визначається як добуток різниці між частками секцій економіки у структурі ВВП за відповідні роки та енергоемністю базового року; $\Delta e_{ВДВ_{T_{sj}}}^{t_l}$ — зміна енергоемності (теплоємності) ВДВ країни j -го виду енергоресурсу у прогнозному році за технологічної перебудови економіки;

визначається за методикою згідно з [2]; $E_{замj}^{t_l}$ — обсяги заміщення j -го виду енергоресурсу (теплової енергії) іншими його видами внаслідок впровадження новітніх ефективних технологій або заміщення більш дорогого чи дефіцитного ресурсу більш доступним. Для теплової енергії розглядається зменшення (зі знаком «-») її споживання внаслідок впровадження електроопалення та гарячого водопостачання з відновлюваних джерел енергії. Для електроенергії цей самий захід буде обчислюватися зі знаком «+», оскільки виробництво електроенергії на ці потреби збільшиться.

Для вибору прогнозної структури економіки до рівняння (1) додається обмеження по енергоемності ВДВ країни:

$$e_{ВДВ_{T_j}}^{t_l} \leq e_{ВДВ_{T_j}}^{\delta} \quad (2)$$

Тобто будь-які структурні та технологічні зміни в економіці мають на меті зниження енергоемності ВВП країни та енергоемності ВДВ. Якщо умова (2) не виконується, то розглядаються інші варіанти обсягів впровадження структурних та технологічних змін. Технологічні зміни завжди дають економію енергоресурсів, а структурні можуть давати збільшення споживання, наприклад, при збільшенні частки промислового виробництва, особливо енергоемних видів економічної діяльності. У такому випадку розглядається або впровадження більш новітніх, але дорожчих технологій, або зменшення обсягів виробництва енергоемних видів економічної діяльності. Для обчислення прогнозних обсягів ВДВ секторів та секцій економіки використовується методика, наведена у [2]. Вихідні дані щодо споживання теплової енергії у відкритому доступі згідно з сайтом Державної служби статистики України є за 2020 рік, тому він прийнятий за базовий (табл. 2) [32].

Найбільшими споживачами теплової енергії з промислових виробництв є металургійне — 25,8 %, харчових продуктів — 13,8 % та хімічних речовин і хімічної продукції — 13,1 % від використання теплової енергії за видами економічної діяльності (див. табл. 2). Втрати у тепломережах не входять у величину «Обсяг використання теплової енергії — усього» та, відповідно, у прогнозне споживання. У 2020 році втрати склали 18,2 % від загального використання теплової енергії за ВЕД, із них 90,7 % у секції «Постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря» [32].

Таблиця 2. Використання теплової енергії за видами економічної діяльності за 2020 рік*, тис. Гкал
Table 2. Heat use by the type of economic activities in 2020

Види економічної діяльності	Обсяг викорис- тання теплової енергії — усього		у тому числі		Втрати теплоенергії в тепломере- жах енерго- систем
			на вироб- ництво про- дукції (викो- нання робіт)	на власні пот- реби енергоге- неруючих підп- риємств (уста- новок)	
Усього	56501,8	100	33882,0	11557,3	10283,9
Сільське господарство, лісове господарст- во та рибне господарство	1736,7	3,1	1516,0	к	1,2
Добувна промисловість та розроблення кар'єрів	1752,6	3,1	1619,2	21,1	4,9
Переробна промисловість, у тому числі:	38031,9	67,3	28481,6	8580,4	909,8
виробництво харчових продуктів	7799,0	13,8	7341,8	274,9	16,0
виробництво коксу та продуктів нафто- перероблення	2861,7	5,1	2523,7	к	к
виробництво хімічних речовин та хі- мічної продукції	7422,0	13,1	7145,1	150,7	289,8
металургійне виробництво	14590,7	25,8	6777,7	7732,1	к
інші виробництва переробної промис- ловості	5358,5	9,5	4693,2	422,7	604,0
Постачання електроенергії, газу пари та кондиційованого повітря	3462,5	6,1	406,6	2837,9	9328,5
Водопостачання; каналізація, поводжен- ня з відходами	378,9	0,7	321,6	2,6	18,7
Інші ВЕД	11139,2	19,7	1537,0	100,5	2,4

* Використання теплової енергії на виробничо-експлуатаційні та господарські потреби підприємств без ураху-
вання обсягів, відпущених населенню; к — конфіденційна статистична інформація.

Таблиця 3. Показники економічної та енергетичної ефективності економіки у базовому 2020 році
Table 3. Indicators of economic and energy efficiency of the economy in the base year of 2020

Показники	ВДВ у цінах 2016 р., млрд грн [37]	Споживання теплової енергії, тис. Гкал [32]	Енергоємність (теплоємність) ВДВ, Мкал/грн
Країна (за ВЕД без населення)	2251,8	56502,9	0,0251
А. Сільське господарство, лісове господарст- во та рибне господарство	306,3	1737,8	0,0057
В. Добувна промисловість та розроблення кар'єрів	122,1	1752,6	0,0144
С. Переробна промисловість	298,7	38031,9	0,1273
Д. Постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря. Водопостачання; каналізація, поводження з відходами	74,8	3841,4	0,0514
Н. Транспорт, складське господарство, пош- това та кур'єрська діяльність	146,4	1286,2	0,0088
Інші ВЕД (група секцій F, G, I-U)	1303,6	9853,0	0,0076

За фактичними даними Державної служби статистики України [32] розраховано теплоємність за укрупненими секціями економіки у базовому році (табл. 3). Обчислена енергоемність (теплоємність) ВДВ використана у розрахунковій моделі прогнозування потреби у тепловій енергії за рівняннями (1), (2) з використанням показників енергоефективності (зміна енергоемності при технологічних змінах), структури економіки базового року та прогнозних значеннях ВДВ секцій економіки, що наведені у табл. 1.

Результати

Прогноз потреби у тепловій енергії виконано за методологією та розрахунковою моделлю, описаною вище, та більш докладно в [1–4]. Ця модель дає можливість обчислити прогнозні рівні потреби в енергоресурсі за структурних та технологічних змін для країни в цілому та для секцій економіки, використовуючи показники енергоефективності базового року. Прогноз потреби у тепловій енергії для сценарію помірного відновлення економіки виконано за допомогою авторської програми у середовищі Excel з використанням розроблених прогнозів ВВП та ВДВ разом по країні та прогнозу структури ВДВ за секціями економіки за вихідними даними, наведеними у табл. 1–3. Прогноз потреби у тепловій енергії для сценарію помірного відновлення економіки (табл. 4) розроблено для двох варіантів: варіант 1 — структура базового 2020 року (структура секцій економіки 2020 року (у відсотках) до прогнозного ВВП зберігається на прогнозні роки); варіант 2 — прогнозна структура економіки (прогнозна структура економіки на перспективу (у відсотках) до прогнозного ВВП) (див. табл. 1). Результати у табл. 4 наведено по країні в цілому (TOP-рівень) та за укрупненими секціями економіки (DOWN-рівень).

Як видно з табл. 4, отримані прогнози рівня країни разом та за секціями потребують або узгодження векторним методом [2], або розгляд їх у розглянутому діапазоні. Технологічний потенціал енергозбереження по окремих секціях враховано в частині зменшення втрат теплової енергії в розподільчих мережах до нормативних показників [38], зниження витрат на виробництво енергоемної продукції, зокрема у комбінованому виробництві електричної та теплової енергії [39, 40], коксохімічному, харчовому та хімічному виробництвах [2, 41, 42] та в бюджетних установах

[43] згідно з виконаними раніше оцінками з підвищення енергоефективності цих технологічних процесів [44].

Для консервативного сценарію відновлення економіки розроблено прогноз потреби у тепловій енергії для секцій за ВЕД (табл. 5).

Споживання теплової енергії населенням (централізоване тепlopостачання) можливо оцінити за статистичними вихідними даними, що наведені у продуктовому балансі теплової енергії за 2020 рік [32]. Згідно з цими даними, споживання теплової енергії населенням складало 18946,5 тис. Гкал, що відповідає витратам теплової енергії, відпущеної системою централізованого та помірно централізованого тепlopостачання. Децентралізоване та автономне тепlopостачання враховується у продуктивних балансах палива за видами (вугілля, природний газ, інші види палива). Оцінювати цю частину витрат теплової енергії наразі не є можливим, оскільки немає інформації стосовно роботи малих котельень, фактичної площі житлового фонду та його втрат внаслідок воєнної агресії Росії проти України. У табл. 6 надано прогноз потреби у тепловій енергії населенням від систем централізованого та помірно централізованого тепlopостачання за питомим споживанням теплової енергії на 1 особу.

Сумарну прогнозну потребу у тепловій енергії за двома сценаріями надано у табл. 7.

Перспективні технології для теплозабезпечення в умовах низьковуглецевого розвитку та відновлення теплогенеруючих джерел

Україна проголосила про намір досягти кліматичної нейтральності у 2060 році, що на 10 років пізніше європейської цілі. У липні 2021 року уряд затвердив нову ціль України: до 2030 року зменшити викиди парникових газів на 65 % від рівня 1990 року. Станом на 2021 рік Україна вже скоротила обсяг викидів на 62,5 % від 1990 року, але це скорочення відбулося насамперед через занепад промисловості після розпаду Радянського Союзу [45]. Тому актуальним є впровадження в Україні, у тому числі в теплогенерації, технологій, які будуть сприяти зменшенню викидів парникових газів, а також зменшенню використання органічного палива та підвищенню енергетичної незалежності держави. Нижче розглянемо ті заходи та технології, широке впровадження яких можливе в Україні.

Таблиця 4. Прогноз потреби у тепловій енергії по країні (TOP-рівень) та за укрупненими секціями економіки (DOWN-рівень) для сценарію помірного відновлення економіки, тис. Гкал**Table 4. Forecast of heat energy consumption by country (TOP-level) and by aggregated sections of the economy (DOWN-level) for the scenario of moderate recovery of the economy, thousand Gcal**

Показники	2020 р. (факт.)	2025 р.	2030 р.
Потреба у тепловій енергії за теплоємністю ВДВ країни та структурі економіки базового року (вар. 1)	56502,9	46515,8	63136,9
Потреба у тепловій енергії за теплоємністю ВДВ країни базового року та прогнозованої структури економіки (вар. 2)	56502,9	44949,6	60937,9
Секція А. Сільське господарство, лісове господарство та рибне господарство			
Потреба у тепловій енергії за теплоємністю ВДВ секції та структурі економіки базового року (вар. 1)	1737,8	1288,3	1748,5
Потреба у тепловій енергії за теплоємністю ВДВ секції базового року та прогнозованої структури економіки (вар. 2)	1737,8	1122,8	1604,1
Секція В. Добувна промисловість і розроблення кар'єрів			
Потреба у тепловій енергії за теплоємністю ВДВ секції та структурі економіки базового року (вар. 1)	1752,6	1913,2	2596,7
Потреба у тепловій енергії за теплоємністю ВДВ секції базового року та прогнозованої структури економіки (вар. 2)	1752,6	1644,1	2150,4
Секція С. Переробна промисловість			
Потреба у тепловій енергії за теплоємністю ВДВ секції та структурі економіки базового року (вар. 1)	38031,9	27320	37080
Потреба у тепловій енергії за теплоємністю ВДВ секції базового року та прогнозованої структури економіки (вар. 2)	38031,9	24137	34200
Секції D, E. Постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря. Водопостачання; каналізація, поводження з відходами			
Потреба у тепловій енергії за теплоємністю ВДВ секції та структурі економіки базового року (вар. 1)	3841,4	3960	5374
Потреба у тепловій енергії за теплоємністю ВДВ секції базового року та прогнозованої структури економіки (вар. 2)	3841,4	4709	6536
Секція Н. Транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність			
Потреба у тепловій енергії за теплоємністю ВДВ секції та структурі економіки базового року (вар. 1)	1286,2	1214,8	1648,8
Потреба у тепловій енергії за теплоємністю ВДВ секції базового року та прогнозованої структури економіки (вар. 2)	1286,2	1079,8	2290,0
Група секцій F, G, I-U. Інші ВЕД			
Потреба у тепловій енергії за теплоємністю ВДВ секції та структурі економіки базового року (вар. 1)	9853,0	7762,0	10535,1
Потреба у тепловій енергії за теплоємністю ВДВ секції базового року та прогнозованої структури економіки (вар. 2)	9853,0	8297,3	10492,4
Разом за секціями			
Потреба у тепловій енергії за структури економіки базового року (вар. 1)	56502,9	43457,4	58983,6
Потреба у тепловій енергії за прогнозованої структури економіки (вар. 2)	56502,9	40989,5	57273,4

Таблиця 5. Прогноз потреби у тепловій енергії за консервативним сценарієм на рівні секцій за ВЕД, тис. Гкал**Table 5. Forecast of demand for thermal energy according to a conservative scenario at the level of sections for foreign trade, thousand Gcal**

Секції за ВЕД	2020 р. (факт.)	2025 р.	2030 р.
А. Сільське господарство, лісове господарство та рибне господарство	1737	1389	1737
В. Добувна промисловість та розроблення кар'єрів	1753	1227	1577
С. Переробна промисловість, у тому числі:	38032	19043	23618
виробництво харчових продуктів	7799	6239	7799
виробництво коксу та продуктів нафтоперероблення	2862	1417	1629
виробництво хімічних речовин та хімічної продукції	7422	3563	4275
металургійне виробництво	14591	5253	6828
інші виробництва переробної промисловості	5358	2572	3086
Д. Постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря	3462	2666	3199
Е. Водопостачання; каналізація, поводження з відходами	379	292	321
Група секцій F, G, I-U. Інші ВЕД	11139	8020	9223
Разом	56502	32637	39676

Таблиця 6. Прогноз потреби у тепловій енергії населенням від систем централізованого та помірно централізованого теплопостачання, тис. Гкал**Table 6. Forecast of heat energy consumption by the population from centralized and moderately centralized heat supply systems, thousand Gcal**

Показники	2020 р. (факт.)	2025 р.	2030 р.
Чисельність населення (оціночні дані за публікаціями у ЗМІ), млн осіб	41,1	33,0	38,0
Питоме споживання теплової енергії населенням за базовий рік, Мкал/особу	461,0	461,0	461,0
Потреба у тепловій енергії населенням, тис. Гкал	18946,5	15212,5	17517,5

Таблиця 7. Прогнози потреби у тепловій енергії по країні та за укрупненими секціями економіки для сценаріїв помірного відновлення економіки та консервативного, тис. Гкал**Table 7. Forecasts of thermal energy consumption by country and by consolidated sections of the economy for the scenarios of moderate recovery of the economy and conservative, thousand Gcal**

Показники	2020 р. (факт.)	2025 р.	2030 р.
Потреба у тепловій енергії по країні (ТОР-рівень) без потреб населення для сценарію помірного відновлення економіки, тис. Гкал	56502,9	46515,8 44949,6	63136,9 60937,9
Потреба у тепловій енергії за секціями економіки (DOWN-рівень) для сценарію помірного відновлення економіки, тис. Гкал	56502,9	43457,4 40989,5	58983,6 57273,4
Потреба у тепловій енергії по країні з урахуванням потреб населення для сценарію помірного відновлення економіки, тис. Гкал	75449,4	58670 56202	76501 74791
Потреба у тепловій енергії по країні з урахуванням потреб населення за консервативного сценарію розвитку економіки, тис. Гкал	75449,4	47849 47850	57193 57194

Примітка. У прогностичних 2025 та 2030 роках потребу надано для помірного сценарію розвитку економіки за варіантом 1 (верхнє значення) та варіантом 2 (нижнє значення) (див. табл. 4).

Однією з перспективних технологій теплопостачання, яка вже широко впроваджується у світі, є теплові насоси (ТН). Різниця між корисною енергією, отриманою внаслідок роботи теплового насосу, та енергією, що використовується для приводу агрегату, вважається відновлюваною [46]. В Європі теплові насоси посідають важливе місце в планах щодо більшої енергетичної незалежності та декарбонізації. У 2023 році загальна кількість встановлених ТН склала приблизно 24 млн. У результаті їх роботи було вироблено 231,3 ТВт·год відновлюваної енергії [47].

На жаль, статистичних даних щодо обсягу продажів (встановлення) та виробництва теплоенергії ТН в Україні не існує. У 2020 році було імпортовано трохи менше 1,5 тис. ТН, у 2021 році — близько 3 тис. [48]. У 2023–2024 рр. кількість встановлених ТН орієнтовно оцінюється в 1,5 тис. щорічно. Співвідношення між повітряними та геотермальними ТН в Україні, як і в Європі, складає орієнтовно 85 % на 15 %, в основному це ТН «П-В» потужністю 10–15 кВт. На нових об'єктах встановлюється 90 % ТН, під час реконструкції існуючих будівель — лише 10 %. Встановлені в Україні ТН в основному імпорتنі, лише близько 5 % їх виробляється в Україні, але в основному за використанням імпорتنних складових [49, 50].

У багатьох країнах світу біопаливо вважається CO_2 -нейтральним паливом, оскільки в результаті його спалювання утворюється стільки CO_2 , скільки було поглинуто рослинами під час росту [51], тому одним із шляхів зменшення викидів CO_2 є збільшення використання біопалив. Останнім часом зроблено низку кроків для розвитку виробництва альтернативних видів палива в Україні, а саме: для розвитку ринку біометану, біоетанолу, виробництва біомаси на основі органічних побутових відходів [52].

За даними енергобалансу, у 2020 році в країні було спожито 6 млн т у.п. біопалива та відходів, з них твердого біопалива — 4,7 млн т у.п., з яких було спожито в котельнях — 1,1 млн т у.п., на ТЕЦ — 0,2 млн т у.п. [32]. За оцінкою Біоенергетичної асоціації України, економічно доцільний енергетичний потенціал біомаси в Україні становить близько 20–25 млн т у.п./рік [52].

Біомаса також може бути використана для виробництва газового палива: біогазу або біометану, потенціал виробництва яких в країні оцінюється в майже 22 млрд м^3 [53].

До перспективних технологій виробництва теп-

лової енергії слід віднести використання твердих побутових відходів (ТПВ), обсяги утворення яких в Україні за останні роки становлять 11,5–12,5 млн т [54]. Поводження із побутовими відходами регулюється низкою державних документів, зокрема «Національною стратегією управління відходами в Україні до 2030 року» (2017 рік), «Національним планом управління відходами до 2030 року» (2019 рік), законом України «Про управління відходами» (2022 рік) [55].

Як зазначається у публікації [54], у розвинутих країнах світу застосовується підхід, відомий як «Відходи в енергію» (Waste-to-energy), згідно з яким частина органічних відходів, що не підлягають повторному використанню, застосовується для виробництва електричної та теплової енергії екологічно безпечним способом. Використання технології Waste-to-energy є ефективним рішенням для економії викопного палива та зменшення площ полігонів та звалищ [56–58]. Однією з основних переваг технології Waste-to-energy є перетворення відходів у відновлене паливо: RDF (Refused Derived Fuel) або SRF (Solid Recovered Fuels). Після обробки RDF можна перетворити на SRF, яке має відповідати стандарту EN 15359:2011 (в Україні — ДСТУ EN 15359:2018). Відповідно до [59], до основних найпоширеніших технологій Waste-to-energy належать установки для спалювання відходів на колосникових ґратах ($T = 700\text{--}950\text{ }^\circ\text{C}$), обертові барабанні печі для спалювання відходів ($T = 700\text{--}850\text{ }^\circ\text{C}$), установки із псевдозрідженим шаром ($T = 800\text{--}1000\text{ }^\circ\text{C}$), газифікатори ($T = 500\text{--}1250\text{ }^\circ\text{C}$), піролізні реактори ($T = 800\text{--}2000\text{ }^\circ\text{C}$).

Частка ТПВ, що вивозиться на полігони, внаслідок дії мікроорганізмів розкладається з утворенням звалищного газу, який містить 30–65 % метану та 25–45 % вуглекислого газу [60–63]. Якщо вміст CH_4 перевищує 45 %, то звалищний газ стає легкозаймистим [54]. На багатьох старих полігонах концентрація метану падає нижче 30 %, що стає проблемою при його відборі для використання. Інститутом газу НАН України розроблено технології збору, підготовки, адаптації паливної системи двигунів для роботи саме в умовах українських полігонів, де доводиться балансувати між падінням концентрації метану та втратами його в атмосферу. Результатом роботи є забезпечення стабільної роботи поршневих двигунів при падінні концентрації метану до 28 %, що дає можливість здійснювати утилізацію на виснажених полігонах та полігонах, на яких відсут-

ні газонепроникні бар'єри [64]. Отриманий біогаз використовується в енергетичному секторі.

Важливим напрямком використання перероблених ТПВ або одержаного в реакторі-газифікаторі біогазу є виробництво електричної та теплової енергії у комбінованих схемах на сміттєспалювальних заводах, що мають, крім сміттєспалювальних котлів, парові турбіни та електрогенератори. Перспективним для нашої країни є впровадження газифікації відходів, що вивозяться на полігони, з використанням цього газу на ТЕЦ або в котельнях чи застосування модульної схеми, в якій об'єднуються реактор-газифікатор з діючою ТЕЦ або котельнею [65].

Перспективним паливом для енергетичного сектора України є паливо з торфу, з якого попередньо екстраговано гумінові речовини на виробництво добрив. Твердий залишок після одержання добрив йде на виготовлення композиційних брикетів, що використовують як паливо [66]. В Україні розвідано майже 500 торф'яних родовищ. Близько 81 % видобутого в Україні торфу використовується як паливо, а решта 19 % — як добрива. За офіційними даними [67], геологічні запаси цієї корисної копалини складають 2,04 млрд т, а сумарна площа торфових родовищ сягає близько 1 млн га. У найбільших об'ємах видобувають торф в Україні у Волинській, Рівненській та Чернігівській областях.

Ще одним напрямом серед перспективних технологій виробництва теплової енергії є сонячне тепlopостачання. В Україні на сьогодні сонячна теплоенергетика не перевищує 1 % від загального обсягу виробництва тепла. За останні роки в країні було створено нормативну базу застосування геліоустановок, розроблено типові проекти устаткування та ряд загальних схем пасивного та активного сонячного обігріву будівель для умов децентралізованих та централізованих систем теплозабезпечення. За кліматичними та географічними умовами Україна має значний технічний потенціал сонячної енергії. Середньорічний потенціал сонячної енергії в Україні 1235 кВт·год/м² є досить високим, що набагато вище, ніж, наприклад, у Німеччині — 1000 кВт·год/м², або навіть у Польщі — 1080 кВт·год/м². Усе це є підґрунтям для широкого застосування геліосистем для тепlopостачання.

Найбільш часто сонячні установки застосовуються в житлових і суспільних будинках та в побутових приміщеннях промислових підприємств для гарячого водопостачання, для гарячого водо-

постачання в період сезонного функціонування об'єктів (бази відпочинку, пансіонати та ін.). Для покриття теплових навантажень на опалення ці схеми потребують включення до них традиційних теплогенеруючих джерел. Термін ефективної експлуатації геліоенергетичного обладнання у південних областях України — 7 місяців, у північних областях — 5 місяців. При переведенні 10 % індивідуальних споживачів на сонячне тепlopостачання в регіонах України можна заощадити 0,17 млн т у.п./рік. Використання сонячної енергії при достатній площі сонячних колекторів дає можливість покривати 50–60 % річної потреби енергії для гарячого водопостачання, а в літню пору року навіть повністю забезпечувати потребу в гарячій воді. Взимку ефективність роботи установки падає, але не зникає та покриває 15–20 % потреби в теплоті системи ГВП [68–70].

Висновки

На основі виконаного аналізу зміни економіки України та фактичного стану промислового виробництва, що зазнали падіння через руйнування, завдані повномасштабним вторгненням, та з урахуванням оцінок фахівців міжнародних фінансових організацій та провідних вітчизняних економістів та установ щодо зростання економіки України розроблено прогноз макроекономічних показників України: валового внутрішнього продукту (ВВП) та валової доданої вартості (ВДВ) укрупнених секцій економіки до 2030 року для сценарію помірного відновлення економіки, який передбачає відновлення обсягів споживання теплової енергії до 2030 року.

Наведено методологічний підхід до прогнозування потреби у тепловій енергії на основі використання фактичних показників енергетичної ефективності та прогнозних і фактичних макроекономічних показників.

Розроблений консервативний сценарій розвитку економіки передбачає збереження існуючих тенденцій відновлення промислового виробництва та невідновлення великих зруйнованих підприємств.

Для наведених сценаріїв розвитку економіки розроблено прогнози потреби у тепловій енергії за секціями економіки та країни. Для сценарію помірного відновлення економіки очікується відновлення споживання теплової енергії рівня 2020 року у 2030 році. Для консервативного сценарію у 2030 році прогнозується споживання теплової

енергії на рівні 70 % від рівня 2020 року для секцій економіки та 75 % для країни з урахуванням централізованого теплопостачання.

Наведено перспективні для впровадження технології теплогенерації з оцінкою потенціалу їх впровадження. При оцінюванні потенціалу теплозбереження частково враховано розробки науковців Інституту газу НАН України, які також сприятимуть покращанню екологічного стану країни.

Фінансування роботи. Дослідження виконано в рамках фінансування НАН України, зокрема наукових робіт «Підвищення ефективності та безпеки функціонування об'єднаної енергетичної системи шляхом електрифікації теплозабезпечення в Україні» (0123U100983, 2023–2024 рр.) та «Розвиток системи математичних моделей довгострокового прогнозування споживання основних видів паливно-енергетичних ресурсів в економіці країни з урахуванням діючих екологічних обмежень» (0122U000178, 2022–2026 рр.).

Список літератури

1. 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. № 3. С. 10–15. DOI: 10.15407/pge2018.03.010.
2. Кулик М.М., Маляренко О.Є., Майстренко Н.Ю., Станиціна В.В., Куц Г.О. Енергоефективність та прогнозування енергоспоживання на різних ієрархічних рівнях економіки: методологія, прогнозні оцінки до 2040 року. Київ : Наукова думка, 2021. 234 с. ISBN 978-966-00-1739-9.
3. Horskyi, V.V., Maliarenko, O.Ye., Maistrenko, N.Yu., Teslenko, O.I., Kuts, H.O. Modified three-stage model for forecasting the demand for energy resources at various hierarchy levels of the economy. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022. Vol. 1049, № 1. Article 012054. DOI: 10.1088/1755-1315/1049/1/012054.
4. Maliarenko O., Maistrenko N., Kuts H., Stanytsina V., Teslenko O. Two-Stage Method for Forecasting Thermal Energy Demand Using the Direct Account Method. In: Zaporozhets, A. (ed.). *Systems, Decision and Control in Energy. V. Studies in Systems, Decision and Control*. 2023. Vol. 481. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-031-35088-7_5.
5. Нікітін Є.Є., Комков І.С. Геоінформаційні аспекти модернізації систем теплозабезпечення міст. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2021. № 2. С. 44–51. DOI: 10.33070/etars.2.2021.04.
6. Nikitin E.E., Komkov I.S. An integrated approach to the development of plans for transformation of electrical and heat supply systems. [*Energy Technologies and Resource Saving*]. 2022. № 2. С. 4–16. DOI: 10.33070/etars.2.2022.01.
7. Лобунець Ю.М. Застосування термоелектричних теплових насосів у системах централізованого теплопостачання. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2020. № 2. С. 14–17. DOI: 10.33070/etars.2.2020.02.
8. Басок Б.І., Дубовський С.В., Пастушенко Е.П., Нікітін Є.Є., Базєєв Є.Т. Теплові насоси як тренд низьковуглецевого розвитку енергетики. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2023. № 2. С. 23–44. DOI: 10.33070/etars.2.2023.02.
9. Чернявський М.В., Мірошніченко Є.С., Провалов О.Ю. Особливості використання зрідженого вуглеводневого газу як резервного та альтернативного палива на вугільних ТЕЦ. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2022. № 4. С. 3–14. DOI: 10.33070/etars.4.2022.01.
10. Мікульонюк І.О. Стан та перспективи одержання пресованого твердого біопалива. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2022. № 4. С. 15–30. DOI: 10.33070/etars.4.2022.02.
11. Крутоголова І.О., Браверман В.Я., Ільченко Б.К. Розподілені мікромережі з використанням кріогенних систем зберігання електроенергії, виробленої відновлюваними джерелами, як важливий еколого-економічний чинник. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2023. № 3. С. 35–42. DOI: 10.33070/etars.3.2023.03.
12. Sigal I.Ya., Smikhula A.V., Marasin O.V., Gurevich M.O., Lavrentsov E.M. Methods to reduce NO_x formation during gas combustion in boilers. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2022. № 4. С. 62–72. DOI: 10.33070/etars.4.2022.06.
13. Четвериков В.В., Россоха А.В., Сігал І.Я. Ідентифікація джерел емісії стійких органічних забруднювачів в Україні та шляхи скорочення викидів із найбільш проблемних джерел. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2023. № 3. С. 91–102. DOI: 10.33070/etars.3.2023.08.
14. Сорока Б.С., Згурський В.О., Кудрявцев В.С. Скорочення викидів CO₂ при спалюванні природного газу з повітрям, збагаченим киснем, як засіб попередження парникового ефекту в атмосфері. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2023. № 4. С. 3–19. DOI: 10.33070/etars.4.2023.01.
15. Розен В.П., Крамаренко Е.Р., Чернявський А.В. Топливо-енергетический баланс как инструмент анализа энергетической эффективности. *Металургійна теплотехніка: Збірник наукових праць Національної металургійної академії України*. Дніпропетровськ: Пороги, 2005. Т. 1. С. 387–392.
16. Касьянова Н.В., Левшова Ю.О. Комплексна модель оцінки енергоспоживання в регіоні. *Научний*

вестник Донбасской государственной машиностроительной академии. 2014. № 2. С. 164–171.

17. Лір В.Е. Енергетичний баланс як основа економічного аналізу та прогнозу енергозабезпечення держави. *Економіка і прогнозування*. 2000. № 1. С. 91–102.

18. Піриашвілі Б.З., Чиркін Б.П., Чукаєва І.К. Перспективний паливно-енергетичний баланс — основа формування енергетичної стратегії України до 2030 року. За ред. докт. економ. наук, проф. С.І. Дорогунцова. Київ: Наукова думка, 2002. 486 с.

19. Костюковський Б.А., Рубан-Максимець О.О. Удосконалення методів формування прогнозного балансу палива для ТЕС генеруючих компаній при формуванні прогнозного балансу електроенергії ОЕС України. *Проблеми загальної енергетики*. 2021. № 3. С. 23–27. DOI: 10.15407/pge2021.03.023.

20. Makarov V., Makortetskyi M., Perov M., Bilan T., Ivanenko N. Mathematical Model of Optimal Support of Thermal Energy with Coal Products Taking into Account Environmental Constraints. In: Zaporozhets, A. (ed.). *Systems, Decision and Control in Energy. III. Studies in Systems, Decision and Control*. 2022. Vol. 399. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-031-35088-7_5. — https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-35088-7_5.

21. Bilan T., Kaplin M., Makarov V., Perov M., Novitskii I., Zaporozhets A., Havrysh V., Nitsenko V. The balance and optimization model of coal supply in the flow representation of domestic production and imports. *Energies*. 2022. Vol. 15. Article 8103. DOI: 10.3390/en15218103. — <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/21/8103>

22. Станиціна В.В., Куц Г.О., Тесленко О.І., Маляренко О.Є. Порівняльний аналіз середньої вартості теплової енергії, виробленої в котельних різної потужності, з урахуванням екологічної складової. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2020. № 2. С. 55–62. DOI: 10.33070/etars.2.2020.07.

23. Final electricity consumption. — <https://eneroutlook.enerdata.net/forecast-world-electricity-consumption.html>

24. Energy consumption worldwide from 2000 to 2019, with a forecast until 2050, by energy source. — <https://www.statista.com/statistics/222066/projected-global-energy-consumption-by-source/>

25. Nivethitha Somu, Gauthama Raman M R, Krithi Ramamritham. A deep learning framework for building energy consumption forecast. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021. Vol. 137. Article 110591. — <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032120308753>

26. Rodrigo F. Berriel, Andre Teixeira Lopes, Alexandre Rodrigues, Flavio Miguel Varej, Thiago Oliveira-Santos. Monthly energy consumption forecast: A deep learning approach. 2017. DOI:10.1109/IJCNN.2017.7966398.

27. G. Vijendar Reddy, Lakshmi Jaswitha Aitha, Ch.

Poojitha, A. Naga Shreya, D. Krithika Reddy, G. Sai Meghana. Electricity consumption prediction using machine learning. *E3S Web of Conferences. (ICMPC-2023)*. 2023. Vol. 391. Article 01048. — https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2023/28/e3sconf_icmed-icmcp2023_01048.pdf

28. Tianhe Sun, Tiejun 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. DOI: 10.1155/2019/9012543. — <https://www.hindawi.com/journals/mpe/2019/9012543>

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

30. Idowu S., Saguna S., Ehlund Ch., Schelén O. Applied machine learning: Forecasting heat load in district heating system. *Energy and Buildings*. 2016. Vol. 133. P. 478–488. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.09.068.

31. Juan P., Braulio-Gonzalo M., Dnaz-Bvalos C., Bovea M.D., Serra L. Bayesian and network models with covariate effects for predicting heating energy demand. *Spatial and Spatio-temporal Epidemiology*. 2022. Vol. 43. Article 100547. DOI: 10.1016/j.sste.2022.100547.

32. Державна служба статистики України. — <http://www.ukrstat.gov.ua>

33. ВВП України у 2022 році впав майже на третину — оцінки Мінекономіки. *Banki.ua*. — <https://banki.ua/news/vvp-ukrayiny-u-2022-roci-vpav-mayzhe-na-tretnyu-ocinky-minekonomiky/>

34. У НБУ пояснили, чому різняться макропрогнози МВФ і Нацбанку. *Ua.news*. — https://ua.news/ua/money/u-nbu-poyasnili-chomu-riznyatsya-makroprognozi-mvf-i-natsbanku#google_vignette/

35. Скрипниченко М.І., Кузнецова Л.І., Білоцерківець О.Г. Сценарні макрооцінки післявоєнної відбудови економіки України. *Економіка і прогнозування*. 2022. № 3. С. 48–74. DOI: 10.15407/eip2022.03.048.

36. Кабмін прогнозує зростання ВВП 4,6 % у 2024, 6,8 % у 2025, 6,6 % у 2026. *Українські новини*. — <https://ukranews.com/ua/news/973038-kabmin-prognozuye-zrostannya-vvp-4-6-u-2024-6-8-u-2025-6-6-u-2026/> (Дата звернення: 08.01.2024)

37. Майстренко Н., Горський В. Оцінка потенціалу електрозбереження за регіонами України (методологія та прогнозна оцінка). *Системні дослідження в енергетиці*. 2024. № 1. С. 4–16. DOI: 10.15407/srenergy2024.01.004.

38. Маляренко О.Є., Євтухова Т.О. Фактичний стан та напрями зниження втрат палива і енергії у загальному енергоспоживанні країни. *Проблеми загальної енергетики*. 2013. №.2. С. 5–14.

39. Maliarenko O., Horskyi V., Stanytsina V., Bogoslavskaya O., Kuts H. An Improved Approach to

- Evaluation of the Efficiency of Energy Saving Measures Based on the Indicator of Products Total Energy Intensity. In: Babak V., Isaienko V., Zaporozhets A. (eds.). *Systems, Decision and Control in Energy. I. Studies in Systems, Decision and Control*. 2020. Vol. 298. Springer, Cham. P. 201–216. DOI: 10.1007/978-3-030-48583-2_13.
40. Horskyi V., Maliarenko O. Use of Improved Methodology to Determine the Total Power Efficiency of Energy Products in Their Co-production at Combined Heat and Power Plant. In: Zaporozhets A. (ed.). *Systems, Decision and Control in Energy. IV. Studies in Systems, Decision and Control*. 2023. Vol. 454. Springer, Cham. P. 291–307. DOI: 10.1007/978-3-031-22464-5_17.
41. Маляренко Е.Е., Майстренко Н.Ю. Показатели энергетической эффективности и определение потенциала энергосбережения в промышленных технологиях. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2015. № 3. С. 18–28. — <https://etars-journal.org/index.php/journal/article/view/144>
42. Маляренко О.Є., Майстренко Н.Ю., Станиціна В.В. Удосконалений методичний підхід до визначення економічно доцільного потенціалу енергозбереження в енергоемних видах економічної діяльності. *Проблеми загальної енергетики*. 2015. № 3. С. 23–30. DOI: 10.15407/pge2015.03.023.
43. Maliarenko O., Maistrenko N., Horskyi V., Leshchenko I., Ivanenko N. Mathematical Simulation of Projecting Energy Demand for Ukraine's Budget Institutional Buildings. In: Zaporozhets, A. (ed.). *Systems, Decision and Control in Energy. V. Studies in Systems, Decision and Control*. 2023. Vol. 481. P. 57–70. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-031-35088-7_4.
44. 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. № 4. С. 58–67. DOI: 10.15407/pge2016.04.058.
45. Декарбонізація секторів економіки України. ГО «Екодія». 6 Жовтня 2023. — <https://ecoaction.org.ua/dekarbonizatsia-ekonomiky-ua.html>
46. White Paper: Heat Pumps — Integrating Technologies to Decarbonise Heating and Cooling. *European Heat Pump Association*. — https://www.ehpa.org/fileadmin/red/03_Media/Publications/ehpa-white-paper-111018.pdf
47. European Heat Pump Market and Statistics Report 2024. *European Heat Pump Association*. 102 p.
48. Market Research: Heat Pumps in Ukraine. *European Heat Pump Association*. 2021.
49. Опалення, охолодження та гаряча вода з мінімальними витратами та без шкоди для навколишнього середовища. — <https://hajster.com/>
50. Статті ТОВ «Сахара». — <https://сахара.ua/kompaniya-statti>
51. Законопроект щодо звільнення біопалива від податку CO₂ — ще один крок для розвитку української біоенергетики. Держенергоефективності. 23.10.2020. Урядовий портал. — <https://www.kmu.gov.ua/news/zakonoproekt-shchodo-zvylnennya-biopaliva-vid-podatku-so2-shche-odin-krok-dlya-rozvitku-ukrayinskoyi-bioenergetiki-derzhenergoefektivnosti>
52. Біоенергетичний потенціал аграрного сектора і промисловості — джерело енергетичної стійкості України. *Біоенергетична асоціація України*. — <https://niss.gov.ua/news/komentari-ekspertiv/bioenerhetychnyy-potentsial-aharnoho-sektoru-i-promyslovosti-dzherelo>
53. Гелетуха Г. Сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні та у світі. Тренінг-курс з біоенергетики для викладачів/наукових співробітників закладів вищої освіти. 2024. — https://uabio.org/wp-content/uploads/2024/05/1_Geletuha_Rozvytok-bioenergetyky-v-Ukrayini-i-sviti.pdf
54. Кобзар С.Г., Гапонич Л.С., Голенко І.Л. Екологічні аспекти використання RDF/SFR в технологіях Waste-to-Energy. *Збірка наукових праць XX Міжнародної науково-практичної конференції «Теплова енергетика: шляхи реновації та розвитку»*. Київ. 2024. С. 70–76. DOI: 10.48126/conf2024.
55. Закон України 2320-IX «Про управління відходами». *Відомості Верховної Ради*. 2023. № 17. Ст. 75.
56. Kalogirou E.N. (2018). Waste-to-energy technologies and global applications. CRC Press, Taylor & Francis Group. — <https://Waste-to-energyrt.org/wpcontent/uploads/2022/06/Waste-to-Energy-Technologies-and-Global-Applications-by-Efstratios-N.-Kalogirou.pdf>
57. Weber K., Quicker P., Hanewinkel J., Flamme S. Status of waste-to-energy in Germany. Part I: Waste treatment facilities. *Waste Management and Research*. 2020. Vol. 38, № 1. P. 23–44. DOI: 10.1177/0734242X19894632.
58. Rada E.C., Cioca L.-I., Lonescu G. Energy recovery from Municipal Solid Waste in EU: proposals to assess the management performance under a circular economy perspective. *8th International Conference on Manufacturing Science and Education (MSE 2017) "Trends in New Industrial Revolution". MATEC Web of Conferences*. 2017. Vol. 121. Article 05006. DOI: 10.1051/mateconf/201712105006.
59. Павлюк Н.Ю. Провідні технології спалювання ТПВ. *Проблеми екології та експлуатації об'єктів енергетики : Збірник праць / Інститут промислової екології*. Київ: ІВЦ АЛКОН НАН України, 2023. С. 145–149.
60. Awe O.W., Zhao Y., Nzihou A., Minh D.P., Lyczko N. A review of biogas utilization, purification and upgrading technologies. *Waste and Biomass Valorizations*. 2017. Vol. 8, № 2. P. 267–283. DOI: 10.1007/s12649-016-9826-4.
61. Werkneh A.A. Biogas impurities: environmental and health implications, removal technologies and future perspectives. *Heliyon*. 2022. Vol. 8, № 10. Article e10929.

DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e10929.

62. Deublein D., Steinhauser A. Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction. 2010. Wiley-VCH, Weinheim. — <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9783527632794>

63. Demirbas A., Taylan O., Kaya D. Biogas production from municipal sewage sludge (MSS). *Energy Sources. Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*. 2016. Vol. 38, № 20. — https://www.researchgate.net/publication/309209350_Biogas_production_from_municipal_sewage_sludge_MSS

64. Жук Г.В., Крушневич С.П., Іванов Ю.В., Вербовський В.С. Біогазові електростанції — використання місцевих ресурсів органічних відходів для розподіленої генерації. *Збірник наукових праць XX Міжнародної науково-практичної конференції «Теплова енергетика: шляхи реновації та розвитку»*. Київ. 2024. С. 89–92. DOI: 10.48126/conf2024.

65. Паливно-енергетичний комплекс України на порозі третього тисячоліття. За ред. А.К. Шидловського, М.П. Ковалка. Київ: Українські енциклопедичні знання, 2001. С. 276–282.

66. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О., Новікова Ю.П., Петров А.І. Технологія комплексної переробки торфу. *Проблеми екології та експлуатації об'єктів енергетики : Збірник праць / Інститут промислової*

екології. Київ: ІВЦ АЛКОН НАН України, 2022. С. 20–22. — http://ittf.kiev.ua/wp-content/uploads/2022/12/sbornik_2022.pdf

67. Рацький Н. Висхідок торфу в Україні: доцільність відновлення торфовищ. *Геологічна інвестиційна група*. 16.10.2022. — <https://eba.com.ua/vydobutok-torfu-v-ukrayini-dotsilnist-vidnovlennya-torfovyskh/>

68. Шурчков А.В., Резакова Т.А. (2007). Використання геотермальної енергії для потреб теплопостачання. *Комунальна теплоенергетика: стан, проблеми, термомодернізація*. Київ : Поліграф-Сервіс, 2007. Т. 2. С. 481–495.

69. Коваленко Т., Каряка В. Особливості розвитку систем сонячного теплопостачання в Україні. *Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті: Матеріали XXII міжнародної науково-практичної конференції* (Київ, 20–21 травня 2021 р.). Київ: Інтерсервіс, 2021. С. 542–545. DOI: 10.36296/renewable.conf.20-21.05.2021.

70. Резцов В., Суржик Т., Матях С. Перспективи застосування систем сонячного теплопостачання в Україні. *Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті: Матеріали XXI міжнародної науково-практичної конференції* (Київ, 14–15 травня 2020 р.). Київ : Інтерсервіс, 2020. С. 305–310. — <https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/tezi2020.pdf>

Received January 15, 2025

Maliarenko O.Ye., *Candidate of Technical Sciences*,
ORCID: 0000-0001-5882-916X, **Maistrenko N.Yu.**, *Candidate*
of Technical Sciences, ORCID: 0009-0004-3677-2333, **Stanytsina V.V.**,
Candidate of Technical Sciences, ORCID: 0000-0002-1005-6185

General Energy Institute of the National Academy of Science of Ukraine
172, Antonovycha Str., 03150, Kyiv, Ukraine, e-mail: malyarenlena@gmail.com

Forecast of thermal energy consumption considering wartime realities and post-war recovery for the mid-term perspective (up to 2030)

Abstract. The forecast of heat energy consumption in the country and by sections of the economy is relevant for determining the amount of heat energy generation by various types of heat generating sources operating on organic fuel and renewable energy sources. The forecast of heat energy consumption is based on macroeconomic indicators. These indicators were estimated from open sources of information based on the actual state of the country's economy, which suffered a reduction due to the destruction caused by the Russian aggressor. The purpose of the study is to develop methodical approaches to forecasting the consumption of thermal energy according to scenarios of economic development, taking into account the realities of wartime and limited statistical information. The article presents the macro-economic forecast of

the gross domestic product of Ukraine and the gross added values of consolidated sections of the economy developed by the authors. It takes into account the realities of wartime based on the assessments of domestic economists and specialists of international financial organizations. A methodological approach to forecasting heat energy consumption at the level of the country and sections of the economy is presented. Forecasts of thermal energy consumption have been developed for two scenarios of economic development: 1) the scenario of moderate recovery under the conditions of revival of the country's economy by 2030; 2) conservative, provided that existing trends in the development of the industrial sector of the economy are preserved and large destroyed enterprises are not restored. The need to modernize the infrastructure and reorient the economy to the latest technological solutions is taken into account. The prediction of thermal energy consumption in the article is based on a comprehensive analysis of the current state of the energy system and the industrial sector of the economy, their potential with the introduction of innovations and adaptation to changing conditions, taking into account international experience. *Bibl. 70, Tab. 7.*

Keywords: forecast, consumption, thermal energy, population, sections of the economy, gross domestic product (GDP).

References

1. Kuts, G.O., Maliarenko, O.Ye., Maistrenko, N.Yu., Stanytsina, V.V. (2018). [Determination of the forecasted demand for thermal energy by a complex method taking into account the potential of energy saving]. *[General Energy Problems]*. No. 3. pp. 10–15. DOI: 10.15407/pge2018.03.010. (Ukr.)
2. Kulyk, M.M., Maliarenko, O.Ie., Maistrenko, N.Iu., Stanytsina, V.V., Kuts, H.O. (2021). [Energy efficiency and forecasting of energy consumption at different hierarchical levels of the economy: methodology, forecast estimates until 2040]. Kyiv: Naukova dumka. 234 p. ISBN 978-966-00-1739-97. (Ukr.)
3. Horskyi, V.V., Maliarenko, O.Ye., Maistrenko, N.Yu., Teslenko, O.I., Kuts, H.O. (2022). Modified three-stage model for forecasting the demand for energy resources at various hierarchy levels of the economy. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1049 (1). Article 012054. DOI: 10.1088/1755-1315/1049/1/012054. (Eng.)
4. Maliarenko, O., Maistrenko, N., Kuts, H., Stanytsina, V., Teslenko, O. (2023). Two-Stage Method for Forecasting Thermal Energy Demand Using the Direct Account Method. In: Zaporozhets, A. (ed.). *Systems, Decision and Control in Energy. V. Studies in Systems, Decision and Control*. Vol. 481. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-031-35088-7_5. (Eng.)
5. Nikitin, E.E., Komkov, I.S. (2021). [Geoinformation aspects of district heating modernization]. *[Energy Technologies and Resource Saving]*. No. 2. pp. 44–51. DOI: 10.33070/etars.2.2021.04. (Ukr.)
6. Nikitin, E.E., Komkov, I.S. (2022). An integrated approach to the development of plans for transformation of electrical and heat supply systems. *[Energy Technologies and Resource Saving]*. No. 2. pp. 4–16. DOI: 10.33070/etars.2.2022.01. (Eng.)
7. Lobunets Yu.M. (2020). [Application of the thermoelectric heat pumps for the district heating systems]. *[Energy Technologies and Resource Saving]*. No. 2. pp. 14–17. DOI: 10.33070/etars.2.2020.02. (Ukr.)
8. Basok, B.I., Dubovskyi, S.V., Pastushenko, E.P., Nikitin, Ye.Ye., Bazeev, Ye.T. (2023). [Heat pumps as a trend of low-carbon energy development]. *[Energy Technologies and Resource Saving]*. No. 2. pp. 23–44. DOI: 10.33070/etars.2.2023.02. (Ukr.)
9. Chernyavskyy, M.V., Miroshnychenko, Ye.S., Provalov, O.Yu. (2022). [Features of the use of liquefied petroleum gas as a reserve and alternative fuel at coal-based chp plants]. *[Energy Technologies and Resource Saving]*. No. 4. pp. 3–14. DOI: 10.33070/etars.4.2022.01. (Ukr.)
10. Mikulionok I.O. (2022). [State and Prospects of the Production of Compressed Solid Biofuels]. *[Energy Technologies and Resource Saving]*. No. 4. pp. 15–30. DOI: 10.33070/etars.4.2022.02. (Ukr.)
11. Krutogolova, I.O., Braverman, V.Ya., Ilienکو, B.K. (2023). [Distributed microgrids using cryogenic storage systems of electricity produced by renewable sources as an important ecological and economic factor]. *[Energy Technologies and Resource Saving]*. No. 3. pp. 35–42. DOI: 10.33070/etars.3.2023.03. (Ukr.)
12. Sigal, I.Ya., Smikhula, A.V., Marasin, O.V., Gurevich, M.O., Lavrentsov, E.M. (2022). Methods to reduce NO_x formation during gas combustion in boilers. *[Energy Technologies and Resource Saving]*. No. 4. pp. 62–72. DOI: 10.33070/etars.4.2022.06. (Eng.)
13. Chetverykov, V.V., Rossokha, A.V., Sigal, I.Ya. (2023). [Identification sources of emission persistent organic pollutants in Ukraine and ways to reduce emissions from the most problematic sources]. *[Energy Technologies and Resource Saving]*. No. 3. pp. 91–102. DOI: 10.33070/etars.3.2023.08. (Ukr.)
14. Soroka, B.S., Zgurskyi, V.O., Kudryavtsev, V.S. (2023). [Reducing the CO₂ atmospheric emission by natural gas “oxy-fuel combustion” as a means of prevention the greenhouse impact]. *[Energy Technologies and Resource Saving]*. No. 4. pp. 3–19. DOI: 10.33070/etars.4.2023.01. (Ukr.)
15. Rozen, V.P., Kramarenko, E.R., Cherniavskiy, A.V. (2005). [Fuel and energy balance as a tool for energy efficiency analysis]. *[Metallurgical heat engineering: collection of scientific papers of the National*

Metallurgical Academy of Ukraine]. Dnipropetrovsk: Porohy, 2005. Vol. 1. pp. 387–392. (Rus.)

16. Kasyanova, N.V., Levshova, Yu.O. (2014). [A comprehensive model for assessing energy consumption in the region]. *[Scientific Bulletin of the Donbas State Machine-Building Academy]*. No. 2. pp. 164–171. (Ukr.)

17. Lir, V.E. (2000). [Energy balance as the basis of economic analysis and forecast of the state's energy supply]. *Ekonomika i prohnouzuвання. [Economy and Forecasting]*. No. 1. pp. 91–102. (Ukr.)

18. Piriashvili, B.Z., Chyrkin, B.P., Chukaieva, I.K. (2002). [A promising fuel and energy balance is the basis for the formation of Ukraine's energy strategy until 2030]. Ed. Doctor of Economics Science, Professor S.I. Dorohuntsov. Kyiv: Naukova dumka. 486 p. (Ukr.)

19. Kostyukovskyi, B.A., Ruban-Maksimets, O.O. (2021). [Improvement of methods for formation of prognostic balance of fuel for TPP of generating companies for formation of prognostic balance of electricity of the UES of Ukraine]. *[General Energy Problems]*. No. 3. pp. 23–27. DOI: 10.15407/pge2021.03.023. (Ukr.)

20. Makarov, V., Makortetskyi, M., Perov, M., Bilan, T., Ivanenko, N. (2022). Mathematical Model of Optimal Support of Thermal Energy with Coal Products Taking into Account Environmental Constraints. In: Zaporozhets, A. (ed.). *Systems, Decision and Control in Energy. III. Studies in Systems, Decision and Control*. Vol. 399. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-87675-3_4. — https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-87675-3_4 (Eng.)

21. Bilan, T., Kaplin, M., Makarov, V., Perov, M., Novitskii, I., Zaporozhets, A., Havrysh, V., Nitsenko, V. (2022). The balance and optimization model of coal supply in the flow representation of domestic production and imports. *Energies*. Vol. 15. Article 8103. DOI: 10.3390/en15218103. — <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/21/8103> (Eng.)

22. Stanytsina, V.V., Kuts, G.O., Teslenko, O.I., Malyarenko, O.Ye. (2020). [Comparative analysis of the average cost of heat energy produced in boilers of different power, taking into account the environmental component]. *[Energy Technologies and Resource Saving]*. No. 2. pp. 55–62. DOI: 10.33070/etars.2.2020.07. (Ukr.)

23. Final electricity consumption. — <https://eneroutlook.enerdata.net/forecast-world-electricity-consumption.html> (Eng.)

24. Energy consumption worldwide from 2000 to 2019, with a forecast until 2050, by energy source. — <https://www.statista.com/statistics/222066/projected-global-energy-consumption-by-source/>

25. Nivethitha Somu, Gauthama Raman M R, Krithi Ramamritham. (2021). A deep learning framework for building energy consumption forecast. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 137. Article 110591. — <https://www.sciencedirect.com/science/article/>

[abs/pii/S1364032120308753](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032120308753) (Eng.)

26. Rodrigo F. Berriel, Andre Teixeira Lopes, Alexandre Rodrigues, Flavio Miguel Varej, Thiago Oliveira-Santos. (2017). Monthly energy consumption forecast: A deep learning approach. DOI: 10.1109/IJCNN.2017.7966398. (Eng.)

27. G. Vijendar Reddy, Lakshmi Jaswitha Aitha, Ch. Poojitha, A. Naga Shreya, D. Krithika Reddy, G. Sai Meghana. (2023). Electricity consumption prediction using machine learning. *E3S Web of Conferences (ICMPC-2023)*. Vol. 391. Article 01048. — https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2023/28/e3sconf_icmed-icmcp2023_01048.pdf (Eng.)

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

29. Anshul Bansal, Susheel Kaushik Rompikuntla, Jaganadh Gopinadhan, Amanpreet Kaur, Zahoor Ahamed Kazi. (2015). Energy Consumption Forecasting for Smart Meters. — <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1512/1512.05979.pdf> (Eng.)

30. Idowu, S., Saguna, S., Ehlund, Ch., Schelĳn, O. (2016). Applied machine learning: Forecasting heat load in district heating system. *Energy and Buildings*. Vol. 133. pp. 478–488. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.09.068. (Eng.)

31. Juan, P., Braulio-Gonzalo, M., Dnaz-Bvalos, C., Bovea, M.D., Serra, L. (2022). Bayesian and network models with covariate effects for predicting heating energy demand. *Spatial and Spatio-temporal Epidemiology*. Vol. 43. Article 100547. DOI: 10.1016/j.sste.2022.100547. (Eng.)

32. [State Statistics Service of Ukraine]. — <http://www.ukrstat.gov.ua> (Ukr.)

33. [Ukraine's GDP fell by almost a third in 2022 — economy ministry estimates]. *Banki.ua*. — <https://banki.ua/news/vvp-ukrayiny-u-2022-roci-vpav-mayzhe-na-tretynu-ocinky-minekonomiky/> (Ukr.)

34. [The NBU explained why the macro forecasts of the IMF and the National Bank differ]. *Ua.news*. — https://ua.news/ua/money/u-nbu-poyasnili-chomuriznyatsya-makroprognози-mvf-i-natsbanku#google_vignette/ (Ukr.)

35. Skripnichenko, M.I., Kuznetsova, L.I., Belotserkovets, O.G. (2022). [Scenario based macro assessments of the post-war recovery of Ukraine's economy]. *[Economy and Forecasting]*. No. 3. pp. 48–74. DOI: 10.15407/eip2022.03.048. (Ukr.)

36. [The Cabinet of Ministers predicts GDP growth of 4.6 % in 2024, 6.8 % in 2025, 6.6 % in 2026]. *[Ukrainian News]*. — <https://ukranews.com/ua/news/973038-kabmin-prognozuye-zrostannya-vvp-4-6-u-2024-6-8-u-2025-6-6-u-2026/> (Last accessed: 08.01.2024) (Ukr.)

37. Maistrenko, N., Horskyi, V. (2024). [Assessment

of the Energy Saving Potential by Regions of Ukraine (Methodology and Predictive Assessment)]. [*System Research in Energy*]. No. 1. pp. 4–16. DOI: 10.15407/srenergy2024.01.004. (Ukr.)

38. Maliarenko, O.Ye., Evtukhova, T.O. (2013). [The actual state and the trends of reducing the loss of fuel and energy in the total energy consumption of the country]. [*General Energy Problems*]. No. 2. pp. 5–14. — <https://systemre.org/index.php/journal/article/view/489> (Ukr.)

39. Maliarenko, O., Horskyi, V., Stanytsina, V., Bogoslavskaya, O., Kuts, H. (2020). An Improved Approach to Evaluation of the Efficiency of Energy Saving Measures Based on the Indicator of Products Total Energy Intensity. In: Babak, V., Isaienko, V., Zaporozhets, A. (eds.). *Systems, Decision and Control in Energy. I. Studies in Systems, Decision and Control*. Vol. 298. Springer, Cham. pp. 201–216. DOI: 10.1007/978-3-030-48583-2_13. (Eng.)

40. Horskyi, V., Maliarenko, O. (2023). Use of Improved Methodology to Determine the Total Power Efficiency of Energy Products in Their Co-production at Combined Heat and Power Plant. In: Zaporozhets, A. (ed.). *Systems, Decision and Control in Energy. IV. Studies in Systems, Decision and Control*. Vol. 454. Springer, Cham. pp. 291–307. DOI: 10.1007/978-3-031-22464-5_17. (Eng.)

41. Malyarenko, E.E., Maistrenko, N.Yu. (2015). [Energy performance indicators and determining energy saving potential in manufacturing processes]. [*Energy Technologies and Resource Saving*]. No. 3. pp. 18–28. — <https://etars-journal.org/index.php/journal/article/view/144> (Rus.)

42. Maliarenko, O.Ye., Maistrenko, N.Yu., Stanytsina, V.V. (2015). [Advanced technical approach to identify appropriate energy saving potential in energy-intensive economic activities]. [*General Energy Problems*]. No. 3. pp. 23–30. DOI: 10.15407/pge2015.03.023. (Ukr.)

43. Maliarenko, O., Maistrenko, N., Horskyi, V., Leshchenko, I., Ivanenko, N. (2023). Mathematical Simulation of Projecting Energy Demand for Ukraine's Budget Institutional Buildings. In: Zaporozhets, A. (ed.). *Systems, Decision and Control in Energy. V. Studies in Systems, Decision and Control*. Vol. 481. pp. 57–70. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-031-35088-7_4. (Eng.)

44. Maliarenko, O.Ye., Maistrenko, N.Yu., Stanytsina, V.V. (2016). [Substantiation of the predictive volumes of energy saving potential in the enlarged sectors of economy with regard for technological and structural changes]. [*General Energy Problems*]. No. 4. pp. 58–67. DOI: 10.15407/pge2016.04.058. (Ukr.)

45. [Decarbonization of Ukrainian Economic Sectors. Ecoaction. October 6, 2023]. — <https://ecoaction.org.ua/dekarbonizatsia-ekonomiky-ua.html> (Ukr.)

46. White Paper: Heat Pumps — Integrating Tech-

nologies to Decarbonise Heating and Cooling. *European Heat Pump Association*. — https://www.ehpa.org/fileadmin/red/03_Media/Publications/ehpa-white-paper-111018.pdf (Eng.)

47. European Heat Pump Market and Statistics Report 2024. *European Heat Pump Association*. 102 p. (Eng.)

48. Market Research: Heat Pumps in Ukraine. *European Heat Pump Association*. 2021. (Eng.)

49. [Heating, Cooling, and Hot Water with Minimal Costs and No Harm to the Environment]. — <https://hajster.com/> (Ukr.)

50. Articles by “Sahara” LTD. — <https://caxapa.ua/kompaniya-statti> (Ukr.)

51. [Draft Law on Exempting Biofuel from CO₂ Tax is Another Step for the Development of Ukrainian Bioenergy. State Agency for Energy Efficiency. October 23, 2020. Government Portal]. — <https://www.kmu.gov.ua/news/zakonoproekt-shchodo-zvilnennya-biopaliva-vid-podatku-so2-shche-odin-krok-dlya-rozvitku-ukrayinskoj-bioenergetiki-derzhenergoefektivnosti>. (Ukr.)

52. [Bioenergy Potential of the Agricultural Sector and Industry — a Source of Ukraine's Energy Sustainability. *Bioenergy Association of Ukraine*]. — <https://niss.gov.ua/news/komentari-ekspertiv/bioenerhetychnyy-potentsial-aharnoho-sektoru-i-promyslovosti-dzhe-relo> (Ukr.)

53. Geletukha, G. (2024). [Current State and Prospects for Bioenergy Development in Ukraine and Worldwide. Bioenergy Training Course for Teachers/Researchers of Higher Education Institutions]. — https://uabio.org/wp-content/uploads/2024/05/1_Geletuha_Rozvytok-bioenergetyky-v-Ukrayini-i-sviti.pdf (Ukr.)

54. Kobzar, S.G., Haponych, L.S., Holenko, I.L. (2024). [Environmental Aspects of RDF/SRF Use in Waste-to-Energy Technologies]. *Proceedings of the XX International Scientific and Practical Conference “Thermal Energy: Renovation and Development Paths”*. Kyiv, 2024. pp. 70–76. DOI: 10.48126/conf2024. (Ukr.)

55. [Law of Ukraine No. 2320-IX “On Waste Management”]. [*Verkhovna Rada Bulletin*]. 2023. No. 17. Article 75. (Ukr.)

56. Kalogirou, E.N. (2018). Waste-to-energy technologies and global applications. CRC Press, Taylor & Francis Group. — <https://Waste-to-energyrt.org/wpcontent/uploads/2022/06/Waste-to-Energy-Technologies-and-Global-Applications-by-Efstratios-N.-Kalogirou.pdf> (Eng.)

57. Weber, K., Quicker, P., Hanewinkel, J., Flamme, S. (2020). Status of waste-to-energy in Germany. Part I: Waste treatment facilities. *Waste Management and Research*. 38 (1). pp. 23–44. DOI: 10.1177/0734242X19894632. (Eng.)

58. Rada, E.C., Cioca, L.-I., Lonescu, G. (2017). Energy recovery from Municipal Solid Waste in EU: proposals to assess the management performance under a

circular economy perspective. *8th International Conference on Manufacturing Science and Education (MSE 2017) "Trends in New Industrial Revolution"*. *MATEC Web of Conferences*. Vol. 121. Article 05006. DOI: 10.1051/mateconf/201712105006. (Eng.)

59. Pavlyuk N.Yu. (2023). [Advanced Technologies for Municipal Solid Waste Combustion]. *[Problems of Ecology and Operation of Energy Facilities: Collection of Works / Institute of Industrial Ecology]*. Kyiv: Alkon IVC NAS of Ukraine, pp. 145–149. (Ukr.)

60. Awe, O.W., Zhao, Y., Nzihou, A., Minh, D.P., Lyczko, N. (2017). A review of biogas utilization, purification and upgrading technologies. *Waste and Biomass Valorizations*. 8 (2). pp. 267–283. DOI: 10.1007/s12649-016-9826-4. (Eng.)

61. Werkneh, A.A. (2022). Biogas impurities: environmental and health implications, removal technologies and future perspectives. *Heliyon*. 8 (10). Article e10929. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e10929. (Eng.)

62. Deublein, D., Steinhauser, A. (2010). *Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction*. Wiley-VCH, Weinheim. — <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9783527632794> (Eng.)

63. Demirbas, A., Taylan, O., Kaya, D. (2016). Biogas production from municipal sewage sludge (MSS). *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*. 38 (20). — https://www.researchgate.net/publication/309209350_Biogas_production_from_municipal_sewage_sludge_MSS (Eng.)

64. Zhuk, H.V., Krushnevych, S.P., Ivanov, Yu.V., Verbovskyi, V.S. (2024). [Biogas Power Plants — Using Local Organic Waste Resources for Distributed Generation]. *[Proceedings of the XX International Scientific and Practical Conference "Thermal Energy: Renovation and Development Paths"]*. Kyiv, 2024. pp. 89–92. DOI: 10.48126/conf2024. (Ukr.)

65. [Fuel and Energy Complex of Ukraine on the Threshold of the Third Millennium]. Eds. A.K. Shydlovskiy, M.P. Kovalko. Kyiv: [Ukrainian Encyclopedic Knowledge], 2001. pp. 276–282. (Ukr.)

66. Snyezhkin, Yu.F., Petrova, Zh.O., Novikova, Yu.P., Petrov, A.I. (2022). [Technology for Comprehensive Peat Processing]. *[Problems of Ecology and Operation of Energy Facilities: Collection of Works / Institute of Industrial Ecology]*. Kyiv: ALCON IVC NAS of Ukraine. pp. 20–22. — http://itff.kiev.ua/wp-content/uploads/2022/12/sbornik_2022.pdf (Ukr.)

67. Ratskyi, N. (2022). [Peat Extraction in Ukraine: The Feasibility of Restoring Peatlands]. *Geological Investment Group*. October 16, 2022. — <https://eba.com.ua/vydobutok-torfu-v-ukrayini-dotsilnist-vidnovlennya-torfovyshh/> (Ukr.)

68. Shurchkov, A.V., Rezakova, T.A. (2007). [Use of Geothermal Energy for Heat Supply Needs]. *[Communal Thermal Energy: State, Problems, Thermomodernization]*. Kyiv: Polygraph-Service LLC. Vol. 2. pp. 481–495. (Ukr.)

69. Kovalenko, T., Karyaka, V. (2021). [Features of the Development of Solar Heating Systems in Ukraine]. *[Renewable Energy and Energy Efficiency in the XXI Century: Materials of the XXII International Scientific and Practical Conference]* (Kyiv, May 20–21, 2021). Kyiv: Interservis. pp. 542–545. DOI: 10.36296/renewable.conf.20-21.05.2021. (Ukr.)

70. Reztsov, V., Surzhyk, T., Matyakh, S. (2020). [Prospects for the Application of Solar Heating Systems in Ukraine]. *[Renewable Energy and Energy Efficiency in the XXI Century: Materials of the XXI International Scientific and Practical Conference]* (Kyiv, May 14–15, 2020). Kyiv: Interservis. pp. 305–310. — <https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/tezi2020.pdf> (Ukr.)

Надійшла до редакції 15.01.2025