

Ю. А. СЕЛИХОВ, К. О. ГОРБУНОВ, О. О. ГАПОНОВА, Є. І. ЛИТВИНЕНКО, К. В. ПЕРЕМОТ

ЕКСЕРГЕТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ЕФЕКТИВНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ

У статті в якості прототипу зроблений аналіз роботи двоконтурного котла, який працює на природному газі. Такий котел забезпечує десяти поверховий сорока квартирний будинок гарячим водопостачанням та опаленням. Природний газ при згоранні направляє в довкілля багато шкідливих речовин. Тому нами була розроблена технологічна схема нової теплоенергетичної установки. Нова теплоенергетична установка забезпечує десяти поверховий сорока квартирний будинок гарячим водопостачанням, опаленням та охолодженням у необхідному діапазоні температур для комфортного проживання. Спільно з електричним водонагрівачем використовується тепловий насос WATERKOTTE фірми Frank потужністю 374 кВт/год, приготування гарячої води виконується за допомогою квартирних теплових пунктів електричними водонагрівачами, а також забезпечує активне охолодження будівлі. Квартирні тепlopункти інтегровані в стіни для економії місця. Установка максимально проста, розподільник контуру опалення вже вбудований в шафку тепlopункту. Замість радіаторів опалення ми використовуємо систему теплої підлоги для економії витрат на гаряче водопостачання в квартирах будинку. Децентралізована установка електричних водонагрівачів забезпечує дотримання всіх вимог гігієнічного приготування гарячої води. Акумулятор теплоти, дозволяє: зменшити собівартість теплової енергії за рахунок зниження матеріаломісткості та витрат на обладнання, економити органічне паливо; зменшити теплове навантаження та забруднення навколишнього середовища. Система автоматизації дозволяє керувати новою теплоенергетичною установкою без втручання людини цілий рік. Також зроблений розрахунок кількості шкідливих викидів в довкілля.

Ключові слова: технологічна схема, двоконтурний котел, геотермальний тепловий насос, відновлювані джерела енергії, питомі витрати ексергії, ступінь безпеки, ексергетичний коефіцієнт корисної дії, пилогазоочисне обладнання, енергетична окупність, енергоносії, шкідливі речовини, хіміко-технологічне устаткування.

Yu. A. SELIKHOV, K. O. GORBUNOV, O. O. GAPONOVA, Ye. I. LYTVYENKO, K. V. PEREMOT

EXERGETIC CALCULATION OF THE EFFICIENCY AND RELIABILITY OF THE OPERATION OF A CHEMICAL-TECHNOLOGICAL SYSTEM

The article analyzes the operation of a dual-circuit boiler that runs on natural gas as a prototype. Such a boiler provides a ten-story forty-apartment building with hot water and heating. Natural gas releases many harmful substances into the environment when burned. Therefore, we developed a technological scheme for a new thermal power plant. The new thermal power plant provides a ten-story, forty-apartment building with hot water, heating, and cooling in the necessary temperature range for comfortable living. Together with the electric water heater, a WATERKOTTE heat pump from Frank with a capacity of 374 kW/h is used, hot water is prepared using apartment heating points with electric water heaters, and also provides active cooling of the building. Apartment heating points are integrated into the walls to save space. Installation is as simple as possible, the heating circuit distributor is already built into the heating point cabinet. Instead of heating radiators, we use a heated floor system to save costs on hot water supply in the apartments of the house. Decentralized installation of electric water heaters ensures compliance with all requirements for hygienic hot water preparation. Heat accumulator allows: to reduce the cost of thermal energy by reducing material consumption and equipment costs, save organic fuel; reduce heat load and environmental pollution. The automation system allows the new thermal power plant to be operated without human intervention all year round. The amount of harmful emissions into the environment has also been calculated.

Keywords: technological scheme, double-circuit boiler, geothermal heat pump, renewable energy sources, specific exergy consumption, degree of safety, exergy efficiency, dust and gas cleaning equipment, energy payback, energy carrier, harmful substances, chemical and technological equipment.

Вступ. В якості прототипу нами був обраний універсальний двоконтурний котел KV – 0,5, працюючий на природному газу, який застосовують в новій міській забудові в даний час для забезпечення гарячим водопостачанням та опаленням десяти поверхового сорока квартирного будинку. Основний принцип роботи двоконтурного газового котла полягає в тому, що прилад може забезпечити не тільки обігрів будинку, а й виконувати функції газової колонки для нагрівання води. Контур, який відповідає за обігрів самого приміщення, має замкнуту схему роботи – вода для прогріву радіаторів циркулює по колу [1]. Другий контур приєднується до відповідних труб в системі водопостачання будинку і подає гарячу воду в крани, коли їх відкривають. Незалежно від виробника, в «начинку» котла входить паливник, теплообмінник і система, що дозволяє керувати обігрівачем пристроєм – регулювати температуру та режими. Від моделі та бренду залежать лише деякі деталі та продуктивність [2]. Зробивши аналіз роботи цього котла нами були визначені недоліки роботи. 1.

Складний пристрій закритого газового паливника для побутового котла має складну конструкцію, що ускладнює ремонтні роботи. 2. У разі відключення електрики обладнання припиняє роботу. 3. Найпростішим вважається спосіб розпалювання з гнотом - з палаючим запальником. При спрацьовуванні автоматики, газ підпалюється гнотом, після чого прилад починає гріти воду. Негативних моментів у цьому два – підвищена витрата палива та недостатній ступінь безпеки, оскільки запальник може згаснути. Первинний розпал виконується сірниками або із застосуванням п'єзоелемента. Другим способом є електронний розпал газового приладу - його забезпечує високовольтний перетворювач, енергія для якого надходить за рахунок електрики або батарейок. 4. Контури котла неспроможні працювати окремо друг від друга. І якщо раптом ви захочете підігріти воду влітку, не опалюючи житло, зробити це у вас не вийде. 5. Влітку, коли дуже спекотно на вулиці, котел не має функції охолоджувати багатоповерховий будинок. 6.

Живлення електроенергією здійснюється за допомогою магістральної електромережі, яка може відключатися. 7. При згоранні природного газу в доквілля викидається багато шкідливих речовин [3].

Розглянув усі недоліки вище наведеної технологічної схеми нами було прийняте рішення: 1) замінити котел з газовим пальником на систему, що забезпечує будинок гарячою водою за допомогою електричних водонагрівників, опалювання та охолодження за допомогою геотермального ґрунтового теплового насоса «ґрунт-вода», радіатори опалювання на водяну теплу підлогу; 2) поліпшити конструкцію системи опалення, застосувавши нове обладнання; 3) підвищити коефіцієнт корисної дії (ККД) теплового насоса за рахунок застосування нових матеріалів, теплоносіїв та іншого допоміжного обладнання; 4) удосконалити роботу теплоенергетичної установки за допомогою електронно-обчислювальної машини; 5) зменшити вартість установки за рахунок зниження матеріалоемності установки, застосувавши нові матеріали та встановлення нового обладнання; 6) зробити теплотехнічні розрахунки теплового насосу; 7) розробити нову технологічну схему.

Наразі, на нашу думку, найбільш актуальним є створення нових конструкцій теплоенергетичних установок, які є найбільш інвестиційно привабливими для майбутніх споживачів. Втілення цієї ідеї можливе в такому вигляді, коли собівартість виробництва теплової енергії за допомогою таких установок виявиться меншою за сумарну собівартість виробництва теплової енергії за рахунок традиційних способів (зокрема, в котельнях). При цьому строк окупності таких установок має бути співставним з гарантійним терміном їх експлуатації. Для виконання цих умов видається доцільним розробляти комбіновані конструкції енергетичних установок, які б мінімізували витрати на їх виготовлення, монтаж, обслуговування та ремонт. Досягти цього можливо шляхом застосування недорогих матеріалів вітчизняного виробництва, виробництво яких гарантоване у достатніх об'ємах на довгий період часу.

Мета статті. 1. Зробити ексергетичний розрахунок ефективності та надійності роботи нової теплоенергетичної установки. 2. Розробити технологічну схему нової теплоенергетичної установки.

Для виконання цих планів нами був зроблений розрахунок потужності геотермального теплового насоса «ґрунт – вода» для системи опалювання та охолодження десяти поверхового сорока квартирного будинку [4 - 6]. За результатами розрахунків нами був обраний геотермальний тепловий насос «ґрунт- вода» WATERKOTTE фірми FRANK: з горизонтальним розташуванням теплообмінного колектора та тепловою потужністю 374 кВт. Нами була розроблена нова технологічна схема (див. рис.1) теплоенергетичної системи гарячого водопостачання, опалення та охолодження будинку.

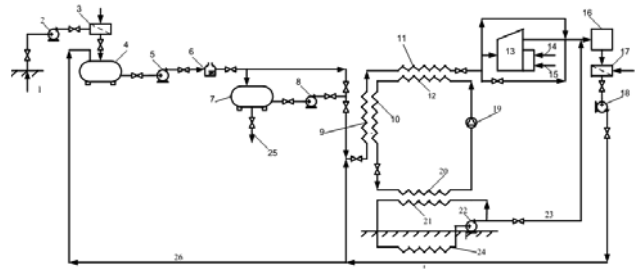


Рис. 1. Технологічна схема системи гарячого водопостачання, опалювання та охолодження десяти поверхового сорока квартирного будинку.

1 – свердловина води; 2 – циркуляційний насос; 3, 17 – апарати хімводоочиснення; 4, 7 – баки-акумулятори; 5 - циркуляційний насос; 6 – електричний водонагрівник; 8 - циркуляційний насос; 9 – другий контур охолоджувача теплового насоса; 10 – перший контур охолоджувача теплового насоса; 11 – другий контур конденсатора теплового насоса; 12 – перший контур конденсатора теплового насоса; 13 – універсальний котел з газовим пальником; 14 – подача газу; 15 – подача повітря; 16 – користувач; 18 - циркуляційний насос; 19 – компресор теплового насоса; 20 – перший контур випарника теплового насоса; 21 – другий контур випарника теплового насоса; 22 - циркуляційний насос; 23 – подача теплоносія в режимі кондиціонування; 24 - ґрунтовий тепловий колектор; 25 – злив води; 26 – оборотна вода;

Нова теплоенергетична установка працює цілорічно. Механізм дії системи для функціонування цілорічної експлуатації наступний.

Вода з температурою $5\div 7$ °С теплообмінного колектора 24 ґрунтового теплового насоса циркуляційним насосом 22 подається в другий контур 21 випарника теплового насоса, де нагріває холодоагент першого контуру 20, який перетворюється в пару. Пара холодоагенту надходить у компресор 19, де стискається до високої 160 °С температури та тиску. Далі пара надходить у перший контур 12 конденсатора теплового насоса, де віддає своє тепло другому контуру 11 конденсатора [7], в який подається вода циркуляційним насосом 8 з бака-акумулятора 7, або циркуляційним насосом 18 від користувача 16. Таким чином, вода нагрівається спочатку в другому контурі 12 конденсатора, а потім у другому контурі 10 охолоджувача і надходить до користувача 16 з температурою 75 °С. Коли з ладу виходить тепловий насос і електричний водонагрівник 6, то в якості теплового дублера виступає котельна установка 13 з газовим пальником 14 і повітряним наддувом 15, яка підігріває воду до необхідної температури і подає її в систему гарячого водопостачання та опалення багатоквартирного будинку. При виникненні аварії теплоносій зливається в каналізаційну систему 25. Якщо зовнішня температура підвищується до

дискомфортного рівня, тепловий насос вмикає кондиціонування повітря. Циркуляційним насосом 22 вода з ґрунтового теплообмінного колектора 24 надходить до контуру теплої підлоги, охолоджує поверхню підлоги і повітря в кімнатах будинку до оптимальної комфортної температури.

Паливний накопичувач складається з теплоізолюваної ємності для накопичення енергії з теплоносієм (гарячою водою), пристрою для заповнення та зливу енергоносія, а також додаткового оснащення. Система зберігання характеризується методами, коли енергія, що надходить в акумулятор, отримується від джерела, перетворюється (при необхідності) в необхідну форму енергії і доставляється кінцевому споживачу [8].

Накопичення і директивне зберігання палива здійснюється в акумуляційному баку, який ми обрали тому, що середовище накопичення і теплообміну є єдиним середовищем і середовищем споживання [9].

Далі нами був зроблений ексергетичний розрахунок ефективності роботи нової теплоенергетичної установки.

Для вирішення поставлених завдань класичного апарату термодинаміки часто виявляється недостатньо, потрібен не лише його розвиток, а й поєднання з принципами систематичного аналізу та економічності.

В рамках техніко-економічної модернізації на основі методу ексергії [10] слід брати до уваги час існування технічного об'єкта, а також зміни, що сталися в рамках системи, яка досліджується, з моменту її створення, та зміни, які відбудуться після закінчення її експлуатації.

Для нашого теплотехнічного об'єкта ми застосували розрахунок ексергетичної ефективності методом ексергії – нетто.

Витрати ексергії на проектування та виготовлення прототипу зазначені в таблиці 1.

Таблиця 1. Витрати ексергії на проектування та виготовлення прототипу

Матеріал	Маса $M_a \cdot 10^{-3}$, кг	Питома енергоємність \dot{Y}_a , МДж/кг	Повні витрати ексергії $E \cdot 10^{-4}$, МДж	m_a	$m_a \cdot \dot{Y}_a$
Котел з газовою горілкою KV-0,5	1,45	430	62,35	0,004	1,67
Ємність для води $V = 10 \text{ м}^3 \times 20 \text{ шт.} = 20 \text{ м}^3$	1,6	60	9,6	0,004	0,26

Установа хімводочищення 2 шт.	1,5	150	22,5	0,004	0,6
Металевий лист	0,24	60	1,44	0,001	0,04
Ізоляція, м^2	5	114	$57 \cdot 10^4$	0,013	1,52
Вентилі	1	150	15	0,003	0,4
Розширювальний бак $V = 4,0 \text{ м}^3$	0,8	60	4,8	0,002	0,13
Насоси, 14 шт.	0,27	150	4,05	0,001	0,11
Трубопроводи метал.	20	60	120	0,054	3,21
Трубопроводи ПВХ	1,2	50	6	0,003	0,16
Радіатори опалення 280 шт. x 8 (10) кг	2,8	150	42	0,008	1,12
Вода 25,0 м^3 (17,0 +8,0)	25	30	75	0,067	2,0
Природний газ 60 $\text{м}^3/\text{год}$ (456 кг в 1 м^3) 8000 годин на рік	$2,2 \cdot 10^{-8}$	$4,2 \cdot 10^{-8}$	0,010	585,2	0,001
Всього	–	–	419,8	–	11,2
Всього з урахуванням витрат ексергії на обробку та збірку обладнання (коефіцієнт 1,2)	–	–	503,8	–	–

Витрати ексергії на проектування та виготовлення нової теплоенергетичної установки представлені в таблиці 2.

Таблиця 2. Витрати ексергії на проектування та виготовлення нової теплоенергетичної установки

Матеріал	Маса M_b , кг	Питома енергоємність \dot{Y}_b , МДж/кг	Повні витрати ексергії $E \cdot 10^{-3}$, МДж	m_b	$m_b \cdot \dot{Y}_b$
1	2	3	4	5	6
Насоси, 14 шт	70	150	10,5	0,00019	0,028
Насоси, 5 шт.х 70 кг	350	150	52,5	0,00094	0,14
Ізоляція, м ² (пінобетон)	5000	134	670	0,0134	1,79
Вентилі -26 шт. х 5 кг	130	150	19,5	0,00035	0,053
Бак-акумулятор – 2 шт. V = 10 м ³ х 2 шт.=20 м ³	1600	60	96	0,00428	0,26
Установка хімводоочищення 2 шт.	1500	150	225	0,00401	0,602
Геотермальний тепловий насос «грунт – вода» – 1шт. «Waterkotte»	1450	430	623,5	0,0039	1,67
Вода 25,0 м ³ (17,0+8,0)	25000	30	750	0,0669	2,007
Трубопроводи метал.	100	60	6	0,0019	0,115
Трубопроводи ПВХ – 15000 п.м.	15000	50	25	0,04	2,005
Електричні водонаг	330	50	16,5	0,044	2,21

ривачі – 11 шт. х 30 кг.					
Контролер – 3 шт.	150	140	21	0,0004	0,056
Електрокабелі	500	160	80	0,0014	0,214
Свердловина води	600	7,1	4,26	0,0016	0,011
Сталь	1200	7,1	8,52	0,0032	0,023
Всього	–	–	2608	–	11,19
Всього з урахуванням витрат ексергії на обробку та збірку обладнання (коефіцієнт 1,2)	–	–	3130	–	–

В основі оцінки – вимога обов'язкової економії первинної ексергії (палива) в енергетичному комплексі країни за допомогою застосування відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). У розрахунку враховуються поточні витрати палива на кожний з варіантів і витрати на їхнє створення. Оскільки в ряді випадків ВДЕ вимагає додаткового традиційного джерела енергії для отримання гарантованої потужності, допускається поточна витрата палива у ВДЕ в зменшеній кількості. Це враховується як підвищення деякого умовного ККД нового варіанта. Дозволяється приблизний підрахунок використання ексергії як добутку маси кожної з основних матеріалів M на питому енергоємність матеріалу E (МДж/кг або кг у.п./кг).

Витрата ексергії на переробку та збірку врахована з коефіцієнтом, що не перевищує 1,2 для основного енергетичного обладнання (котел, турбіна, генератор). Приблизні величини енергоємності матеріалів E , обрані за графіком з літературних джерел [10].

Рішення про придатність або непридатність проекту ВДЕ до подальшого пророблення ухвалюється залежно від знака нерівності $\tau_{i\dot{e}} \geq \tau_{i\dot{o}i}$ (тут $\tau_{i\dot{o}i}$ – нормативний строк), де строк енергетичної окупності $\tau_{i\dot{e}}$ ВДЕ визначається прирівнюванням сумарних витрат первинної ексергії \dot{I} за прототипом (а) і новому (b) варіантам.

$$\dot{I} = \sum M_a \cdot E_a + \frac{N}{\eta_a} \cdot \tau_{OK} = \sum M_b \cdot E_b + \frac{N}{\eta_b} \cdot \tau_{OK}, \quad (1)$$

Термін окупності електричних водонагрівачів, геотермального теплового насосу «грунт – вода», та теплої підлоги буде складати:

$$\tau_{i\epsilon} = \frac{\sum m_b \dot{Y}_b - \sum m_a \dot{Y}_a}{1/\eta_a - 1/\eta_b}, \quad (2)$$

де $m_a = \frac{M_a}{N}$, $m_b = \frac{M_b}{N}$ - питомі витрати ексєргії в

прототипі та новому варіантах відповідно;

N – гарантована потужність, що віддається, однакова для обох порівнюваних варіантів;

η_a , η_b – ексєргетичний коефіцієнт корисної дії порівнюваних варіантів по використанню первинної ексєргії.

Якщо ВДЕ дає гарантовану потужність без додаткового підключення до традиційного джерела енергії, то поточних витрат первинної енергії немає і можна вважати $\eta_b = \infty$. Тоді строк окупності може бути визначений за формулою

$$\tau_{i\epsilon} = \frac{\eta_a}{3600 \cdot h} (\sum m_b \dot{Y}_b - \sum m_a \dot{Y}_a), \quad (3)$$

де h – час роботи установки за рік, год/рік.

ККД нової установки:

$$\eta_b = \frac{h}{h_a} \eta_a, \quad (4)$$

де h_a – час, коли установка не працює, год/рік.

Результати розрахунків за формулами (1) - (4) наведені в таблиці 3.

Таблиця 3. – Результати розрахунків

η_a	η_b	h , год	h_a , год	$\tau_{ок}$, рік
0,92	0,93	4416	4344	2,5

Далі зробимо розрахунок зменшення впливу шкідливих викидів в довкілля від використання природного газу.

Однією з основних причин забруднення атмосферного повітря є низький рівень оснащення джерел викидів пилогазоочисним обладнанням. Значно впливає на забруднення атмосфери відсутність установок по вловлюванню газоподібних сполук, а саме: діоксиду сірки, діоксиду азоту, оксиду вуглецю, летючих органічних сполук та інших.

Розрахунок зменшення шкідливих викидів за рахунок економії палива проводять за формулою:

$$M_i = c_i \cdot B,$$

де c_i - питомі викиди компонентів, B - кількість природного газу, який витрачається при роботі – 60 м³/год, (див. табл. 4)

Таблиця 4. Питомі викиди шкідливих продуктів згоряння при факельному спалюванні природного газу в енергетичних котлах [11]

Викиди M_i	Природний газ, т/рік
Валовий викид речовин у вигляді суспендованих твердих частинок (сажа)	0
Валовий викид оксиду азоту (у перерахунку на діоксид азоту) NO _x	0
Валовий викид азоту оксиду NO ₂	68089
Валовий викид сірки діоксиду SO ₂	0
Валовий викид неметанових легких органічних речовин (НМЛОС)	0
Валовий викид оксиду вуглецю CO	0
Валовий викид метану CH ₄	0
Валовий викид діоксиду вуглецю CO ₂	203113,22
$\sum M_i$	271202,22

Порівняльну оцінку вартості універсального двоконтурного котла KV – 0,5 з вартістю геотермального теплового насосу «грунт – вода» WATERKOTTE фірми FRANK з горизонтальним розташуванням теплообмінного колектора та тепловою потужністю 374 кВт ми зробили наступним чином [12]. Вартість універсального двоконтурного котла KV – 0,5 – 2160000 грн. Кількість природного газу витраченого за рік роботи – 525600 м³/рік. Вартість природного газу на 01 січня 2026 року в Україні – 7,96 грн./м³. Таким чином вартість природного газу становитиме – 4183776 грн. Додавляємо ще вартість універсального двоконтурного котла – 2160000 грн. Тоді сума буде – 6343776 грн. Вартість представленого нами геотермального теплового насосу «грунт - вода» становить – 2234609,68 грн. Вартість електричних водонагрівачів 10 шт. за 8000 грн./шт. становитиме ще – 80000 грн. Вартість теплового насосу з електричними водонагрівачами буде – 2314609,68 грн. Таким чином економія коштів, грн.:

$$\Delta S_K = S_K - S_{TH} = 6343776 - 2314609,68 = 4029166,32$$

Розрахунок економії коштів після відмови від природного газу як енергоносія, дав економію – 4029166,32 грн. А також в довкілля не викидається 271202,22 т/рік шкідливих речовин.

Висновки. Обрали дослідний зразок опальнової системи та дослідили її роботу. Визначено недоліки як в роботі, так і в проектуванні її окремих компонентів. На основі проведеного аналізу літературних джерел було обрано нове обладнання з

найвищим коефіцієнтом корисної дії. Ефективність від заміни старого обладнання на нове була розрахована відповідно до методики оптимізації на основі суми питомих енерговитрат. Розрахунки підтвердили коректність вибору типу обладнання та матеріалів для заміни. Отримано ККД нової теплоенергетичної установки - 93 % для даного проекту, а також термін її енергетичної окупності - 2,5 роки, а також застосування геотермального теплового насосу «грунт – вода» у теплоенергетичній установці дозволяє: - зменшити собівартість теплової енергії за рахунок зниження матеріаломісткості та витрат на обладнання, заощаджувати органічне паливо; виробляти теплову енергію; зменшити теплове навантаження та забруднення навколишнього середовища.

Розрахунок економії коштів після відмови від природного газу як енергоносія, дав економію – 4029166,32 грн. А також в доквілля не викидається 271202,22 т/рік шкідливих речовин.

Список літератури

1. Тарадай О. М. Теплозабезпечення : монографія / О. М. Тарадай ; Харків нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025. – 322 с.
<http://eprints.kname.edu.ua/68139/1/2025%208МН%20р епоз%20Тарадай%20О.%20М.pdf>
2. Державні будівельні норми України опалення, вентиляція та кондиціонування ДБН В.2.5-67:2013 Київ Мінрегіон України 2013.
<https://document.vobu.ua/wp-content/uploads/DBN/100.1.-DBN-V.2.5-672013.-Opalennya-ventilyatsiya-ta-konditsi.pdf>
3. Малявіна О. М. Опалення : конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня денної і заочної форм навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, освітньо-професійна програма «Теплогазопостачання і вентиляція» / О. М. Малявіна, В. А. Міланко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. – 96 с.
<http://eprints.kname.edu.ua/63429/1/Малявіна%20%20Міланко%20%20109Л%20%202021%20%20pdf.pdf>
4. «Перехід України на відновлювану енергетику до 2050 року» / О. Дячук, М. Чепелев, Р. Подолець, Г. Трипольська та ін. ; за заг. ред. Ю. Огаренко та О. Алієвої // Пред-во Фонду ім. Г. Бьолля в Україні. – Київ : Вид-во ТОВ «АРТ КНИГА», 2017. – 88 с.
https://energytransition.in.ua/wp-content/uploads/2018/11/Perehid-Ukrainy-na-vidnovlyuvanu-energetiky-do-2050_zvit.pdf
5. Територіальний розвиток та регіональна політика в Україні / НАН України. ДУ «Інститут регіональних досліджень імені М. І. Долішнього НАН України»; наук. редактор В.С. Кравців. – Львів, 2015. – 204 с. (Серія «Проблеми регіонального розвитку»).
<http://ird.gov.ua/irdp/p20150101a.pdf>
6. Альтернативні джерела енергії у підвищенні енергоефективності та енергонезалежності сільських територій : колективна монографія ; за ред. І. О. Яснолоб, Т. О. Чайки, О. О. Горба. Полтава : Видавництво ПП «Астроя», 2019. 276 с.
<http://dspace.puet.edu.ua/bitstream/123456789/7404/1/М оно%20АДЕ%20СТ.pdf>
7. Використання палива в Україні та по регіонах у 2017 році [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
8. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: підруч. /С.О. Кудря. К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 492 с.
http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2020/Kudrya_2012_492.pdf
9. Закон України Про внесення змін до Закону України «Про теплопостачання» щодо стимулювання виробництва теплової енергії з альтернативних джерел енергії [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1959-19>.
10. Ексергетичні розрахунки технічних систем : Справ. посіб. / Бролянський В.М., Верхівкер Г.П. Карчев Я.Яю та інші.: Під редакц. Долинського А.А., Бродяньського В.М. Ін-т технічної теплофізики АН України. – К.: Наук. Дкмка. 1991. – 360 с.
<https://studfile.net/preview/20202839/>
11. Паливно-енергетичні ресурси України: Статистичний збірник/ Державний комітет статистики України – К., 2001. – 273 с.
https://books.google.com.ua/books/about/Паливно_енергетичні_p.html?id=iV-0AAAAIAAJ&redir_esc=y
12. Економіка підприємства: навч. посіб. / за заг. ред. Л. С. Шевченко. – Х.: Нац. ун-т «Юрид. акад. України ім. Ярослава Мудрого», 2011. – 208 с.
https://library.nlu.edu.ua/POLN_TEXT/POSIBNIKI_2011/0019.pdf

References (transliterated)

1. Taradai O.M. Teplozabezpechennya : monografiya / O.M. Taradai ; Kharkiv nats.un-t misk.gosp-va im. O.M. Beketova. Kharkiv ^ KHNUMG im. O.M. Beketova, 2025. – 322 p.
<http://eprints.kname.edu.ua/68139/1/2025%208МН%20р епоз%20Тарадай%20О.%20М.pdf>
2. Derzhavni budivelni normy Ukrainy opalennya, ventilyawiya ta condytsi onuvannya DBN V.2.5-67:2013 Kyiv Minregion Ukrainy 2013
<https://document.vobu.ua/wp-content/uploads/DBN/100.1.-DBN-V.2.5-672013.-Opalennya-ventilyatsiya-ta-konditsi.pdf>
3. Malyavina O.M. Opalennya ^ conspect lectsii dlya zdobuvachiv pershogo (bacalavrskogo) rivnya dennoi i zaochnoi form navchannya zi spetsialnosti 192 – Budivnytstvo ta tsivilna inzheneriya, osvitno-profesiina programma «Teplogazopostachannya i ventilyatsiya» / O.M. Malyavina, V.A. Milanko ; Kharkiv. Nats. Un-t

misk. Gosp-va im. O.M. Beketova. – Kharkiv : KHUMG im. O.M. Beketova? 2023. – 96 p.

<http://eprints.kname.edu.ua/63429/1/Малявіна%2C%20Міланко%2C%20109Л%2C%202021%2C%20pdf.pdf>

4. «Perekhid Ukrainy na vidnovlyuvanu energetyky do 2050 roku» / O. Dyachuk, M. Chepelev, P. Podolets, G. Trypolska ta insh. ; za zag. Red. Yu. Otarenko nf O. Alievoi // Pred-vo Fondu im. G. Bollya v Ukraini. – Kyiv ^ Vyd-vo TOV «ART KNYGA», 2017. – 88 p.

https://energytransition.in.ua/wp-content/uploads/2018/11/Perehid-Ukrainy-na-vidnovlyuvanu-energetyky-do-2050_zvit.pdf

5. Terytorialnyi rozbytok ta regionalna polityka v Ukraini / NAN Ukrainy DU «Instytut regionalnykh doslidzhen imeni M.I. Dolishnogo NAN Ukrainy» ; nauk. Redactor V.C.Kravtsov. – Lviv, 2015. – 204 p. (Seriya «Problemy regionalnogo rozvytku»).

<http://ird.gov.ua/irdp/p20150101a.pdf>

6. Alternatyvni dgerela energii u pidvyschni energoefertyvnosti ta energonezalezhnosti silskikh teritorii : kolektyvna monografiya ; za red. I.O. Yasnolob, T.O. Chaiky, O.O. Gorba. Poltava : Vydavnytstvo PP «Astraya», 2019. 276 p.

<http://dspace.puet.edu.ua/bitstream/123456789/7404/1/Mono%20AIE%20CT.pdf>

7. Vycorystannya palyva v Ukraini tap o regionakh u 2017 rotsi [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu do resursu: <http://www.ukrstat.gov.ua/>

8. Kudrya C.O. Netradytsiini ta vidnovlyuvani dzherela energii^ pidruchnyk. / C.O. Kudrya. K.^ NTUU «KPI», 2012. – 492 p.

http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2020/Kudrya_2012_492.pdf

9. Zakon Ukrainy. Pro vnesennya zmin do Zakonu Ukrainy «Pro teplopostachannya» scho do stymulyuvannya vyrobnytstva teplovoi energii z alternetyvnykh dzhrel energii [Elektronnyi resurs] – Regym dostupu do resursu:

<http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1959-19>.

10. Ecsergetychni rozrakhunky tekhnichnykh system :Sprav. Posib. / Brodyanskiy V.M., Verkhivker G.P., Karchev Ya.Ya. ta insh.: Pid redav. Dolynskogo A.A., Brodyanskogo V.M. Ins-t tekhnichnoi teplofizyky AN Ukrainy. – K.: Naek. Dumka. 1991. -360 p.

<https://studfile.net/preview/20202839/>

11. Palyvno-energetychni resursy Ukrainy: Statystychnyi zbirnyk / Derzhavnyi komitet statystyky Ukrainy – K.: 2001. – 273 p.

https://books.google.com.ua/books/about/Паливно_енергетичні_p.html?id=iV0AAAAIAAJ&redir_esc=y

12. Ekonomika pidpryemstva: navch. Posib. / za zag. Red. L.C. Shevchenko. – Kh.: Nats. Un-t «Yurid. Acad. Ukrainy im. Yaroslava Mudrogo», 2011. – 208 p.

https://library.nlu.edu.ua/POLN_TEXT/POSIBNIKI_2011/0019.pdf

Відомості про авторів / About the Authors

Селіхов Юрій Анатолійович (Selikhov Yuriy) - кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків; Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8679-2752> e-mail: yurii.selikhov@khpi.edu.ua

Горбунов Костянтин Олександрович (Gorbunov Konstantin) – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0078-6520> ; e-mail: Kostiantyn.Horbunov@khpi.edu.ua

Гапонова Олена Олександрівна (Gaponova Olena) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інтегрованих технологій, процесів і апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9959-355X>; e-mail: olena.gaponova@khpi.edu.ua

Литвиненко Євгенія Ігорівна (Litvinenko Yevhenia) - кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інтегрованих технологій, процесів і апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0691-2014> ;e-mail: Yevheniia.Lytvynenko@khpi.edu.ua

Перемот Карина Віталіївна (Peremot Karina) – студентка кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2026-9224> ; e-mail: Karina.peremot@ihti.khpi.edu.ua

Дата надходження статті: 20.02.26 р.

Дата прийняття до друку: 20.03.26 р.