

Ю. А. Селіхов, канд. техн. наук, доцент, К. В. Перемот, студентка,
Е. Р. Нагорний, аспірант, І. В. Пільник, аспірант, В. Г. Рись, аспірант

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ТЕПЛООВОГО НАСОСУ ДЛЯ КОМФОРТНОГО ЖИТТЄЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БАГАТОПОВЕРХОВОГО БУДИНКУ

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

Ключові слова: моделювання, інтеграція, гаряче водопостачання, опалення, теплі підлоги, енергетична ефективність, теплоенергетичні установки, електричні бойлери, універсальні котли, двоконтурні котли, централізоване опалення, геотермальна енергія, «грунт – вода», відновлювані джерела енергії, охолодження будинку, багатопверхові будинки, сонячна енергія, ексергія, ефективність, водонагрівачі, теплоізоляція, техніко-економічне обґрунтування, термін окупності.

Постановка задачі. До складу системи централізованого теплопостачання (ЦТ) входять такі основні елементи: джерело тепла, теплові мережі та місцеві системи споживання – системи теплопостачання, кондиціонування (охолодження) та гарячого водопостачання. Для ЦТ застосовуються два типи теплоджерел: комбіновані установки (теплоелектроцентралі - ТЕЦ) та централізовані теплові пункти (ЦТП) [1]. Комбіноване виробництво теплової та електричної енергії на ТЕЦ забезпечує значне зменшення витрат питомого пального на виробництво енергії. У цьому випадку теплота теплоносія – водяної пари – спочатку застосовується для виробництва електроенергії шляхом розширення пари в турбінах, а потім залишкова теплота відпрацьованої пари використовується для нагрівання води в рекуператорах, що входять до складу теплоутилізаційного обладнання ТЕЦ. Отримана нагріта вода подається для теплопостачання та гарячого водопостачання. Отже, на ТЕЦ високо потенційне тепло застосовується з метою генерації електроенергії, тоді як низькопотенційне тепло застосовується для теплопостачання. У цьому енергетичний сенс комбінованого виробництва теплової та електричної енергії. Коли вони виробляються окремо, електроенергія виробляється на конденсаційних електростанціях (КЕС), тоді як тепло виробляється в котельнях [2].

Транспортування теплоносія від джерел тепла здійснюється теплопроводами. За подавальними теплопроводами гаряча вода з одного з контурів котла подається в радіатори до споживачів, де віддає своє тепло і після охолодження повертається до джерела тепла за зворотними теплопроводами. Отже, відбувається безперервна циркуляція теплоносія між джерелом тепла і кінцевими користувачами. Теплопродуктивність сучасних радіаторів становить 150÷200 Гкал/год. А другий контур котла подає гарячу воду для гарячого водопостачання кухні, ванни тощо [3].

Основні теплові мережі муніципальних систем теплопостачання – це складні технічні конструкції. Теплові мережі включають в себе теплопроводи; компенсатори, що поглинають температурні деформації; запірну, регулюючу та захисну апаратуру, встановлену в спеціалізованих приміщеннях або павільйонах; мережеві насосні станції; центральні теплові пункти (ЦТП). Труби теплопроводів укладають у підземних умовах у герметичних і напівнепроникних каналах, у колекторах і безканално. З метою скорочення теплових втрат у процесі руху енергоносія по трубах застосовується їхня теплоізоляція [4]. В якості прототипу ми взяли десяти поверховий сорока квартирний буди-

нок, який забезпечується гарячим водопостачанням та опаленням двоконтурним універсальним котлом KV – 0,5, працюючим на природному газу, який стоїть у підвалі десяти поверхового сорока квартирного будинку. Аналіз роботи цього котла, виконаний нами, виявив недоліки в його роботі: викиди шкідливих речовин в довкілля при згорянні природного газу; контури котла неспроможні працювати окремо один від одного; підігрів води влітку неможливий за умови відсутності опалення житла.

Мета статті. Моделювання і розрахунок геотермального теплового насосу для гарячого водопостачання, опалення та охолодження десяти поверхового сорока квартирного будинку в якості заміни котла KV – 0,5.

Одна з безсумнівних плюсів цього будинку – це його майже повна самостійність відносно комунальних служб.

Зробивши аналіз роботи різних варіантів застосування теплових насосів, був обраний варіант з централізованим теплопостачанням та децентралізованим гарячим водопостачанням [5], яке може застосовуватися в багатоквартирних будинках, представлений на рис. 1.

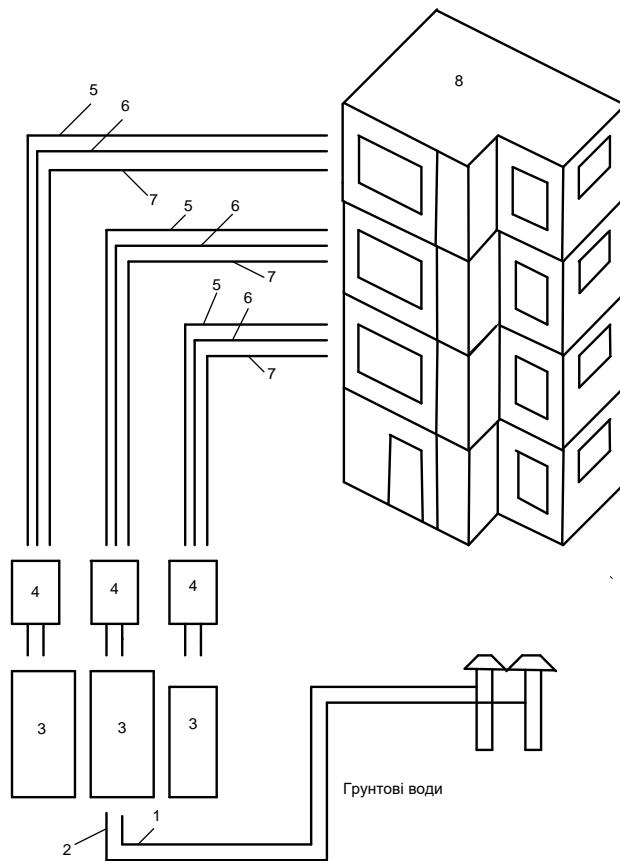


Рисунок 1 – Централізоване теплопостачання та децентралізоване гаряче водопостачання

1, 2 – Низько потенційна тепломережа; 3 - Центральний тепловий пункт на основі геотермальних теплових насосів «грунт – вода»; 4 – Квартирні теплові пункти; 5, 6 – Мережа гарячого водопостачання; 7 – Мережа холодного водопостачання; 8 – Багатоквартирний будинок

Центральний тепловий пункт на основі геотермальних теплових насосів відповідає найвищим вимогам енергоефективності та захисту навколишнього середовища. Приготування гарячої води виконується за допомогою квартирних теплових пунктів.

Впроваджуючи систему опалення, необхідно обрати найоптимальніший для кожного окремого варіанту, тому першим кроком є проведення розрахунків проєктованої опалювальної системи. Для цієї мети сьогодні існує багато методів і спеціалізованих програм, однак оптимальним методом є обчислення потрібної теплової потужності задля того, щоб максимально забезпечити об'єкт необхідною кількістю теплової енергії [6].

Узагальнений підрахунок цим методом містить багато математичних формул і показників. Найчастіше головним постачальником тепла в будинку є автономне водяне опалення. Даний фактор базується на тому, наскільки саме ця система дає змогу досягти максимально вигідних технічних характеристик і при цьому забезпечує високу ступінь комфортності та безпеку експлуатації для користувачів.

Перше, на що необхідно звернути увагу – це вибір теплогенеруючого пристрою. Так, для системи водяного опалювання може застосовуватися обігрівальний котел, що функціонує на різних видах палива, але він викидає в довкілля багато шкідливих речовин.

Вибір найбільш відповідного агрегату ґрунтується на індивідуальних особливостях об'єкту і технологічних вимогах. Розрахунок буде базуватися на стандартному значенні необхідної потужності опалення на кубометр для європейського регіону – 41 Вт на кубометр (даний багатоквартирний будинок збудований з утеплювачем та склопакетами згідно з сучасними будівельними вимогами, де всі стіни є зовнішніми) [7]. Зробимо спробу спрощеного підрахунку потрібної потужності теплогенеруючого пристрою та радіаторів, зважаючи на те, що на всіх поверхах будинку висота стель становить 2,5 метри.

Десять однокімнатних квартир загальною площею 340 м² (850 м³); десять двокімнатних квартир загальною площею 460 м² (1150 м³) і двадцять трьохкімнатних квартир загальною площею 1280 м² (3200 м³) – будинок загальною площею 2080 м² (5200 м³) [8].

Також маємо враховувати коридори та переходи з поверху на поверх, що додасть ще 500 кубометрів. Обсяг опалювальних приміщень становитиме 5700 м³. Тоді тепла потужність для опалення 5700 м³ становитиме, Вт:

$$N_K = 5700 \cdot 41 = 233700. \quad (1)$$

Цю цифру N_K , кВт, збільшуємо на 20 %, інакше теплогенеруючий пристрій увесь час працюватиме на повну потужність і може швидко вийти з ладу.

$$N_K = 233700 \cdot 1,2 = 280440 \approx 281. \quad (2)$$

Кількість теплоносія, що потрібна для роботи системи опалювання, визначаємо так: на 1 кВт доводиться 15 л теплоносія, а отже, в системі буде

$$V_L = N_K \cdot 15 = 300 \cdot 15 = 4500 \text{ л}. \quad (3)$$

Таким чином в системі опалювання працюватиме 4500 літрів теплоносія.

У всіх випадках генерація тепла з кожного окремого метра теплообмінної труби напряму залежить від кількох параметрів, як зазначалося раніше. Зокрема, це глибина

прокладання, наявність підземних вод, якість землі та інші. Перш за все, необхідно обчислити тепловий баланс будинку. Для цих обчислень варто використовувати формулу:

$$R = (k \cdot V \cdot t) / 860, \quad (4)$$

де R – споживана потужність приміщення (кВт/год); k – середній коефіцієнт втрат тепла будівлею: наприклад, так само 1 – відмінно утеплена будівля, а 4 – барак з дощок; V – сумарний обсяг усього опалювального приміщення, м³; t – максимальний перепад температури між вулицею і всередині приміщення; 860 – значення, необхідне для перекладу одержаних ккал в кВт.

У разі теплового насоса «грунт – вода» також необхідно розрахувати необхідну довжину контуру, який буде знаходитися в землі. Відомо, що 1 метр теплового ґрунтового контуру колектора дає близько 50 Вт [9]. Дізнавшись потрібну потужність насоса, ми можемо легко розрахувати, з якої кількості труб нам необхідно зробити контур. Давайте розрахуємо всі параметри для нашого багатоквартирного будинку. Площа, що опалюється – 2080 м²; висота стель – 2,5 м; будівля добре утеплена; взимку мінімальна температура на вулиці -25 °С; комфортна температура в приміщенні +22 °С. Загальна опалювальна площа приміщень становитиме 5700 м³. Потім обчислюємо значення, °С:

$$t = 22 - (-25) = 47. \quad (5)$$

Підставляємо ці дані в формулу (4), кВт/год:

$$R = (k \cdot V \cdot t) / 860 = (1 \cdot 5700 \cdot 47) / 860 = 311,512. \quad (6)$$

Отримуємо необхідну потужність теплового насоса 311,512 кВт/год. Цей показник збільшуємо на 20 %, оскільки інакше тепловий насос працюватиме весь час з повною потужністю і зможе досить швидко зламатися.

$$R = 311,512 \cdot 1,2 = 373,81. \quad (7)$$

Отже, купувати краще геотермальний тепловий насос на 374 кВт/год. Для його функціонування нам буде потрібно тепловий ґрунтовий колектор загальною довжиною, м

$$l = \frac{R}{50} = \frac{374000}{50} = 7480. \quad (8)$$

Кількість теплоносія, яка потрібна для ґрунтового теплового насоса. На 1 кВт доводиться 15 л теплоносія. Отже в системі буде, л:

$$V_l = N_k \cdot 15 = 374 \cdot 15 = 5610. \quad (9)$$

Ми обираємо геотермальний тепловий насос «грунт – вода». Такий тепловий насос можна компанувати в двох модифікаціях: 1. З горизонтальним тепловим колекто-

ром, якщо перед будинком є земельна ділянка, на якій можливо встановити колектор довжиною 7480 м [10]; 2. З вертикальним тепловим колектором. Увесь зовнішній контур системи зібраний за допомогою труб з полівінілхлоридного поліетилену. Схема горизонтального геотермального теплового насоса представлена на рисунку 2. Замість радіаторів опалення застосовуємо теплу підлогу.

Нами був обраний геотермальний тепловий насос «грунт – вода» WATERKOTTE фірми FRANK: з горизонтальним розташуванням теплообмінного ґрунтового колектора [11].

Вертикальні геотермальні теплові насоси використовують свердловини глибиною до 150 метрів. Всередині свердловин розміщуються труби з теплоносієм, які забирають тепло зі стабільних температурних шарів ґрунту.

Розрахуємо схему [11, 12] парокомпресійного теплового насоса (див. рис. 2) з теплопродуктивністю $Q_B=374$ кВт/год.

Як джерело тепла низького потенціалу використовується ґрунт з температурою на вході у випарник $t_{H1}=7$ °С та на виході з нього $t_{H2}=3$ °С. Температура води на вході в охолоджувач $t_{П.О}=35$ °С, а на виході з конденсатора $t_{B1}=75$ °С. Робочий агент в тепловому насосі є – фреон R407C $\Delta t_{П.О}=10$ °С. Внутрішній адіабатний ККД компресора $\eta_i=0,8$. Електромеханічний ККД компресора $\eta_{ЭМ}=0,9$. $\Delta t_{И}=1,5$ °С. $\Delta t_K=5$ °С. Визначити питомі показники всіх частин теплового насоса, ексергетичний ККД теплового насоса, коефіцієнт трансформації теплоти.

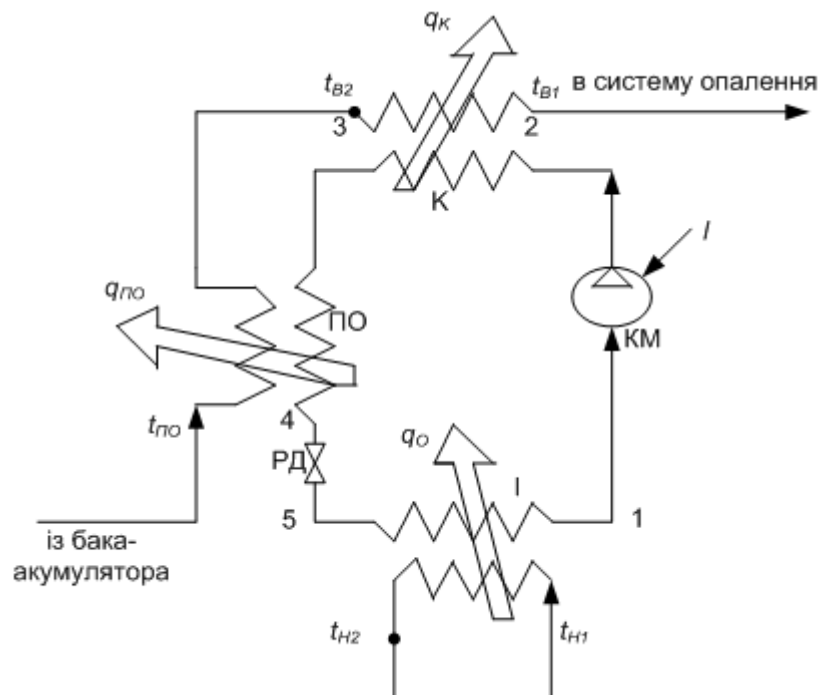


Рисунок 2 – Принципова схема геотермального теплового насоса

Робочим агентом в тепловому насосі є – фреон R407C. Діаграма стану фреону R407C представлена на рис. 3.

4	Ентальпію робочого агента, кДж/кг, на виході з компресора (точка 2, див. рис. 3) при внутрішньому адіабатному ККД компресора $\eta_i = 0,8$	$i_2 = i_1 + \frac{l_a}{\eta_i}$, кДж/кг.	739
5	Питому внутрішню роботу компресора, кДж/кг	$l_a = i_2 - i_1$	74
6	Питоме теплове навантаження випарника, кДж/кг	$q_0 = i_1 - i_5$	197
7	Питоме теплове навантаження конденсатора, кДж/кг	$q_K = i_2 - i_3$	233
8	Питоме теплове навантаження охолоджувача, кДж/кг	$q_{п.о} = i_3 - i_4$	38
9	Перевіримо енергетичний баланс, кДж/кг	$q = l_a + q_0 = q_K + q_{п.о}$	271=271
10	Масову витрату робочого агента, кг/с	$G = \frac{Q_B}{(q_K + q_{п.о})}$	0,383
11	Об'ємну продуктивність компресора, м ³ /с	$V_1 = G \cdot v_1$	0,1053
12	Розрахункове теплове навантаження випарника, кВт	$Q_0 = G \cdot q_0$	75,45
13	Розрахункове теплове навантаження охолоджувача, кВт	$Q_{п.о} = G \cdot q_{п.о}$	14,55
14	Розрахункове теплове навантаження конденсатора, кВт	$Q_K = q_K \cdot G$	89,24
15	Питому роботу компресора, кДж/кг, знаючи електро механічний ККД компресора $\eta_{EM} = 0,9$	$l_{KM} = \frac{l_a}{\eta_{EM}}$	82,22
16	Питому витрату електроенергії на одиницю виробленого тепла	$E_{Т.Н} = \frac{l_{KM}}{(q_K + q_{п.о})}$	0,304
17	Електричну потужність компресора, кВт	$N_{KM} = l_{KM} \cdot G$	31,49
18	Коефіцієнт трансформації теплоти	$K_T = \frac{(q_K + q_{п.о})}{l_{KM}}$	3,3
19	Середню температуру низькотемпературного тепловіддатчика, К	$T_{Н.СР} = (t_{H1} + t_{H2}) + 273$	283
20	Середню температуру отриманого тепла, К	$T_B^{CP} = (t_{B1} + t_{п.о}) + 273$	383

21	Коефіцієнт працездатності тепла з потенціалом T_B^{CP}	$\tau_T = 1 - \frac{T_{OC}}{T_B^{CP}}$	0,235
22	Коефіцієнт працездатності холоду з потенціалом $T_{H,CP}$	$\tau_O = 1 - \frac{T_{OC}}{T_{H,CP}}$	-0,035
23	Ексергію електрики, кВт, де τ_E – коефіцієнт працездатності електричної і механічної енергії дорівнює одиниці.	$E_E = N_{KM} \cdot \tau_E$	31,49
24	Ексергію конденсатора, кВт	$E_K = Q_K \cdot \tau_T$	20,97
25	Ексергію охолоджувача, кВт	$E_{PO} = Q_{PO} \cdot \tau_T$	3,42
26	Ексергію холоду, кВт	$E_O = Q_O \cdot \tau_O$	2,64
27	Ексергетичний ККД ґрунтового геотермального теплового насоса	$\eta_{ex} = \frac{E_K + E_{PO}}{E_E}$	0,775

Висновки

Був зроблений проєкт моделювання і розрахунок геотермального теплового насосу для гарячого водопостачання, опалення та охолодження десяти поверхового сорока квартирному будинку. За результатами розрахунку була розроблена нова принципова схема роботи теплового насоса, який забезпечує централізоване тепlopостачання та охолодження десяти поверхового сорока квартирному будинку. А децентралізовані квартирні станції для розподілу та гігієнічної підготовки гарячої води зроблені на основі бойлерів. Зроблений аналіз літературних джерел дав можливість обрати нове обладнання з найвищим коефіцієнтом корисної дії. Розрахунки підтвердили коректність вибору типу обладнання та матеріалів для заміни. Отримани ексергетичний коефіцієнт корисної дії нової теплоенергетичної установки – 78 % для даного проєкту, а також термін її енергетичної окупності – 3,5 роки, а також застосування геотермального теплового насоса «ґрунт – 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 для теплогенеруючого пристрою, дав економію – 4029166,32 грн.

Література

1. Тарадай О. М. Теплозабезпечення : монографія. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025. 322 с. URL: <http://eprints.kname.edu.ua/68139/1/2025%208MN%20репоз%20Тарадай%20О.%20М.pdf>.

2. Державні будівельні норми України. Опалення, вентиляція та кондиціонування: ДБН В.2.5-67:2013. Київ : Мінрегіон України, 2013. URL:

<https://document.vobu.ua/wp-content/uploads/DBN/100.1.-DBN-V.2.5-672013.-Opalennya-ventilyatsiya-ta-konditsi.pdf>.

3. Малявіна О. М., Міланко В. А. Опалення : конспект лекцій. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. 96 с. URL: <http://eprints.kname.edu.ua/63429/1/Малявіна%20Міланко%20109Л%202021%20pdf.pdf>.

4. Перехід України на відновлювану енергетику до 2050 року / О. Дячук; за заг. ред. Ю. Огаренко, О. Алієвої. Київ : АРТ КНИГА, 2017. 88 с. URL: https://energytransition.in.ua/wp-content/uploads/2018/11/Perehid-Ukrainy-na-vidnovlyuvanu-energetuky-do-2050_zvit.pdf.

5. Територіальний розвиток та регіональна політика в Україні / наук. ред. В. С. Кравців. Львів, 2015. 204 с. (Серія «Проблеми регіонального розвитку»). URL: <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 : Аструя, 2019. 276 с. URL: <http://dspace.puet.edu.ua/bitstream/123456789/7404/1/Моно%20АДЕ%20СТ.pdf>.

7. Використання палива в Україні та по регіонах у 2017 році. *Державна служба статистики України*. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/>.

8. Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: підручник. Київ : НТУУ «КПІ», 2012. 492 с. URL: http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2020/Kudrya_2012_492.pdf.

9. Про внесення змін до Закону України «Про теплопостачання» щодо стимулювання виробництва теплової енергії з альтернативних джерел енергії: Закон України від 21.03.2017 № 1959-VIII. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1959-19>.

10. Ексергетичні розрахунки технічних систем: довід. посіб. / В. М. Бродяньський та ін.; під ред. А. А. Долинського, В. М. Бродяньського. Київ : Наук. думка, 1991. 360 с. URL: <https://studfile.net/preview/20202839/>.

11. Паливно-енергетичні ресурси України: стат. зб. Київ : Держкомстат України, 2001. 273 с. URL: 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. Харків : Національний університет «Юридична академія України ім. Ярослава Мудрого», 2011. 208 с. URL: https://library.nlu.edu.ua/POLN_TEXT/POSIBNIKI_2011/0019.pdf.

Bibliography (transliterated)

1. Taradai O. M. Teplozabezpechennia : monohrafiia. Kharkiv : KhNUMH im. O. M. Beketova, 2025. 322 p. URL: <http://eprints.kname.edu.ua/68139/1/2025%20MN%20repoz%20Taradai%20O.%20M.pdf>.

2. Derzhavni budivelni normy Ukrainy. Opalennia, ventyliatsiia ta kondytsionuvannia: DBN V.2.5-67:2013. Kyiv : Minrehion Ukrainy, 2013. URL: <https://document.vobu.ua/wp-content/uploads/DBN/100.1.-DBN-V.2.5-672013.-Opalennya-ventilyatsiya-ta-konditsi.pdf>.

3. Maliavina O. M., Milanko V. A. Opalennia: konspekt leksii. Kharkiv : KhNUMH im. O. M. Beketova, 2023. 96 p. URL: <http://eprints.kname.edu.ua/63429/1/Maliavina%2C%20Milanko%2C%20109L%2C%202021%2C%20pdf.pdf>.

4. Perehid Ukrainy na vidnovliuvanu enerhetyku do 2050 roku / O. Diachuk; za zah. red. Yu. Oharenko, O. Aliievoi. Kyiv : ART KNYHA, 2017. 88 p. URL: https://energytransition.in.ua/wp-content/uploads/2018/11/Perehid-Ukrainy-na-vidnovlyuvanu-energetuky-do-2050_zvit.pdf

5. Terytorialnyi rozvytok ta rehionalna polityka v Ukraini / nauk. red. V. S. Kravtsiv. Lviv, 2015. 204 p. (Seriiia «Problemy rehionalnoho rozvytku»). URL: <http://ird.gov.ua/irdp/p20150101a.pdf>

6. Alternatyvni dzherela enerhii u pidvyshchenni enerhoefektyvnosti ta enerhonezalezhnosti silskykh terytorii : kolektyvna monohrafiia / za red. I. O. Yasnolob, T. O. Chaiky, O. O. Horba. Poltava : Astraia, 2019. 276 p. URL: <http://dspace.puet.edu.ua/bitstream/123456789/7404/1/Моно%20АДЕ%20СТ.pdf>

7. Vykorystannia palyva v Ukraini ta po rehionakh u 2017 rotsi. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/>.

8. Kudria S. O. Netradytsiini ta vidnovliuvani dzherela enerhii : pidruchnyk. Kyiv : NTUU «KPI», 2012. 492 p. URL: http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2020/Kudrya_2012_492.pdf.

9. Pro vnesennia zmin do Zakonu Ukrainy «Pro teplopостachannia» shchodo stymuliuвання vyrobnytstva teplovoi enerhii z alternatyvnykh dzherel enerhii : Zakon Ukrainy vid 21.03.2017 No 1959-VIII. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1959-19>.

10. Ekserhetychni rozrakhunky tekhnichnykh system : dovid. posib. / V. M. Brodianskyi ta in.; pid red. A. A. Dolynskoho, V. M. Brodianskoho. Kyiv : Nauk. dumka, 1991. 360 p. URL: <https://studfile.net/preview/20202839/>

11. Palyvno-enerhetychni resursy Ukrainy : stat. zb. Kyiv: Derzhkomstat Ukrainy, 2001. 273 p. URL: https://books.google.com.ua/books/about/Palyvno_enerhetychni_r.html?id=iV-0AAAAIAAJ&redir_esc=y

12. Ekonomika pidpriemstva : navch. posib. / za zah. red. L. S. Shevchenko. Kharkiv : Natsionalnyi universytet «Iurydychna akademiia Ukrainy im. Yaroslava Mudroho», 2011. 208 p. URL: https://library.nlu.edu.ua/POLN_TEXT/POSIBNIKI_2011/0019.pdf.

УДК 662.997

Ю. А. Селіхов, канд. техн. наук, доцент, К. В. Перемот, студентка,
Е. Р. Нагорний, аспірант, І. В. Пільник, аспірант, В. Г. Рись, аспірант

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ТЕПЛОВОГО НАСОСУ ДЛЯ КОМФОРТНОГО ЖИТТЄЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БАГАТОПОВЕРХОВОГО БУДИНКУ

До складу системи централізованого теплопостачання (ЦТ) багатоповерхових будівель входять такі основні елементи: джерело тепла, теплові мережі та місцеві сис-

теми споживання - системи теплопостачання, кондиціонування (охолодження) та гарячого водопостачання. Теплогенеруючий пристрій (котельня) виробляє тепло та розподіляє його за квартирами на поверхах. Але при згоранні природного газу в теплогенеруючому пристрої (котельні) в докільля викидаються такі шкідливі речовини як: діоксид азоту, діоксид вуглецю. Був зроблений проєкт моделювання і розрахунок геотермального теплового насосу для гарячого водопостачання, опалення та охолодження десяти поверхового сорока квартирнього будинку в якості заміни теплогенеруючого пристрою. За результатами розрахунку була розроблена нова принципова схема роботи теплового насосу який забезпечує централізоване теплопостачання та охолодження десяти поверхового сорока квартирнього будинку. А децентралізовані квартирні станції для розподілу та гігієнічної підготовки гарячої води зроблені на основі бойлерів. Зроблений аналіз літературних джерел дав можливість обрати нове обладнання з найвищим коефіцієнтом корисної дії. Розрахунки підтвердили коректність вибору типу обладнання та матеріалів для заміни. Отриманий ексергетичний коефіцієнт корисної дії нової теплоенергетичної установки – 78 % для даного проєкту, а також термін її енергетичної окупності – 3,5 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 для теплогенеруючого пристрою, дав економію – 4029166,32 грн.

Ключові слова: моделювання, інтеграція, гаряче водопостачання, опалення, теплі підлоги, енергетична ефективність, теплоенергетичні установки, електричні бойлери, універсальні котли, двоконтурні котли, централізоване опалення, геотермальна енергія, «грунт – вода», відновлювані джерела енергії, охолодження будинку, багатопверхові будинки, сонячна енергія, ексергія, ефективність, водонагрівачі, теплоізоляція, техніко-економічне обґрунтування, термін окупності.

Yu. A. Selikhov, K. V. Peremot, E. R. Nagorniy, I. V. Pilnyk, V. G. Rys

SIMULATION OF HEAT PUMP OPERATION TO ENSURE COMFORTABLE LIFE IN A MULTI-STORY HOUSE

The central heating (CH) system of multi-storey buildings includes the following main elements: a heat source, heating networks and local consumption systems - heating, air conditioning (cooling) and hot water supply systems. A heat generating device (boiler room) produces heat and distributes it to apartments on the floors. But when natural gas is burned in a heat-generating device (boiler room), harmful substances such as nitrogen dioxide and carbon dioxide are released into the environment. A project was developed to model and calculate a geothermal heat pump for hot water supply, heating and cooling of a ten-story forty-apartment building. Based on the results of the calculation, a new schematic diagram of the heat pump was developed, which provides centralized heating and cooling of a ten-story forty-apartment building. And decentralized apartment stations for the distribution and hygienic preparation of

hot water are made on the basis of boilers. The analysis of literary sources made it possible to choose new equipment with the highest efficiency. The calculations confirmed the correctness of the choice of the type of equipment and materials for replacement. The obtained exergy efficiency of the new thermal power plant is 78 % for this project, as well as its energy pay-back period is 3.5 years, and the use of a geothermal heat pump "ground – water" in the thermal power plant allows: – to reduce the cost of thermal energy by reducing material consumption and equipment costs, save organic fuel; produce thermal energy; reduce thermal load and environmental pollution. Calculation of cost savings after abandoning natural gas as an energy carrier for a heat-generating device gave savings of UAH 4,029,166.32. Also, 1341 tons/year of harmful substances are not emitted into the environment.

Keywords: modeling, integration, hot water supply, heating, underfloor heating, energy efficiency, thermal power plants, electric boilers, universal boilers, double-circuit boilers, central heating, geothermal energy, "soil - water", renewable energy sources, house cooling, multi-storey buildings, solar energy, exergy, efficiency, water heaters, thermal insulation, feasibility study, payback period.

Отримано редколегією 03.02.2026

Селіхов Юрій Анатолійович (Yurii Selikhov), канд. техн. наук, доцент, професор Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», <https://orcid.org/0000-0002-8679-2752>;

Перемот Карина Віталіївна (Karina Peremot), студентка Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», <https://orcid.org/0009-0000-2026-9224>.

Нагорний Ельдар Рамісович (Eldar Nagorniy), аспірант Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», <https://orcid.org/0009-0001-9652-5252>;

Пільник Іван Вадимович (Ivan Pilnyk), аспірант НТУ «ХПІ», <https://orcid.org/0009-0003-0583-0353>;

Рись Віталій Григорович (Vitalii Rys), аспірант Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», <https://orcid.org/0009-0007-7638-0504>.