

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ І СИСТЕМ ЕНЕРГЕТИКИ

ISSN 2522-4344 (Online), ISSN 1562-8965 (Print). The problems of general energy, 2018, 4(55): 41–46
doi: <https://doi.org/10.15407/pge2018.04.041>

УДК 621.31

В.О. ДЕРІЙ, канд. техн. наук, ст. наук. співр.,
Т.П. НЕЧАЄВА канд. техн. наук
Інститут загальної енергетики НАН України,
вул. Антоновича, 172, м. Київ, 03150, Україна

ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРІВ ДЛЯ УЩІЛЬНЕННЯ ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПІД ЧАС НІЧНОГО ПРОВАЛУ ОЕС УКРАЇНИ

Наведено результати проведеного аналізу впливу на довкілля використання різного типу споживачів-регуляторів (електрокотлів, теплових насосів та когенераційних установок), призначених для регулювання навантаження ОЕС України під час її «нічних провалів». Встановлено, що додаткове споживання електроенергії електричними теплогенераторами буде становити 5,35 млрд кВт·год в рік. Це призведе до додаткового спалювання на ТЕС 7456 – 6527 тис. т. вугілля та викидам в повітря значної кількості діоксиду вуглецю, оксидів сірки та пилу. Для зменшення впливу теплових насосів на довкілля доцільно використовувати низькопотенційні джерела енергії техногенного характеру – теплоту каналізаційних стоків, технологічних вод, систем вентиляції, димових газів тощо.

Ключові слова: електричні теплогенератори, ОЕС України, нічний провал, електричні котли, теплові насоси, екологічний вплив.

У даний час Об'єднана енергосистема (ОЕС) України функціонує у складі об'єднаних енергосистем Росії та країн Балтії. Стійкість цього об'єднання забезпечується за допомогою гідроелектростанцій Росії, яка фактично надає системні послуги Україні. Але навіть при цьому в ОЕС України існує дефіцит маневрових потужностей. У силу об'єктивних факторів, які склалися в економіці України (зміна структури виробництва, зростання споживання електроенергії населенням тощо), з часом ця проблема тільки загострюється [1]. Особливо відчутним цей дефіцит є в години «нічного провалу» (23⁰⁰–7⁰⁰) графіка електричних навантажень (ГЕН), який призводить до вимушеної зупинки вугільних енергоблоків ТЕС 200–300 МВт, які використовуються для регулювання. Циклічна робота цих маневрових блоків зменшує їх ресурс, призводить до перевитрат палива, збільшення витрат на експлуатацію, поточний та ка-

пітальні ремонти. Загалом втрати ОЕС України від дефіциту маневрових потужностей за оцінками різних експертів сягають до 2,2 млрд грн в рік.

Через низку політичних, економічних, технологічних та інших факторів Росія у будь-який момент може перестати надавати системні послуги, або ж запросити за них значні кошти, що обумовить величезні проблеми для України. Тому дослідження, спрямовані на повне чи часткове вирішення вищезазначених проблем, є доцільними та актуальними.

Одним і можливих варіантів вирішення проблеми ущільнення ГЕН під час нічного провалу навантаження ОЕС України є широке впровадження споживачів-регуляторів, які можуть бути використані для вторинного регулювання частоти та активної потужності ОЕС України. Відомі роботи [1, 2], в яких аналізуються техніко-економічні аспекти впровадження споживачів-регуляторів, функціональні залежності, згідно яких вони працюють [3], особливості їх

© В.О. ДЕРІЙ, Т.П. НЕЧАЄВА, 2018

спільної роботи із системами централізованого теплопостачання [4]. Але до цього часу не аналізувався екологічний вплив на довкілля використання різного типу споживачів-регуляторів, що і є метою даної роботи.

При використанні в якості споживачів-регуляторів електричних теплогенераторів (ЕТГ) буде додатково спожито деяку кількість електричної та вироблено відповідну кількість теплової енергії, яка замінить аналогічну в системах централізованого теплопостачання. Споживання ЕТГ додаткової кількості виробленої електричної енергії призведе до спалювання на теплових електростанціях додаткової кількості вугілля, що, в свою чергу, обумовить збільшення викидів у довкілля парникових газів, оксидів сірки та пилу.

У роботі [3] показано, що в переважній більшості випадків потужність під час нічного провалу ГЕН можна виразити поліномом другого ступеня (параболою)

$$N_{\text{нп}} = a\tau^2 - b\tau + c, \quad (1)$$

де $N_{\text{нп}}$ – електрична потужність/навантаження енергосистеми під час нічного провалу, τ – час, a, b, c – коефіцієнти параболи.

Якщо підтримувати потужність ОЕС України на рівні навантаження у 23^{00} доби (початок нічного провалу ГЕН), то, згідно [4], функцію зміни потужності комплексу ЕТГ у часі можна записати у вигляді

$$\sum_j P_{j\text{ЕТГ}}^e(\tau) = -a\tau^2 + b\tau, \quad (2)$$

де $P_{j\text{ЕТГ}}^e(\tau)$ – електрична потужність j -того ЕТГ.

Із виразу (2) видно, що для повної компенсації нічного провалу сумарна електрична потужність комплексу ЕТГ повинна змінюватись дзеркально функції, яка його описує. При цьому функціональні залежності потужності в часі окремих ЕТГ можуть бути будь-якими, але їх сума в кожний момент часу повинна відповідати значенню дзеркальної функції (права частина виразу (2)). Фактично, для енергосистеми це є приріст навантаження, який апроксимується поліномом другого порядку. Цей приріст навантаження покривається додатковим виробництвом електроенергії на теплових електростанціях з відповідним додатковим споживанням палива.

Важливим моментом при застосуванні ЕТГ є визначення їх економічно доцільної величини електричної потужності, яка залежить від глибини нічного провалу ГЕН. У роботі [4] на основі проведених статистичних досліджень ГЕН за період 2014–2017 рр. встановлено, що середня потужність ЕТГ за цей період становила близько 2500 МВт, що і було прийнято для подальшого аналізу.

Для оцінки додаткового споживання палива тепловими електростанціями під час ущільнення нічного провалу ГЕН об'єднаної енергосистеми був вибраний графік, в якому глибина провалу (2513 МВт) близька до середнього значення (14–15.02.2017 р.). Нічний провал ГЕН у даному випадку апроксимується рівнянням

$$P = 143,35\tau^2 - 1222,2\tau + 19932. \quad (3)$$

Враховуючи рівняння (2), річну кількість спожитої електричної енергії ЕТГ можна визначити, виходячи із виразу

$$E = n \int_0^8 (-143,35\tau^2 + 1222,2\tau) d\tau, \quad (4)$$

де n – кількість днів у році.

Виконавши розрахунки у виразі (4), визначимо річне споживання електроенергії комплексом ЕТГ, яке становить 5,35 млрд кВт·год. Для подальшого аналізу припустили, що ТЕС споживають виключно вугілля (споживанням природного газу, яке становить близько 2%, було знехтувано). Згідно [5], питомі витрати палива тепловими електростанціями у 2017 р. становили 401,1 г/кВт·год. Але цей показник включає в себе як питомі витрати палива блоків, які працюють безперервно, так і блоків, які працюють циклічно, зупиняючись під час нічного провалу ГЕН. При використанні ЕТГ для ущільнення ГЕН всі блоки будуть працювати безперервно, а отже питомі витрати палива будуть іншими (меншими). Відомо [5], що у 2017 р. в середньому працювало 36 енергоблоків. Згідно звіту НЕК Укренерго з оцінки відповідності генеруючих потужності [6], щодобово в ОЕС України під час нічного провалу зупиняється 7–10 блоків. Для розрахунків приймемо зупинку на ніч 10 енергоблоків. Приріст питомих витрат палива через пуски, згідно [7], становить 21 г/кВт·год. Зробимо припущення, що всі енергоблоки мають однакові питомі витрати. Тоді, в першому наближенні, скориговані питомі витрати палива можна знайти, виходячи із формули середньозваженого

$$b_k \frac{n_6}{n_3} + (b_k + \Delta_b) \frac{n_{\text{п}}}{n_3} = b_{2017}, \quad (5)$$

де $n_6, n_{\text{п}}, n_3$ – кількість енергоблоків, які працюють відповідно безперервно, з перервами та їх загальна кількість; b_{2017}, b_k – питомі витрати палива енергоблоками у 2017 р. та скориговані; Δ_b – приріст питомих витрат через зупинки енергоблоків.

Підставляючи дані у вираз (5) та вирішуючи його відносно b_k , отримаємо значення скоригованих питомих витрат палива для енергоблоків, працюючих без зупинки $b_k = 395,3$ г/

кВт·год. Знаючи скориговані питомі витрати, можна вирахувати обсяг палива, спожитого ТЕС на виробництво електроенергії для ЕТГ. При відомому додатковому споживанні тепловими електростанціями вугілля, можна вирахувати, скільки буде викинуто в повітря діоксиду вуглецю CO_2 . Щодо викидів оксидів сірки та пилу, то їх обсяги залежать від обладнання ТЕС фільтрами і регламентуються нормативним документом [8].

Для проведення розрахунків було виділено три періоди по стану викидів, згідно [8], та споживання палива тепловими електростанціями – поточний стан, після проведення модернізації та реконструкції з досягненням нормативних вимог щодо викидів оксидів сірки та пилу, діючих з 2028 р.

Обсяг викидів розраховували згідно виразу

$$M_i = k_i M_B, \quad (6)$$

де M_i, k_i – маса та питомий коефіцієнт для і-го викиду; M_B – маса спожитого вугілля.

У першому періоді середньозважені питомі витрати палива визначені згідно формули (5) з урахуванням поточного стану ТЕС, у другому – прийняті, виходячи з даних щодо питомих викидів та питомого споживання палива, досягнутих при технічному переоснащенні та реконструкції вугільних енергоблоків 200 та 300 МВт згідно [9, 10], у третьому періоді, виходячи з умов досягнення показників викидів по закінченню Національного плану скорочення викидів від великих спалюючих установок та цільового показника питомих витрат палива на виробництво електроенергії ТЕС, встановленого Енергетичною Стратегією на рівні 2035 р. Відповідно до питомих витрат палива, визначалися додаткове споживання вугілля та відповідні викиди.

Сумарні витрати C , обумовлені додатковим споживанням вугілля та вищезгаданим впливом на довкілля, визначалися, виходячи із виразу

$$C = V_B c_B + V_{ПГ} c_{ПГ} + V_S c_S + M_{П} c_{П}, \quad (7)$$

де $c_B, c_{ПГ}, c_S, c_{П}$ – ціна вугілля, екологічні платежі за викиди CO_2 , оксидів сірки, пилу відповідно; $V_{ПГ}, V_S, M_{П}$ – обсяги додаткового споживання вугілля та викидів парникових газів, оксидів сірки та пилу відповідно.

Розрахунки проводилися в поточних цінах, ціна енергетичного вугілля взята рівною 2535 грн/т. [11] відповідно до базової ціни на енергетичне вугілля, встановленої Міненерговугілля з квітня 2018 р., екологічні платежі за викиди відповідають поточним ставкам екологічного податку, визначеним Податковим кодексом України [12]. Результати розрахунків наведені в табл. 1.

Як видно із табл. 1, обсяги вуглецевих викидів та викидів забруднюючих речовин, а також екологічні платежі за такі викиди при поточному стані існуючого пилоочисного обладнання теплових електростанцій занадто високі, щоб впроваджувати ЕТГ. Після проведення технічного переоснащення та реконструкції ТЕС з виконанням нормативних екологічних вимог використання ЕТГ стає доцільним, тому що обсяги викидів та податки за викиди знизяться в 13,8 раз.

Крім того, необхідно зазначити, що теплова енергія, яку виробляють ЕТГ, замінить аналогічну, яку виробляють котли СТЦ. Не важко показати, що при цьому буде зменшено споживання СЦТ природного газу близько на 537,1 млн м³ в рік, що, у свою чергу, приведе до зменшення викидів CO_2 на 1031 тис. т в рік. Тобто, загальні по Україні викиди CO_2 , обумовлені впро-

Таблиця 1 – Споживання палива та викиди ТЕС при використанні ЕТГ

Параметр	Поточний стан		Після модернізації		2035 р.	
	Обсяг/ значення	Сума платежів, млн грн	Обсяг/ значення	Сума платежів млн грн	Обсяг/ значення	Сума платежів млн грн
Середні питомі витрати палива, г/кВт·год у.п.	395,3		355		334	
Споживання вугілля, тис. т	2950	7,49	2649	6,72	2493	6,32
Викиди CO_2 , тис. т	5701	2,34	5192	2,13	4976	2,04
Викиди SO_2 , тис. т	80,6	197,7	5,0	12,38	2,6	6,47
Викиди пилу, тис. т	10,6	0,987	1,0	0,089	0,5	0,043
Сумарні податки на викиди		201,0		14,6		8,6
Всього		208,5		21,11		14,6

вадженням ЕТГ в системах централізованого теплопостачання, зменшать відповідні обсяги викидів, наведені у табл. 1, на зазначений вище обсяг від економії природного газу.

Це і буде прямий вплив на довкілля використання ЕТГ для ущільнення ГЕН під час їх нічного провалу.

Розглянемо інші види впливу на довкілля використання ЕТГ. Перш за все, необхідно врахувати той факт, що ЕТГ будуть встановлені в СЦТ, які знаходяться в населених пунктах. Робота будь-якого устаткування супроводжується санітарними обмеженнями, щоб зменшити або локалізувати негативний вплив на навколишнє середовище. Серед основних факторів впливу є гранично допустимі рівні шуму, звукового тиску, вібрації, напруженості електричних та магнітних полів.

Допустимий рівень шуму має відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.5-44.2010, і не перевищувати 45 дБ(А) в житловій зоні та 50 дБ(А) в змішаній. Допустимі рівні звукового тиску залежать від частот і не повинні перевищувати значення наведені в додатку В ДБН В.2.2-15-2005 Житлові будинки. Основні положення / Державні будівельні норми. Будинки та споруди. (СНиП П-12-77 «Защита от шума»). Граничні рівні локальної вібрації, яка виникає від роботи різних машин та механізмів, не повинні перевищувати величин, які наведені в ДСН 3.3.6. 039-99 Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації.

Наступним фактором впливу є електромагнітне поле, що випромінюється при роботі теплогенеруючого устаткування. Гранично допустимі рівні електричних полів промислової частоти (50 Гц) визначаються в залежності від часу дії цього фактору на організм людини. Згідно Державних санітарних норм і правил при роботі з джерелами електромагнітних полів, перебування людини в електричному полі напруженістю до 5 кВ/м допускається протягом 8 год. А гранично допустимі рівні напруженості магнітного поля частотою 50 Гц при постійному впливі не повинні перевищувати 1,4 кА/м протягом 8 год.

Одним із можливих варіантів є використання в якості ЕТГ теплових насосів (ТН). Позитивні якості та переваги ТН перед іншими теплогенераторами добре відомі, але це зовсім не означає абсолютну доцільність їх впровадження у всіх випадках. Впроваджувати ТН доцільно тільки там, де вони мають незаперечні переваги перед іншими технологіями генерації теплової енергії [13]. Ця доцільність обумовлюється, перш за все, наявністю та доступністю джерел низькопотенційної теплоти та споживачів теплової

енергії в місцях їх розташування. Розглянемо більш детально можливості використання низькопотенційної теплоти природного та штучного походження в умовах міста для потужних ТН (>1 МВт).

Відомо [14–16], що при горизонтально розташованому земляному колектору ТН, тепловіддача різних ґрунтів знаходиться в межах 10–35 Вт/м² (для оціночних розрахунків приймають 20 Вт/м²). Для вертикальних ґрунтових зондів тепловіддача становить 45–50 Вт/м [14, 15], глибина свердловин сягає до 200 м, відстань між ними становить 5–15 м. Неважко показати, що для ТН тепловою потужністю 1 МВт горизонтальний колектор буде займати площу 500 тис. м², а для вертикальних зондів знадобиться 200 стометрових свердловин, які займуть площу близько 44 тис. м². Безумовно, що в умовах щільної забудови великих міст це дуже проблематично.

Одним із факторів впливу використання ґрунтових ТН є зміна температурного режиму довкілля. Результати досліджень та моделювань роботи ТН з вертикальним колектором, які наведені в [17–19], показали, що охолодження ґрунту навколо свердловин відбувається дуже швидко. Уже через рік експлуатації ТН температура нейтрального шару біля свердловин знизиться з 10 до 1,5 °С [13]. За життєвий цикл експлуатації ТН охолоджені плями ґрунту, які виникають навколо свердловин, зімкнуться в одну велику пляму, що зробить ґрунт непридатним до рослинництва, порушується екологічна рівновага та виникає дискомфорт для мешканців. Причому, охолодженні площі будуть в декілька разів перевищувати площі свердловин. А процес відновлення температури ґрунту після виведення ТН із експлуатації займає понад 20 років [17, 18], так як тепловий потік від надр землі складає всього 0,05–0,12 Вт/м² [20].

При використанні ТН теплоти ґрунтових вод вони подаються в теплообмінник, а охолоджені води зливається в ґрунт на деякій відстані від її забору, що призводить до інтенсивного втручання в гідрологічний режим надр. Крім того, це може призвести до недостачі дебіту або деградації джерела [18, 19].

ТН, які використовують теплоту природних водоем та річок, мають найбільший коефіцієнт перетворення енергії, порівняно із іншими типами. Їх робота призводить до високого ступеня замерзання річок та озер [18, 19], наслідки від чого практично не вивчені.

Теплоту навколишнього повітря доцільно використовувати для ТН у кліматичних зонах з температурою не менше як +5 °С та стабільни-

ми погодними умовами. При коливанні температур навколишнього повітря в опалювальний сезон у широкому діапазоні, використання повітряних теплових насосів недоцільно [14]. При великій потужності повітряних ТН необхідно враховувати те, що вони є джерелом підвищеного рівня шуму для навколишнього середовища. Так, при їх використанні для отримання 1 кВт теплової потужності потрібно прокачувати через випарник або теплообмінник в середньому близько 300 м³/год повітря [15], а відповідно для 1МВт – 300 тис. м³/год. І тому, концентрація великого рівня потужності повітряних теплових насосів в одному місці (котельні) призведе до створення високого рівня шуму та дискомфорту в житловій зоні. Існує великий ризик замерзання випарника теплового насосу при схемі повітря-вода. Сказане вище означає, що при впровадженні повітряних ТН великої потужності існує загроза зміни мікроклімату житлового масиву (переохолодження в холодну пору року та перегрів влітку).

Виконаний аналіз показав, що ТН, які використовують теплоту ґрунту, води та повітря, мають суттєвий вплив на довкілля. Для зменшення цього впливу доцільно використовувати низькопотенційні джерела енергії техногенного характеру – теплоту каналізаційних стоків, технологічних вод, систем вентиляції, димових газів та інше.

Використання електричних котлів в якості ЕТГ, як правило, не викликає іншого впливу на довкілля, окрім додаткового споживання електроенергії. Так як електрокотли будуть розташовані в котельних СЦТ, то безумовно будуть виконані вимоги існуючих нормативних документів та санітарних норм, які наведені вище.

У деяких СЦТ для часткового або повного забезпечення себе електроенергією впроваджуються когенераційні установки. В переважній більшості впроваджуються когенераційні установки на базі газопоршневих двигунів. Це обумовлено тим, що в діапазоні потужностей 0–10 МВт вони мають значні переваги порівняно із турбогенераторами. Електричний коефіцієнт корисної дії цих когенераційних установок сягає 35–42%. Когенераційні установки теж можна використати для ущільнення ГЕН під час їх нічних провалів як генератори-регулятори.

Одним із недоліків газопоршневих когенераційних установок є високий рівень шуму, який сягає рівня 100–109 дБ, що значно перевершує санітарні норми та вимоги нормативних документів. Джерелами шуму є газопоршневий двигун, генератор та блок аварійного скидання тепла. Все це необхідно враховувати та вживати

відповідних заходів при використанні цих установок, особливо, якщо котельні, де вони розміщені, знаходяться в житловій зоні.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що додаткове споживання електроенергії електричними теплогенераторами буде становить 5,35 млрд кВт·год в рік.

2. Для виробництва такої кількості електроенергії необхідно буде спалити на ТЕС 7456 – 6527 тис. т. вугілля (залежно від періоду експлуатації ЕТГ), що призведе до суттєвого впливу на довкілля у вигляді викидів парникових газів та забруднюючих речовин – оксидів сірки та пилу.

3. Якщо в якості електричних теплогенераторів використовувати теплові насоси, то за життєвий цикл їх експлуатації буде охолоджена значна частина ґрунту, що зробить його непридатним до рослинництва, порушиться екологічна рівновага та виникне дискомфорт для мешканців. Процес відновлення температури ґрунту після виведення теплових насосів із експлуатації займає понад 20 років.

4. При впровадженні повітряних теплових насосів великої потужності існує загроза зміни мікроклімату житлового масиву (переохолодження в холодну пору року та перегрів влітку).

5. Для зменшення впливу теплових насосів на довкілля доцільно використовувати низькопотенційні джерела енергії техногенного характеру – теплоту каналізаційних стоків, технологічних вод, систем вентиляції, димових газів та інше.

6. Впровадження електричних теплогенераторів доцільно після проведення модернізації та реконструкції теплових електростанцій.

1. Кулик М.М. Співставний аналіз техніко-економічних характеристик Канівської ГАЕС та комплексу споживачів-регуляторів для покриття графіків електричних навантажень. *Проблеми загальної енергетики*. 2014. № 4(39). С. 5–10.

2. Кулик М.М. Техніко-економічні аспекти використання споживачів-регуляторів у системах автоматичного регулювання частотою і потужністю. *Проблеми загальної енергетики*. 2015. № 1(40). С. 20–28. <https://doi.org/10.15407/pge2015.01.020>.

3. Дерій В.О., Згуровець О.В. Дослідження графіків електричних навантажень енергосистеми для визначення можливостей їх ущільнення шляхом використання електричних теплогенераторів. *Проблеми загальної енергетики*. 2017. № 4(51). С. 52–60. <https://doi.org/10.15407/pge2017.04.052>.

4. Дерій В.О. Особливості спільної роботи систем централізованого теплопостачання та електричних теплогенераторів при регулюванні ними наванта-

- ження ОЕС України. *Проблеми загальної енергетики*. 2018. № 3(54). С. 54—59. <https://doi.org/10.15407/pge2018.03.054>.
5. Інформація про роботу електроенергетичного комплексу за грудень 2017 року. *Міненерговугілля України*. URL: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=245272535&cat_id=245183225 (дата звернення: 17.07.2018).
6. Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужності. *НЕК «Укренерго»*. URL: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2017/10/Zvit-z-otsinky-vidpovidnosti-dostatnosti-generuyuchyh-potuzhnostej.pdf> (дата звернення: 09.08.2018).
7. Разумний Ю.Т., Рухлов А.В. Про проблему використання маневрених джерел енергії. URL: http://gea.nmu.org.ua/docs/2009/1/82_007-013.pdf (дата звернення: 30.07.2018).
8. Про внесення змін до наказу Мінприроди від 22 жовтня 2008 року № 541. *Міністерство екології та природних ресурсів України*. Наказ 16.02.2018 № 62. URL: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/z0290-18/print1509719998271496> (дата звернення: 31.07.2018).
9. Чернявський М.В., Буляндра О.Ф. Результати та перспективи модернізації існуючих пило-вугільних енергоблоків ТЕС України. *Угольная теплоэнергетика. Проблемы реабилитации и развития: тезисы 10 междунар. науч.-практ. конф.* К., 2014. С. 46—49.
10. Левин М.М., Бабичев Л.А., Гуля О.М. Техническое переоснащение угольных энергоблоков 150–300 МВт. *Энергетика та електрифікація*. 2013. № 3. С. 61—75.
11. Міністерство енергетики та вугільної промисловості підняло ціну на вугілля. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/2435632-minenergo-ridnalo-cinu-na-vugilla.html> (дата звернення: 06.08.2018).
12. Ставки екологічного податку (станом на 01.01.2018 р.). URL: <https://dtk.com.ua/show/osid0178.html> (дата звернення: 31.07.2018).
13. Уланов Н.М., Уланов М.М., Соломко В.Д. Использование низкопотенциального тепла вод различного происхождения для теплоснабжения в ЖКХ и других отраслях экономики Украины. URL: http://www.journal.esco.co.ua/2012_8/art190.htm (дата звернення: 18.07.2018).
14. Руководство по применению тепловых насосов с использованием вторичных энергетических ресурсов нетрадиционных возобновляемых источников энергии. М., 2001. URL: <http://www.complexdoc.ru/ntdtext/482261/4> (дата звернення: 19.07.2018).
15. Руководство по проектированию тепловых насосов компании Виссманн. URL: <http://www.viessmann.ua/> (дата звернення: 20.07.2018).
16. Жидович И.С. Применение тепловых насосов в системах теплоснабжения и горячего водоснабжения многоквартирного жилого фонда на принципах энергосбережения. Минск, 2014.
17. Тепловые насосы в современной промышленности и коммунальной инфраструктуре. URL: [https://docplayer.ru/47616998-Тепловые-насосы-в-современной-промышленности-и-коммунальной-инфраструктуре-информационно-методическое-издание.html](https://docplayer.ru/47616998-Тепловые-насосы-в-современной-промышленности-и-коммунальной-инфраструктуре.html) (дата звернення: 18.07.2018).
18. Трушевский С.Н. Термоскважины для теплонасосов: экологический аспект. URL: <http://www.c-o-k.ru/articles/termoskvazhiny-dlya-teplonasosov-ekologicheskij-aspekt> (дата звернення: 23.07.2018).
19. Трушевский С.Н. Вариативность мощности термоскважин ТНУ при отрицательных температурах грунта. URL: <http://www.c-o-k.ru/articles/termoskvazhiny-dlya-teplonasosov-ekologicheskij-aspekt>. (дата звернення: 20.07.2018).
20. Осадчий Г.Б. Условия эффективного использования тепловых насосов в России. URL: http://www.holodilshchik.ru/Usloviya_eff_isp_templ_nasosov_III_Osadchij.pdf (дата звернення: 20.07.2018).

Надійшла до редколегії 23.10.2018