

ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ВАРТОСТІ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ВІД ДІЮЧИХ ТА ПРОГНОЗОВАНИХ ТЕПЛОГЕНЕРУЮЧИХ ДЖЕРЕЛ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ КРАЇНИ

У статті приведено результати розрахунків середньої вартості теплової енергії за життєвий цикл теплогенеруючих технологій: спалювання в котельних установках органічного палива, перетворення низькопотенційної теплоти в теплонасосних установках, використання скидної теплоти в котлах-утилізаторах та теплоутилізаторах, використання сонячної енергії в геліоустановках.

Ключові слова: тепlopостачання, теплоенергія, оцінка вартості, котельня, тепловий насос, геліоустановка, LCOE.

Україна має розвинуті системи централізованого та децентралізованого тепlopостачання, прогноз динаміки розвитку яких має велике економічне і суспільне значення. Система тепlopостачання функціонує в ринкових умовах і змінюється під впливом конкуренції як видів палива, так і теплогенеруючого обладнання. Для визначення можливості адаптації прогресивних технологій в умовах України необхідним є проведення досліджень щодо оцінки вартості виробництва теплової енергії діючими та прогнозованими теплогенеруючими джерелами.

Сучасні методи прогнозування розвитку енергетики засновані на системних порівняннях прогресивних технологій перетворення енергії, що можуть перебувати на різних етапах створення. Основними методами порівняння технологій є:

- порівняння за ККД отримання кінцевої продукції;
- порівняння за собівартістю відпущеної продукції;
- порівняння за значеннями повної енергоємності відпущеної продукції.

Значна капіталомісткість і тривалі терміни існування об'єктів енергетики, різноманіття технологій перетворення енергії формують такі

© Г.О. КУЦ, В.В. СТАНИЦІНА, В.С. КОБЕРНИК, 2016

вимоги до методів їх економічних порівнянь: універсальність, простота алгоритму оцінювання, прозорість задання вихідних даних.

Більшості цих вимог задовольняє метод середньої вартості енергії за життєвий цикл – LCOE (Levelised Cost of Energy) [1, 2].

Метод LCOE універсальний та зручний при порівняльному аналізі різнотипних технологій виробництва енергії і застосовується багатьма авторитетними організаціями, зокрема Міжнародним енергетичним агентством (МЕА). Основна розрахункова формула даного методу має вигляд [1, 2]:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^N (I_t + M_t + F_t)}{\sum_{t=1}^N \frac{E_t}{(1+r)^t}}, \quad (1)$$

де $LCOE$ – середня вартість енергії за життєвий цикл; t – поточний вік системи з початку спорудження (індекс складових витрат); N – термін існування проекту; I_t – щорічні інвестиції; M_t – умовно постійні витрати на обслуговування та ремонт, F_t – умовно змінні (паливні) витрати; E_t – річне виробництво енергії, r – дисконтна ставка (дисконт), що відображає швидкість здешевлення інвестиційного капіталу з роками.

Вибір технологій перетворення енергії, незалежно від їх застосування в централізова-

ній чи децентралізованій системах тепlopостачання, з метою їх порівняння повинен проводитись з додержанням таких умов:

- повне енергетичне заміщення, тобто відповідність повного задоволення споживачів необхідними видами теплової енергії як в кількісному, так і якісному плані;
- забезпечення порівняння балансів теплових потужностей енергосистем;
- створення можливостей порівняння варіантів технологічних, схемних, конструктивних, режимних та інших рішень;
- порівняння техніко-економічних показників різних технологій при однакових кліматичних і територіальних умовах їх реалізації;
- урахування додаткових витрат, зумовлених відторгненням землі, переміщенням діючих споруд та інших непередбачених дій.

Серед технологій, які можуть бути перспективними для розвитку систем тепlopозабезпечення України вибрані такі: котельні, утилізаційні установки, теплонасосні технології та сонячні установки.

Порівняльні оцінки вартості теплової енергії від котельних. Для проведення порівняльних розрахунків середньої вартості теплової енергії за життєвий цикл теплогенеруючих джерел було вибрано водогрійні котли типу КВГМ, які широко застосовуються в системах централізованого тепlopостачання і менш поширені в системах децентралізованого тепlopостачання. Для розрахунків вибрано водогрійні котли КВГМ-4-150 і КВ-ГМ-30-150, що працюють на газі та мазуті, й водогрійні котли типу КВ-ТС-4,0 і КВ-ТС-30, що працюють на твердих видах палива (кам'яне та буре вугілля). Котли тепловою потужністю 30 МВт прийнято як об'єкт розрахунку системи централізованого тепlopостачання, а котли тепловою потужністю 4 МВт – для системи децентралізованого тепlopостачання. Крім зазначених водогрійних котлів для порівняння розглянуто утилізаційні котли, що використовують тепло відхідних газів технологічних агрегатів чорної металургії та тепло відхідних газів сірчаноокислотного виробництва. До розгляду було взято (відповідно до їх призначення) утилізаційні котли типу КУ-100-1 і КС-100 ГТКУ.

Розрахунок середньої вартості теплової енергії за життєвий цикл теплогенеруючого джерела проводився без врахування витрат на

будівництво теплових мереж та пунктів розподілення тепла. До капітальних вкладень було включено такі складові:

- вартість основного та допоміжного обладнання котлоагрегату;
- вартість проектно-вишукувальних робіт;
- вартість будівельно-монтажних робіт.

Вартість складових капітальних витрат, які мають супутній або дотичний характер (транспортні витрати, будівництво допоміжних споруд та інше), до капітальних витрат не враховувалась. Вартість опалювальних водогрійних котлів, що працюють на природному газі, мазуті, кам'яному вугіллі, було оцінено за даними каталогів котельно-будівних заводів Монастирищенський і Дорогобузький [3, 4]. Прийняті дані вартості котлів відповідають цінам 2012 року.

До експлуатаційних витрат було включено такі складові: витрати на паливо, хіміводопідготовку, приготування палива для спалювання в топковому пристрої, електроенергію, яка використовується на обслуговування котла, компенсацію втрат теплоти котлоагрегатом, здійснення експлуатаційних послуг, ліквідацію котла після виводу його із експлуатації.

Витрати на купівлю палива було визначено за даними звітів Держкомстату по експортно-імпорتنій діяльності з паливно-енергетичними ресурсами.

Як вихідні дані для розрахунків використовувались: номінальна продуктивність; ККД; вид палива (природний газ, мазут, кам'яне вугілля); вартість палива (природний газ, мазут, кам'яне вугілля); кількість годин роботи котельні за рік; питомі витрати електроенергії для котельні; вартість електричної енергії; витрати на поточні та капітальні ремонти обладнання; термін існування проекту; ставка по кредиту; дисконтна ставка; курс гривні до долара США. Для утилізаційних котлів паливна складова в експлуатаційних витратах відсутня.

Результати розрахунків середньої вартості теплової енергії, виробленої котлами різних типів, наведено на рис. 1.

За даними розрахунків середня вартість теплової енергії за життєвий цикл по окремих котлах становить (грн/Гкал): котли КВ-ГМ-4-150 і КВ-ГМ-30-150, що працюють на природному

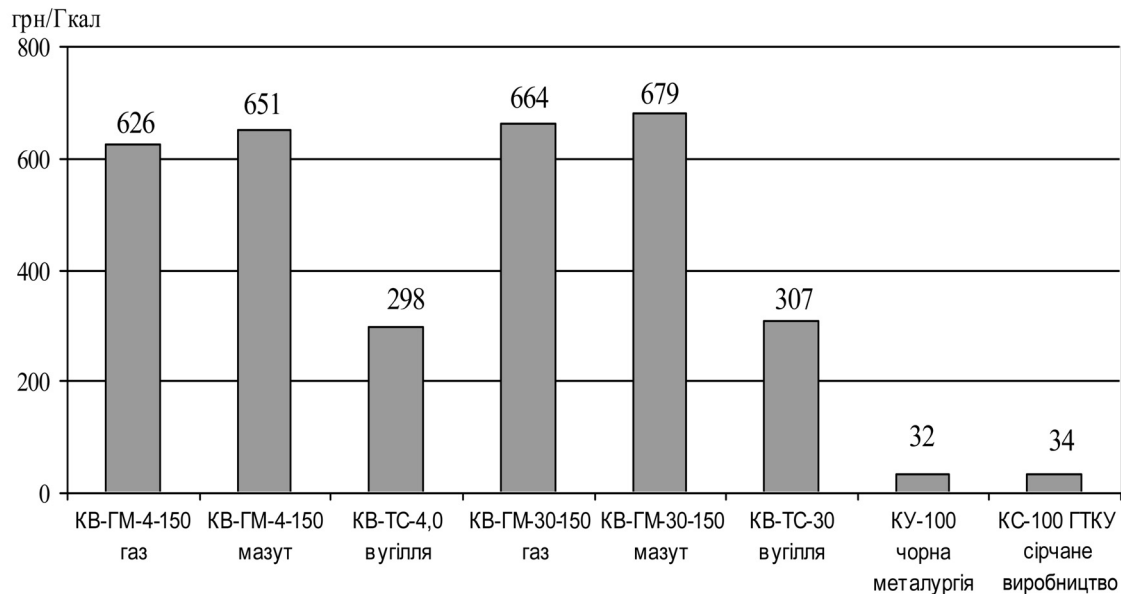


Рис. 1. Середня вартість теплової енергії за життєвий цикл від опалювальних та утилізаційних котлів

газі, відповідно, 625,55 і 663,53, ті самі котли, що працюють на мазуті — 650,58 і 679,38; котли KB-ТС-4 і KB-ТС-30, відповідно, 297,76 і 307,11; утилізаційні котли КУ-100 (чорна металургія) — 31,92 і КС-100 ГТКУ (сірчано-кислотне виробництво) — 34,06 грн/Гкал.

До важливих напрямків заміщення теплової потужності опалювальних котелень на природному газі слід віднести використання теплоти від сонячної та геотермальної енергії. Для покриття теплових навантажень гарячого водопостачання та опалення в Західній Європі впроваджено до 14,0 млн м² сонячних колекторів. В таких країнах як Греція, Австрія, Ізраїль та інші частка гарячого водопостачання від сонячних колекторів у загальному тепловому балансі досягає 90 %. Україна за природними умовами має можливість за рахунок застосування сонячних колекторів практично повністю покривати навантаження гарячого водопостачання житлово-комунального сектору в літній період року. Незважаючи на те, що в країні науково-дослідними і проектними інститутами розроблені вискоєфективні схемні рішення застосування сонячних колекторів для теплопостачання, реальне впровадження їх залишається на низькому рівні. Таку

саму участь в країні маємо з використанням геотермальної енергії, потенціал якої дорівнює 441 млн Гкал/рік. Діючі геотермальні станції у Львівській області та Червоногвардійську (АР Крим) на сьогодні виведені із експлуатації через відсутність фінансування на здійснення ремонтів [5].

У 2015 році в рамках технічної допомоги Україні з боку країн-донорів і міжнародних фінансових організацій в країні реалізуються кілька великих проектів. Ці проекти прокладають дорогу новим технологіям заміщення природного газу місцевим паливом і енергією в Україні. Тепловим насосам належить ключова роль у витісненні природного газу з паливних і теплових балансів міст і будівель. Прогнози однієї з компаній, що входить до Національної асоціації України по теплових насосах, на період до 2030 року показують, що теплові насоси займуть більше 60 % в балансах опалення, більше 80 % в балансах кондиціонування і майже 90 % в системах гарячого водопостачання міст і будівель України [6].

Визначення вартості теплової енергії від теплонасосної станції. Оцінку економічної ефективності теплонасосної станції (ТНС) було проведено з урахуванням річного графіка

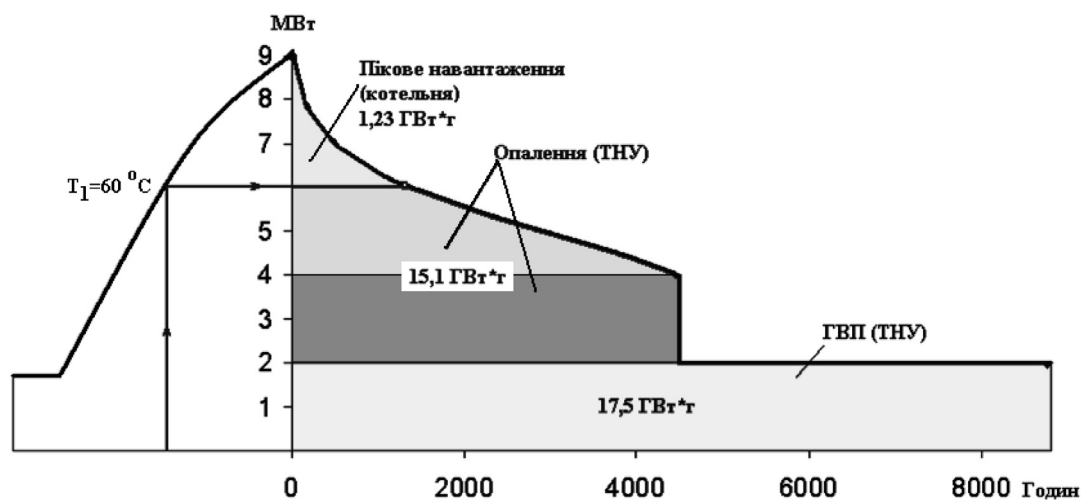


Рис. 2. Графік теплових навантажень ТНС систем теплопостачання [7]

тривалості сумарного теплового навантаження (рис. 2) [7] для теплового навантаження системи потужністю 9 МВт. Розрахункова температура зовнішнього повітря прийнята – 21 °С. В загальному випадку частка пікового джерела (газового котла) буде залежати від наявного потенціалу підземних вод, інтегрального графіка навантажень, технічних параметрів теплонасосної станції, цін на енергоносії та ін. Зазвичай вона коливається від 20% до 50% сумарної потужності. У розрахунках прийнято, що потужність теплонасосної станції – 6 МВт, потужність пікової котельної – 3 МВт.

Розрахунок теплонасосної станції проведено на прикладі теплового насоса (ТН) Ekoteplo WW-1932-D-ST тепловою потужністю 1932 кВт. Вартість теплового насоса такої потужності дорівнює 1,25 млн євро. У схемному рішенні сумісної роботи теплового насоса і газового котла в ролі останнього було вибрано котел типу DYNATHERM 3200 компанії Wolf (Німеччина), потужністю 3200 кВт, вартістю 1,5 млн грн. Таким чином, теплонасосна станція складається з 3-х теплових насосів та 1-го газового котла. Термін існування ТНС 30 років.

Розрахунки середньої вартості теплової енергії проводились за такими схемними варіантами застосування теплових насосів:

1. «ТНС» – ТНС складається з 3-х теплових насосів, працює лише в опалювальний сезон,

свердловини не знаходяться на балансі ТНС (наприклад, теплові насоси встановлено на свердловинах водоканалу, вода далі подається споживачам).

2. «ТНС+свердловини» – ТНС складається з 3-х теплових насосів, працює лише в опалювальний сезон, свердловини знаходяться на балансі ТНС. В цьому варіанті артезіанські води після ТН закачуються по свердловинах у водоносний горизонт (у вартість будівництва включено вартість свердловин, а в експлуатаційні витрати – електроенергію на викачування та закачування води по свердловинах).

3. «ТНС+ПК» – ТНС складається з 3-х теплових насосів і 1-го пікового газового котла, працює лише в опалювальний сезон, свердловини не знаходяться на балансі ТНС.

4. «ТНС+ПК+свердловини» – ТНС складається з 3-х теплових насосів і 1-го пікового газового котла, працює лише в опалювальний сезон, свердловини знаходяться на балансі ТНС.

5. «Котельня» – для порівняння обчислено котельню, що працює лише в опалювальний період та складається з 3-х котлів, тобто встановлена потужність котельні становить 9,6 МВт.

6. «ТНС+ПК+ГВП» – ТНС складається з 3-х теплових насосів і 1-го пікового газового котла, працює весь рік, в опалювальний сезон забезпечує тепловою енергією та гарячою водою, решту року працює 1 ТН, який забезпе-

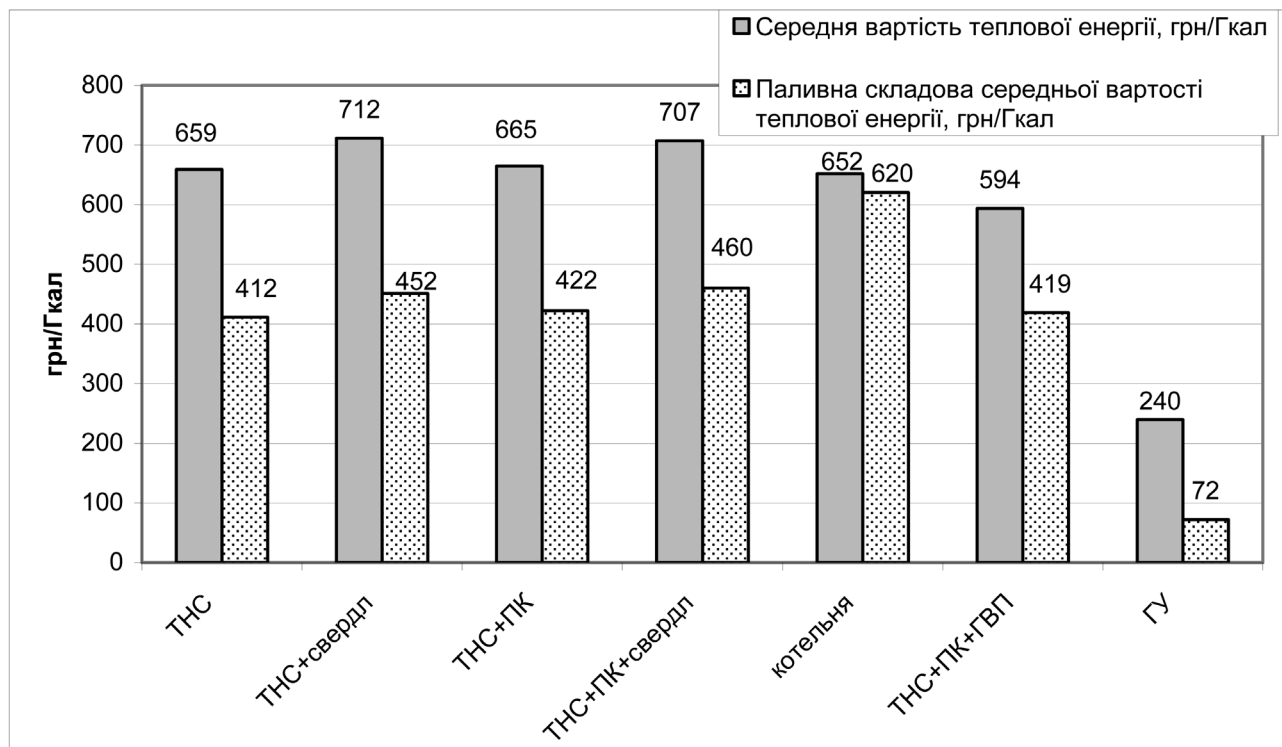


Рис. 3. Середня вартість теплової енергії за життєвий цикл теплонасосної станції, котельної та геліоустановки, грн/Гкал

чує споживачів гарячою водою. Свердловини не знаходяться на балансі ТНС.

В розрахунках прийнято, що вартість будівництва та іншого обладнання теплонасосної та котельної частин дорівнює 50% від вартості теплового насоса та котла відповідно.

При оцінці вартості свердловин прийнято, що вартість буріння 1 м.п. становить 784 грн. Для забезпечення ТНС водою необхідно 9 свердловин глибиною 180 м кожна з дебітом 100 м³/год. Результати розрахунків наведено на рис. 3.

Визначення вартості теплової енергії для гарячого водопостачання від геліоустановки. Оцінку середньої вартості теплової енергії за життєвий цикл геліоустановки (ГУ) проведено за таких вихідних даних: теплова потужність установки 80 кВт, до складу якої входять сонячні колектори «Сокіл-Ефект» виробництва НПО «Машиностроение», кількістю 70 одиниць, вартість одного сонячного колектора 4200 грн [8]. Термін роботи установки – 20 років. Виробництво теплової енергії дорівнює 308,8 Гкал/рік.

За даними [9], в структурі кошторису вартість сонячних колекторів займає 56% від вартості геліоустановки. Прийнято, що експлуатаційні витрати (електрична енергія) становить 5% від обсягу виробленої теплової енергії. Результати розрахунків наведено на рис. 3.

Результати розрахунків показують, що у вартості теплової енергії переважна частка – це паливні витрати.

З наведених даних видно, що вартість ПЕР, витрачених на виробництво 1 Гкал тепла, майже на 50% більша для газової котельної, ніж для ТНС. Проте велика вартість обладнання ТНС суттєво збільшує середню вартість теплової енергії за життєвий цикл. Найдорожчою є теплоенергія, вироблена на ТНС, що не має пікової котельні та на балансі якої є свердловини. Якщо розглядати теплоенергію, вироблену на ТНС, то найбільш дешевою вона є на ТНС з піковою котельнею, що працює весь рік та забезпечує споживачів влітку гарячою водою.

Результати розрахунків середньої вартості теплової енергії від теплонасосної станції та

Таблиця – Середня вартість теплової енергії за життєвий цикл для різних варіантів ТНС та котельні при зміні COP теплового насоса і тарифів на газ та електроенергію, грн/Гкал

	ТНС	ТНС + свердл.	ТНС + ПК	ТНС + ПК + свердл.	котель-ня	ТНС+ ПК+ ГВП	котель-ня + ГВП
COP – 3,5 Ціни на 1 серпня 2013 року Вартість природного газу – 4610,5 грн/1000 м ³ Тариф на електроенергію – 1,2389 грн/кВт·год	795,3	855,4	798,7	843,5	665,1	690,5	652,5
COP – 4,0 Ціни на 1 серпня 2013 року Вартість природного газу – 4610,5 грн/1000 м ³ Тариф на електроенергію – 1,2389 грн/кВт·год	743,8	804,0	749,8	794,7	665,1	640,9	652,5
COP – 3,5 Ціни на жовтень 2015 Вартість природного газу – 8949,48 грн/1000 м ³ Тариф на електроенергію – 1,8250 грн/кВт·год Курс гривні – 25,50 грн/євро	1446,1	1540,7	1459,9	1522,8	1274,9	1221,5	1249,9
COP – 4,0 Ціни на жовтень 2015 Вартість природного газу – 8949,48 грн/1000 м ³ Тариф на електроенергію – 1,8250 грн/кВт·год Курс гривні – 25,50 грн/євро	1370,3	1464,9	1387,9	1450,8	1274,9	1148,5	1249,9

котельні при зміні COP (коефіцієнт трансформації) теплового насоса і тарифів на газ та електроенергію наведено у таблиці.

З таблиці видно, що збільшення COP з 3,5 до 4,0 зменшує середню вартість теплової енергії за життєвий цикл приблизно на 50 грн/Гкал у цінах 2013 року та на 75 грн/Гкал у цінах 2015 року. Найменшою вартість теплової енергії від ТНС є у варіанті сумісної роботи теплових насосів з піковою котельнею, що забезпечують гаряче водопостачання протягом року і опалення, та не містять на балансі свердловин. В цьому випадку середня вартість теплової енергії за життєвий цикл від ТНС менша, ніж її вартість від газової котельної.

ВИСНОВКИ

Проведено розрахунки середньої вартості теплової енергії за життєвий цикл для таких теплогенеруючих джерел: паливно-термічні (опалювальні та утилізаційні котли), компресійні (теплові насоси), на відновлювальних видах енергії (сонячні установки).

Показано, що середня вартість теплової енергії за життєвий цикл, вироблена у котельних, що працюють на вугіллі, є нижчою, ніж у котельних, що працюють на газовому паливі. Врахування екологічних податків призведе до зменшення економічної ефективності котельних на вугіллі. Робота котельних на газовому паливі й на мазуті не є привабливою через високі ціни на паливо. В умовах ринкової конкуренції найбільш доцільне впровадження котлів, що використовують кам'яне вугілля та вторинні енергоресурси (відхідні гази).

Для того, щоб теплонасосні станції могли конкурувати з газовими котельними, необхідно або зменшити вартість електроенергії для ТНС, або збільшити коефіцієнт трансформації теплового насоса (використовувати термальні, стічні води тощо), або, зменшити вартість обладнання ТНС. Цього, в свою чергу, можна досягти при використанні теплових насосів та іншого обладнання вітчизняного виробництва.

1. *Proiefed Costs of Generating Electricity.* International Energy Agency (IEA). – 2010. – 218 p.

2. *Дубовской С.В.* Усовершенствованный метод оценки технологий комбинированного производства электрической энергии и теплоты по средней стоимости жизненного цикла / С.В. Дубовской, А.С. Твердохлиб // Проблемы загальної енергетики. – 2014. – Вип. 1 (36). – С. 46–54.

3. *Каталог* опалювальних котлів Дорогобужського котельного заводу за 2012 рік.

4. *Каталог* опалювальних котлів Монастирищенського котельно-будівельного заводу за 2012 рік.

5. *Комунальна теплоенергетика України: стан, проблеми, шляхи модернізації.* – Том 2. – ТОВ Поліграф-Сервіс, – 2007. – С. 471–504.

6. *Степаненко В.* Основные события в мире тепловых насосов Украины в 2015 году [Електронний ресурс] / В.Степаненко // Тепловые насосы. – 2015. – №1 (22). – Режим доступа : http://www.tn.esco.co.ua/pages/articles_22_tn_Stepanenko.html.

7. *Дослідження* територіальної структури та доцільних обсягів будівництва теплонасосних станцій на низькотемпературних підземних та термальних водах України // Звіт про НДР (заключн.) : «Термаль». / Інститут загальної енергетики НАН України; кер. В.Д. Білодід. – К., 2012. – 187 с. – ДР № 0110U002010. – ДО № 0213U003249.

8. *Солнечный* коллектор Сокол-Эффект-А [Електронний ресурс] // Сайт компанії Оптон Импэкс. – Режим доступа : <http://optonimpex.com/p57545252-solnechnyj-kollektor-sokol.html>.

9. *Бутузов В.А.* Перспективы развития российского солнечного теплоснабжения [Електронний ресурс] / В.А. Бутузов // Сайт Института энергетической стратегии. – Режим доступа : http://www.energystrategy.ru/ab_ins/source/7-8.06.11/Butuzov.pdf.

Надійшла до редколегії 09.09.2016 року