

УДК 621.577

Кулінко Євген Олександрович

Молодший науковий співробітник науково-дослідної частини КНУБА, ORCID: 0000-0002-8834-3600

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Кузицький Іван Тарасович

Аспірант кафедри теплотехніки КНУБА, ORCID: 0000-0003-0337-7105

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Погосов Олександр Григорович

Кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки КНУБА, ORCID: 0000-0003-2158-8897

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ТЕПЛОВІ НАСОСИ ЯК ДЖЕРЕЛА НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

***Анотація.** Зростаюче енергетична криза, необхідність диверсифікацій джерел енергії призводять до появи та широкого впровадження альтернативних джерел енергії, зокрема геотермальних теплових насосів. При використанні низькопотенціальної теплової енергії ґрунтів неглибокого залягання (10 – 100 м) особливо актуальним є питання відновлення температурного режиму джерела та використання теплового насосу в реверсивному режимі: взимку – на потреби опалення, влітку – холодопостачання. Для можливості корелювання показників питомого відбору теплової енергії з погонного метру свердловини необхідне створення динамічних фізичних моделей.*

***Ключові слова:** тепловий насос; альтернативні джерела енергії; низькопотенціальна теплова енергія*

Актуальність (Вступ)

Україна знаходиться в умовах підвищеної залежності від імпорту енергетичних ресурсів та дефіциту первинних джерел енергії, а також перед необхідністю подолання економічної кризи. Енергоефективність – цінний засіб вирішення цих проблем. Енергоефективність, як тренд, посилює енергетичну надійність та стійкість України шляхом зменшення первинного енергоспоживання та скорочення імпорту енергоресурсів. Крім того, вона сприяє економічно ефективному зменшенню викидів парникових газів і, отже, пом'якшенню наслідків зміни клімату. Перехід до більш енергоефективної економіки також має прискорити поширення інноваційних технологічних рішень і підвищити конкурентоспроможність України в європейському регіоні, стимулюючи економічне зростання і створюючи високоякісні робочі місця в багатьох секторах, пов'язаних із енергоефективністю. Крім цього, приймаючи до уваги четвертий звіт про оцінку МГЕЗК (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC), варто відзначити загальну політику європейського

регіону щодо переходу на низьковуглецеву енергетику [1]. Україна знаходиться на шляху імплементації 31 директиви ЄС [2], яка власне передбачає обов'язкову первинну оцінку альтернативних джерел енергії, в переліку яких базові позиції займає теплонасосна техніка. Одним із активних заходів щодо енергозбереження є застосування в якості низькотемпературних джерел енергії теплонасосної техніки. На даний час теоретичному та техніко-економічному аналізу роботи теплових насосів при різних умовах джерела та споживача присвячено значну кількість праць та досліджень на просторах країн СНД, ЄС та світу. В розрізі коливань сезонних надходжень теплової енергії, особливо цікавим питанням є дослідження систем теплохолодопостачання на базі акумулювання теплової енергії в природних середовищах (ґрунті, водяних лінзах неглибокого залягання тощо).

Основна частина

Ефективність ідеального пароконденсаційного циклу (ПКЦ) компресійного теплового насосу можна описати відомою залежністю коефіцієнту

трансформації енергії для циклу Карно:

$$K_{tr} = \frac{T_{out} - T_{in}}{T_{out}} \quad (1)$$

де: T_{out} – середня температура на виході з теплового насоса (середня температура графіка системи тепlopостачання), К; T_{in} – середня температура низькопотенційного середовища, К.

При цьому фактичний коефіцієнт трансформації може бути описаний залежністю:

$$COP = \eta / K_{tr} \quad (2)$$

де: η – коефіцієнт ефективності, що вказує на термодинамічну недосконалість характерних теплових насосів та втрати теплової енергії по елементах пароконденсаційного циклу.

Коефіцієнт η попередньо визначався на базі термодинамічного аналізу реальних ПКЦ теплових насосів на базі програмного комплексу CoolPack

(фрагменти циклів наведено на рис. 2-3). Відповідно до [1] в перспективі до 2035 року холодоагенти, які використовуються в ПКЦ, не повинні містити фторвмістні речовини. Тому в рамках дослідження застосовується рекомендований [1] холодоагент R290. Реальні коефіцієнти трансформації отримано для різних температурних рівнів споживача (рис. 1). Для оцінки температурних рівнів систем тепlopостачання за навантаженням системи опалення (без урахування системи гарячого водопостачання) побудовано необхідний температурний графік системи опалення (рис. 1). В якості системи тепlopостачання розглядається низькотемпературна система з температурним графіком 50-35 °С. Низькопотенційне джерело представлено масивом ґрунту на глибині нижчій 20 м. Температурний рівень джерела прийнято 8 °С.

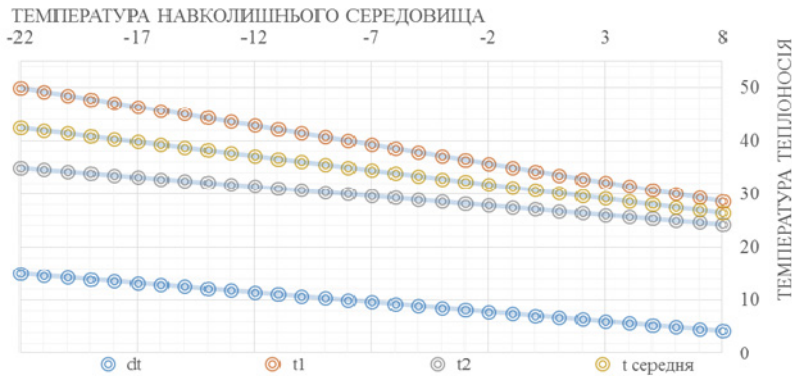


Рисунок 1 – Температурний графік низькотемпературної системи тепlopостачання

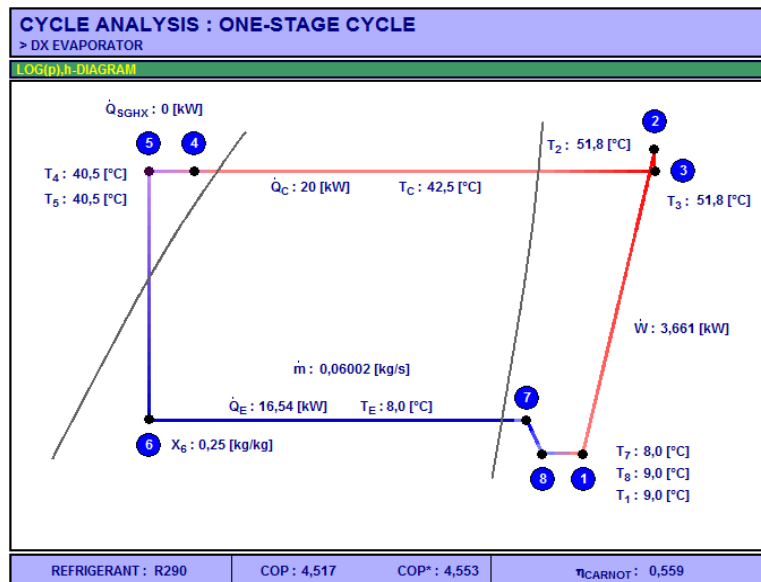


Рисунок 2 – ПКЦ (координати $\log(p), h$) із застосуванням холодоагенту R290 при роботі на низькотемпературну систему тепlopостачання при температурі випарника на рівні +8 °С, температурі конденсатора – +42,5 °С (процеси: 7-8-1-2-3 – процес стискування холодоагенту в компресорі з урахуванням недосконалості процесів та втрат, 3-4-5 – процес конденсації холодоагенту в конденсаторі, 5-6 – процес розширення холодоагенту в процесі редуціювання, 6-7 – процес випарювання холодоагенту в випарнику)

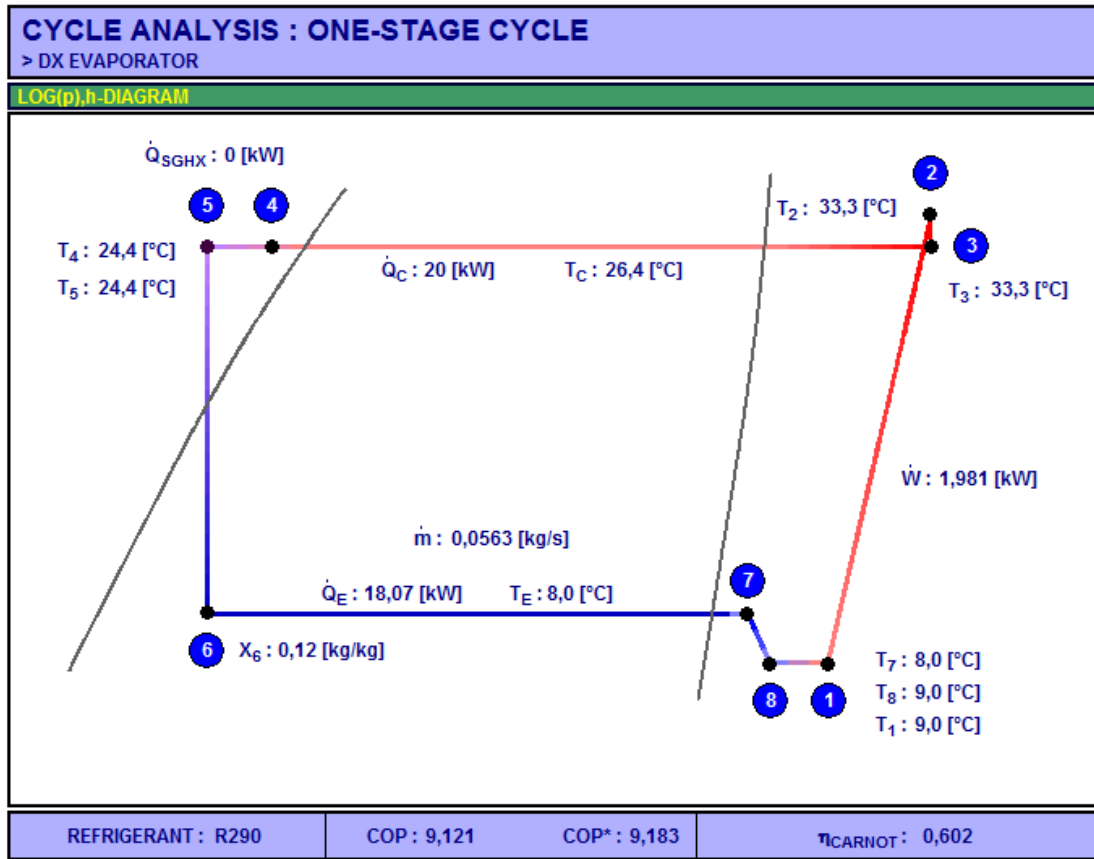


Рисунок 3 – ПКЦ (координати $\log(p), h$) із застосуванням холодоагенту R290 при роботі на низькотемпературну систему теплопостачання при температурі випарника на рівні 8 °С, температурі конденсатору – +25,4 °С (процеси – див. рис. 2)

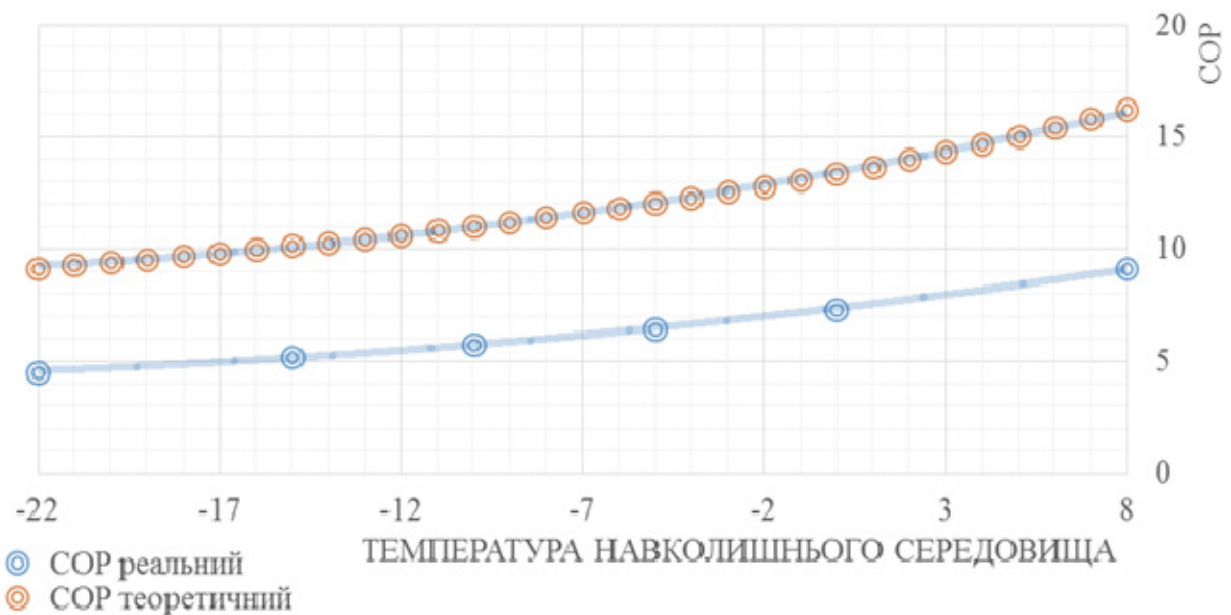


Рисунок 4 – Залежність реального та ідеального COP від зміни навантаження (температури навколишнього середовища) системи теплопостачання

Бачимо, що реальний COP для геотермального теплового насосу при роботі на низькотемпературну систему опалення складає 4.9 в залежності від навантаження системи опалення. Базуючись на

даних, щодо стояння температур наводимо техніко-економічні показники системи низькотемпературного теплопостачання (таблиця 1).

Таблиця 1 Техніко-економічні показники роботи геотермальних теплових насосів «грунт – низькотемпературна система опалення»

t	-22	-20	-15	-10	-5	0	8
t _{тр}	8	61	222	605	1260	2760	4320
COP	4,417	4,517	5,184	5,761	6,454	7,295	9,121
Q	20	19,05	16,67	14,29	11,9	9,52	5,71
QH	160	1162,05	3700,74	8645,45	14994	26275,2	24667,2
QE	36,22	257,26	713,88	1500,69	2323,21	3601,81	2704,44

t - температура навколишнього середовища, °C;
 t_{тр} - тривалість стояння температур, год;
 COP – реальний коефіцієнт трансформації;
 Q – навантаження системи опалення, кВт;
 QH – споживання теплової енергії системою опалення, кВт·год;
 QE – споживання електричної енергії компресором ТН, кВт·год.
 Застосування акумуляційних систем

теплохолодопостачання потребує детальної оцінки теплового балансу ґрунту. Необхідна розробка фізичних моделей щодо зміни температурного режиму ґрунту як нескінченного циліндру. Пропонується концептуальна фізична модель (рис. 4), яка враховує надходження радіогенної (фонової) теплової енергії, зміну температури нескінченного циліндру [3] та представлена для режимів «опалення - охолодження».

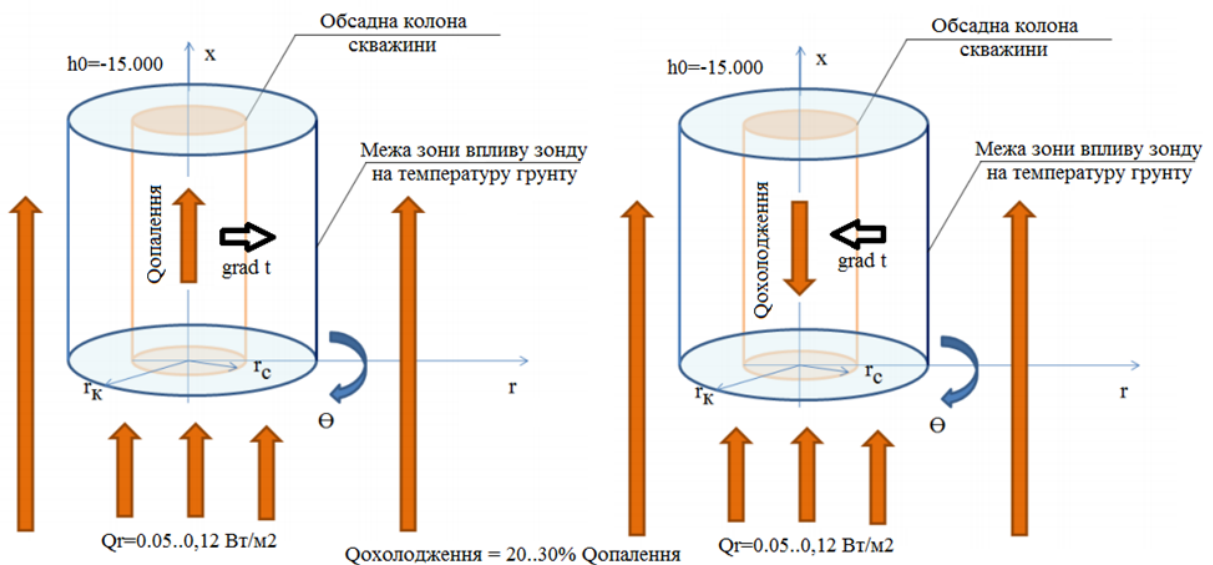


Рисунок 5 – Концептуальна фізична модель акумуляційної системи теплохолодопостачання на базі геотермальних теплових насосів

Вважаємо, що оптимальну потужність геотермального теплового насосу необхідно обирати з умови незмінності середньої температури ділянки впливу зонду. Варто зазначити, що потужність в режимі «опалення» може бути збільшена шляхом повернення теплової енергії ґрунту в режимі «охолодження».

Висновки

1. Доцільним є використання геотермальних теплових насосів для низькотемпературних систем опалення, при роботі яких можливе досягнення

реальних коефіцієнтів COP=4.9 в залежності від навантаження системи опалення.

2. Необхідне створення фізичної моделі зміни температури в зоні впливу зонду ТН і відповідних чисельних методів щодо її розв'язання.

3. При розробці фізичної моделі необхідне врахування компенсатору теплової енергії у вигляді радіогенного тепла Землі на рівні 0,005..0,012 Вт/м².

4. Для збільшення можливої потужності геотермального теплового насосу необхідне застосування комплексної системи теплохолодопостачання.

Література

1. РЕГЛАМЕНТ (ЄС) № 517/2014 ЄВРОПЕЙСЬКОГО ПАРЛАМЕНТУ ТА РАДИ від 16 квітня 2014 р про фторовмістні парникові гази і анулюванні Регламенту (ЄС) № 842/2006.
2. ДИРЕКТИВА ЄВРОПЕЙСЬКОГО ПАРЛАМЕНТУ ТА РАДИ 2010/31/ЄС від 19 травня 2010 року щодо енергетичної ефективності будівель.
3. Хайнрих Г., Найорн Х., Нестлер В. Теплонасосные установки для отопления и горячего водоснабжения. М.: Стройиздат, 1985. 351 с.

Стаття надійшла в редколегію 05.04.2017

Рецензент: д.т.н., проф. О.В. Приймак, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

Кулинко Євген Александрович

Младший научный сотрудник научно-исследовательской части КНУСА, ORCID: 0000-0002-8834-3600

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

Кузицкий Иван Тарасович

Аспирант кафедры теплотехники КНУСА, ORCID: 0000-0003-0337-7105

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

Погосов Александр Григорьевич

Кандидат технических наук, доцент, кафедры теплотехники КНУСА, ORCID: 0000-0003-2158-8897

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

ТЕПЛОВИЕ НАСОСИ КАК ИСТОЧНИК НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Аннотация. Растущий энергетический кризис, необходимость диверсификаций источников энергии приводят к появлению и широкому внедрению альтернативных источников энергии, в частности геотермальных тепловых насосов. При использовании низкопотенциальной тепловой энергии почв неглубокого залегания (10 - 100 м) особенно актуальным является вопрос восстановления температурного режима источника и использования теплового насоса в реверсивном режиме: зимой - на нужды отопления, летом - холодоснабжения. Для возможности корреляции показателей удельного отбора тепловой энергии с погонного метра скважины необходимо создание динамических физических моделей.

Ключевые слова: тепловой насос; альтернативные источники энергии; низкопотенциальная тепловая энергия

Kulinko Yevhen

Junior Researcher Scientific Research of KNUCA, ORCID: 0000-0002-8834-3600

Kyiv National University of Construction and Architecture (KNUCA), Kiev

Kuzytskyi Ivan

Postgraduate of Department of Heat Engineering of KNUCA, ORCID: 0000-0003-0337-7105

Kyiv National University of Construction and Architecture (KNUCA), Kiev

Pogosov Oleksandr

Doctor of Philosophy, Associate Professor, Department of Heat Engineering of KNUCA, ORCID: 0000-0003-2158-8897

Kyiv National University of Construction and Architecture (KNUCA), Kiev

HEAT PUMPS AS A SOURCE FOR LOW TEMPERATURE HEATING

Abstract. The growing energy crisis, the need for the diversity of energy sources leads to the emergence and widespread introduction of alternative energy sources, including geothermal heat pumps. When using the low potential heat energy of soil with low deep diapason (10 - 100 m), we must think about recovering of temperature conditions of source and using heat pumps in the reverse mode: in winter - for heating, in summer - for cooling. To be able to select the specific ratio of the thermal energy per meter of wells is necessary to create a dynamic physical models.

Keywords: heat pump; alternative energy sources; low temperature heat energy