

УДК 697.11

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.241120.119.706

## ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОГО ВАРІАНТА ВЛАШТУВАННЯ ЗОВНІШНЬОГО КОНТУРУ ТЕПЛООВОГО НАСОСА

КУЗЬМЕНКО О. М.<sup>1</sup> канд. техн. наук, доц.,  
ДІКАРЕВ К. Б.<sup>2\*</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
ШЕХОРКІНА С. Є.<sup>3</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
ЯБЛОНСЬКА М. П.<sup>4</sup> студ.

<sup>1</sup> Кафедра технології будівельного виробництва, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 46-98-76, e-mail: [kuzmenko.oleksandra@pgasa.dp.ua](mailto:kuzmenko.oleksandra@pgasa.dp.ua), ORCID ID: 0000-0001-5976-5436

<sup>2\*</sup> Кафедра технології будівельного виробництва, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 46-98-76, e-mail: [kdikarev@ukr.net](mailto:kdikarev@ukr.net), ORCID ID: 0000-0001-9107-3667

<sup>3</sup> Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (095) 021-84-44, e-mail: [S\\_VT@ukr.net](mailto:S_VT@ukr.net), ORCID ID: 0000-0002-7799-2250

<sup>4</sup> Будівельний факультет, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (066) 938-78-21, e-mail: [margaritayablonskaya21@gmail.com](mailto:margaritayablonskaya21@gmail.com)

**Анотація.** *Постановка проблеми.* Використання поновлюваних джерел енергії світова спільнота розглядає як один із найбільш перспективних шляхів вирішення зростаючих проблем енергозабезпечення. Наявність невичерпної ресурсної бази та екологічна чистота поновлюваних джерел енергії – визначальні їх переваги. Зважаючи на значний потенціал поновлюваних джерел енергії в Україні, який багаторазово перевищує прогнозовані рівні споживання теплової енергії, то виведення альтернативних джерел енергії на економічно ефективний рівень та розширення сфер використання постають найактуальнішим питанням сьогодення. *Мета роботи* – поглиблене вивчення альтернативних джерел енергії та методів ефективного використання енергоресурсів із подальшим вибором раціональної технології влаштування системи теплозабезпечення житлового будинку на основі геотермальних джерел енергії. *Аналіз останніх досліджень.* За даними Організації економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР), в Україні серед країн Європи найвищий рівень витрат на оплату комунальних послуг відносно рівня доходів. Витрати українців на оплату послуг ЖКГ наближені до 40 %, що в 1,6 раза вище середньоєвропейського показника. Для забезпечення низького рівня енергоспоживання в енергоефективних будинках нового покоління європейські країни використовують технології, які застосовують геотермальну енергію за рахунок ґрунтових теплообмінників. Однак, вказана технологія не знайшла широкого розповсюдження в Україні чи закріплення на законодавчому рівні. Отже, актуальним залишається питання розвитку технологій на основі геотермальних джерел енергії, а саме недостатньо вивчені техніко-економічні показники влаштування різних варіантів ґрунтових теплообмінників. **Висновок.** Розглянуті способи влаштування зовнішніх контурів теплового насоса показали, що трудомісткість влаштування теплообмінників в горизонтальному контурі майже в чотири рази нижча, ніж за влаштування енергоефективних буронабивних паль. Вартість також нижча майже вчетверо. Незважаючи на це, забудовник не завжди обере горизонтальний теплообмінник, тому що для його влаштування необхідно передбачити значну територію, яку не можна віддавати під забудову чи тимчасові торгівельні споруди. У випадку стиснених умов забудови прийнятним буде варіант саме енергоефективних паль із контуром теплообмінника.

**Ключові слова:** тепловий насос; альтернативні джерела енергії; технологічне рішення; енергоефективні палі; контур теплового насоса; теплообмінник; техніко-економічні показники

## ВИБОР РАЦІОНАЛЬНОГО ВАРІАНТА УСТРОЙСТВА ВНЕШНЕГО КОНТУРА ТЕПЛООВОГО НАСОСА

КУЗЬМЕНКО А. Н.<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
ДИКАРЕВ К. Б.<sup>2\*</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
ШЕХОРКІНА С. Є.<sup>3</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
ЯБЛОНСКАЯ М. П.<sup>4</sup>, студ.

<sup>1</sup> Кафедра технологии строительного производства, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепро, Украина, тел. +38 (0562) 46-98-76, e-mail: [kuzmenko.oleksandra@pgasa.dp.ua](mailto:kuzmenko.oleksandra@pgasa.dp.ua) ORCID ID: 0000-0001-5976-5436

<sup>2\*</sup> Кафедра технологии строительного производства, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепро, Украина, тел. +38 (0562) 46-98-76, e-mail: [kdikarev@ukr.net](mailto:kdikarev@ukr.net) ORCID ID: 0000-0001-9107-3667

<sup>3</sup> Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепро, Украина, тел. +38 (095) 021-84-44, e-mail: [S\\_VT@ukr.net](mailto:S_VT@ukr.net) ORCID ID: 0000-0002-7799-2250

<sup>4</sup> Строительный факультет, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепро, Украина, тел. +38 (066) 938-78-21, e-mail: [margaritayablonskaya21@gmail.com](mailto:margaritayablonskaya21@gmail.com)

**Аннотация. Постановка проблемы.** Использование возобновляемых источников энергии мировое сообщество рассматривает как один из наиболее перспективных путей решения растущих проблем энергообеспечения. Наличие неисчерпаемой ресурсной базы и экологическая чистота возобновляемых источников энергии являются определяющими их преимуществами. Учитывая значительный потенциал возобновляемых источников энергии в Украине, который многократно превышает прогнозируемые уровни потребления тепловой энергии, вывод альтернативных источников энергии до экономически эффективного уровня и расширение сфер использования являются актуальным вопросом современности. **Цель статьи** – углубленное изучение альтернативных источников энергии и методов эффективного использования энергоресурсов с последующим выбором рациональной технологии устройства системы теплоснабжения жилого дома на основе геотермальных источников энергии. **Анализ последних исследований.** По данным Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), в Украине среди стран Европы самый высокий уровень расходов на оплату коммунальных услуг по отношению к уровню доходов. Расходы украинцев на оплату услуг ЖКХ приближены к 40 %, что в 1,6 раза выше среднеевропейского показателя. Для обеспечения низкого уровня энергопотребления в энергоэффективных домах нового поколения европейские страны применяют технологии, которые используют геотермальную энергию за счет грунтовых теплообменников. Однако такие технологии не нашли широкого распространения в Украине или закрепления на законодательном уровне. Итак, актуальным является вопрос развития технологий на основе геотермальных источников энергии, а именно, недостаточно изучены технико-экономические показатели устройства различных вариантов грунтовых теплообменников. **Вывод.** Рассмотренные способы устройства наружных контуров теплового насоса показали, что трудоемкость устройства теплообменников в горизонтальном контуре почти в четыре раза ниже, чем при энергоэффективных буронабивных сваях. Стоимость также ниже почти в четыре раза. Несмотря на это, застройщик не всегда выберет горизонтальный теплообменник, так как для его устройства необходимо предусмотреть значительную территорию, которую нельзя отдавать под застройку или временные торговые сооружения. В случае стесненных условий застройки приемлемым будет вариант именно энергоэффективных свай с контуром теплообменника.

**Ключевые слова:** тепловой насос; альтернативные источники энергии; технологическое решение; энергоэффективные сваи; контур теплового насоса; теплообменник; технико-экономические показатели

## RATIONAL INSTALLATION CHOICE OF HEAT PUMP OUTER DUCT

KUZMENKO A.M.,<sup>1</sup> *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,  
DIKAREV K.B.,<sup>2\*</sup> *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,  
SHEKHORKINA S.Yev.,<sup>3</sup> *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,  
YABLONSKA M.P.,<sup>4</sup> *Student*

<sup>1</sup> Department of Construction Technology, State Higher Education Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Chernyshevskoho Str., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-98-76, e-mail: [kuzmenko.oleksandra@pgasa.dp.ua](mailto:kuzmenko.oleksandra@pgasa.dp.ua) ORCID ID: 0000-0001-5976-5436

<sup>2\*</sup> Department of Construction Technology, State Higher Education Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Chernyshevskoho Str., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-98-76, e-mail: [kdikarev@ukr.net](mailto:kdikarev@ukr.net) ORCID ID: 0000-0001-9107-3667

<sup>3</sup> Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, State Higher Education Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Chernyshevskoho Str., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (095) 021-84-44, e-mail: [S\\_VT@ukr.net](mailto:S_VT@ukr.net) ORCID ID: 0000-0002-4377-3746

<sup>4</sup> Construction Faculty, State Higher Education Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Chernyshevskoho Str., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (066) 938-78-21, e-mail: [margaritayablonskaya21@gmail.com](mailto:margaritayablonskaya21@gmail.com)

**Abstract. Problem statement.** The use of renewable energy sources by the world community is considered as one of the most promising ways to solve the growing problems of energy supply. The presence of an inexhaustible resource

base and the environmental friendliness of renewable energy sources are their defining advantages. Given the significant potential of renewable energy sources in Ukraine, which is many times higher than the predicted levels of heat energy consumption, the withdrawal of alternative energy sources to a cost-effective level and the expansion of areas of use is an urgent issue of our time. **Purpose of the article.** is an in-depth study of alternative energy sources and methods for the efficient use of energy resources, followed by the selection of rational technology for constructing a heat supply system for a residential building based on geothermal energy sources. **Analysis of recent research.** According to the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), Ukraine has the highest level of utility costs in relation to income levels among European countries. The cost of Ukrainians to pay for housing is close to 40%, which is 1.6 times higher than the European average. To ensure a low level of energy consumption in energy efficient homes of the new generation, European countries use technologies that use geothermal energy through ground heat exchangers. However, this technology has not become widespread in Ukraine or enshrined in law. Therefore, the issue of introduction of technologies of ground heat exchangers at the expense of renewable energy sources is actual. **Conclusion.** The methods for arranging the external contours of the heat pump are considered and showed that the laboriousness of the device of heat exchangers in the horizontal circuit is almost 4 times lower than during drilling operations. The cost is also almost 4 times lower. Despite this, the developer will not always choose a horizontal heat exchanger, since for its construction it is necessary to provide a significant territory that cannot be given away for development or temporary, commercial buildings. In the case of tight construction conditions, an energy-efficient pile with a heat exchanger circuit will be acceptable.

**Keywords:** *heat pump; alternative energy sources; technological solution; energy-efficient piles; heat pump circuit; heat exchanger; technical and economic indicators*

**Постановка проблеми.** Напрямок використання альтернативних джерел енергії стає пріоритетним в усьому світі. В умовах різкого зростання цін на імпортовану енергоносію впровадження енергоефективних технологій – це питання економічної доцільності. За даними Організації економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР), в Україні серед країн Європи найвищий рівень витрат на оплату комунальних послуг відносно рівня доходів. Витрати українців на оплату житлово-комунальних послуг наближені до 40 %, що в 1,6 раза вище середньоєвропейського показника. Гостро стоїть питання заміщення природного газу в житлово-комунальному господарстві, де обсяг його споживання підприємствами тепlopостачання склав близько 8,6 млрд м<sup>3</sup> у 2014 р. та понад 6,9 млрд м<sup>3</sup> у 2015 р. [1].

У свою чергу, модернізація енергоємних галузей тісно пов'язана з енергозберігальними технологіями. Важливу роль у цьому процесі може відіграти застосування геотермальної енергії, оскільки Україна володіє потенціалом вказаних ресурсів в еквіваленті  $3,4 \cdot 10^{11}$  тонн умовного палива.

Будівельна галузь України залишається однією з найбільш енергоємних галузей економіки. Для розширення застосування альтернативних джерел енергії до економічно обґрунтованого рівня в

будівельному секторі України існує необхідність проведення ґрунтовних досліджень експлуатаційних та техніко-економічних показників функціонування технологічних рішень на основі поновлюваних ресурсів.

**Аналіз останніх досліджень.** У попередній публікації автори проаналізували лабораторні дослідження пасивного теплозабезпечення (охолодження) для проектування будівель нового покоління. [2]. Крім того, запатентовані рішення для пасивного теплозабезпечення [3]. У цій публікації вирішено розглянути питання вибору раціонального варіанта пасивного геотермального теплозабезпечення.

На початку вивчення питання геотермальних джерел енергії були розглянуті дослідження вчених у цій галузі, які виявили, що ґрунт із глибиною характеризується незначними коливаннями температури.

Цей рівень температур може бути ефективно використаний за допомогою теплового насоса, для обігрівання або охолодження.

Тепловий насос (ТН) – це технічний пристрій, що реалізує процес переносу низькотемпературного тепла, не придатного для прямого використання, на більш високотемпературний рівень. Теплові насоси є кількох типів: «повітря – вода», де

первинним джерелом виступає повітря, та «грунт – вода», де первинним джерелом виступає кількість тепла, що міститься в ґрунті [4].

Система опалення за допомогою теплових насосів складається з трьох окремих установок:

1. Установки вхідного контуру теплового насоса.
2. Теплового насоса.
3. Установки, яка розподіляє теплоносій в системах теплопостачання.

Залежно від геологічних, економічних та технологічних факторів, розташування ґрунтового теплообмінника у масиві ґрунту може бути горизонтальним або вертикальним.

Вибір способу укладання колектора визначається теплопровідністю ґрунту і геометрією ділянки. Ефективними також вважаються комбінації контурів теплових насосів та блоків будівлі (наприклад, енергоефективні палі).

Коефіцієнт ефективності цієї технології (COP) – від 4 до 5, а термін окупності досліджувався авторами в попередніх публікаціях і становить 5...15 років залежно від обсягу опалюваних приміщень [5].

**Мета статті** – поглиблене вивчення альтернативних джерел енергії та методів ефективного використання енергоресурсів із подальшим вибором раціональної технології влаштування системи теплозабезпечення житлового будинку на основі геотермальних джерел енергії.

Для наступних досліджень ТЕП вирішено розглядати два оптимальні технологічні рішення влаштування зовнішнього контуру теплового насоса. **Перший варіант** – контур теплового насоса міститься в енергоефективних буронабивних палях. **Другий варіант** – контур теплового насоса розміщено у вигляді горизонтального теплообмінника.

Буронабивні енергоефективні палі з монолітного бетону – це палі, для виконання яких використовується арматурний каркас зі змонтованими на ньому трубами теплообмінників, який занурюється в підготовлену свердловину.

Труби теплообмінників зазвичай кріпляться у внутрішній частині арматурного каркаса, що дозволяє уникнути пошкодження труб під час занурення каркаса у свердловину. Для цього труби кріпляться за допомогою кабельних стягувальних хомутів.

**Переваги:** значно більша потужність системи опалення. **Недоліки:** необхідність проведення бурових робіт, які вимагають значних грошових витрат.

Горизонтальний теплообмінник найбільш простий і не вимагає значних грошових витрат. Недолік – невелика займана площа, на якій згодом не повинно бути будівель і дерев. Розкладка такого теплообмінника здійснюється на глибині нижче рівня промерзання ґрунту, зазвичай від 1 до 3 м, залежно від географічної місцевості і типу ґрунту. **Переваги:** універсальність і простота монтажу. **Недоліки:** велика займана площа, на якій згодом не повинно бути будівель і дерев.

#### **Результати досліджень**

Об'єкт дослідження – житлова будівля секційного типу, що налічує дев'ять поверхів, розташована в м. Дніпро по вул. Ливарній.

Виконано теплотехнічний розрахунок, який полягає у знаходженні необхідної товщини прошарку огорожувальної конструкції. Для виконання теплотехнічного розрахунку огорожувальних конструкцій застосовано методику, викладену в ДБН В.2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель» [6].

Розраховано проектне теплове навантаження опалення будівлі за допомогою розробленої програми на основі MS Excel, яка реалізує методику для визначення тепловитрат та теплової потужності системи опалення приміщень [7–10]. Розрахунки проводилися на основі методичних вказівок «Визначення теплової потужності системи опалення» [7].

Відповідно до ДСТУ Б EN 12831:2008 [9], проектне теплове навантаження системи опалення приміщення визначають за формулою теплового балансу приміщення:

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{RH,i} + \Phi_{Q,i}, \quad (1)$$

де  $\Phi T, i$  – трансмісійні тепловтрати через огорожувальні конструкції приміщення, Вт;  $\Phi V, i$  – вентиляційні тепловтрати на нагрівання інфільтраційного повітря, що надходить до приміщення, Вт;  $\Phi RH, i$  – додаткова компенсаційна теплова потужність для системи періодичного опалення, яка враховує ефект тимчасовості обігріву приміщення, Вт;  $\Phi Q, i$  – інші можливі регулярні тепловтрати (із знаком «+») або теплонадходження (із знаком «-») до опалюваного приміщення, Вт.

Провівши розрахунок, отримали три результати теплової потужності системи опалення для кожної секції будівлі. За отриманими даними, проаналізувавши ринок, обрали обладнання марки IDM SW Twin на максимальну пікову потужність опалення. Для першої та третьої секцій обрано ґрунтовий тепловий насос типу «ґрунт – вода» потужністю 35,25 кВт, для другої секції будинку обрано такого ж типу тепловий насос потужністю 26,08 кВт.

Розрахунок горизонтального теплообмінника виходить із необхідної потужності обладнання:

1) Вихідна потужність контурів горизонтального ґрунтового теплообмінника:

$$P_e = P_n \cdot (1 - 1/COP), \text{ кВт}, \quad (2)$$

де  $P_n$  – номінальна потужність теплового насосу,  $COP$  – коефіцієнт перетворення. Розрахунок застосовують згідно зі стандартом EN 14511 (зазвичай приймають точку  $B0/W35$ , де  $0^\circ\text{C}$  – температура теплоносія на вході у випарювач,  $35^\circ\text{C}$  – температура подачі в систему опалення).

$$P_{e1} = 35,25 \cdot (1 - 1/5) = 28,2 \text{ кВт},$$

$$P_{e2} = 35,25 \cdot (1 - 1/5) = 28,2 \text{ кВт},$$

$$P_{e3} = 26,02 \cdot (1 - 1/4,86) = 20,66 \text{ кВт}.$$

2) Необхідна довжина горизонтального ґрунтового теплообмінника:

$$L = P_e/q, \text{ м}, \quad (3)$$

де  $q$  — приймаєм 40 Вт/м (середнє значення для горизонтальних колекторів).

$$L_{1,3} = 56,4/0,04 = 1410 \text{ м},$$

$$L_2 = 20,66/0,04 = 516,5 \text{ м}.$$

Загальна довжина труб колектора – 1 926,5 м.

3) Необхідна площа під горизонтальний колектор:

$$S_{г.к} = L/k_{\text{контур}}, \quad (4)$$

$$S_{1,3} = 1410/0,7 = 1410 \text{ м}^2,$$

$$S_2 = 516,5/0,7 = 361,55 \text{ м}^2,$$

де 0,7 — крок укладання труб. Загальна площа під горизонтальний колектор – 925,55 м<sup>2</sup>.

### Дослідження техніко-економічних показників влаштування енергоефективних паль з контуром теплового насосу.

Зроблено технологічну карту на влаштування енергоефективних буронабивних паль із контуром теплового насоса. До складу робіт, що розглядаються техкартою, входять:

1. Планування майданчика.
2. Розробка котловану.
3. Улаштування залізобетонних буронабивних паль.
4. Виготовлення арматурних каркасів на будівельному майданчику.
5. Прокладання трубопроводів із поліетиленових труб.
6. Установлення фасонних частин теплообмінника.
7. Улаштування опалубки / бетонування ростверків.
8. Засипання котловану.
9. Ущільнення ґрунту електричними трамбівками.

**ТРУДОМІСТКІСТЬ** з теплообмінником збільшиться на 27 % = 1,4 раза

**КОШТОРИСНА ВАРТІСТЬ** з теплообмінником збільшиться на 10 % = 1,1 раза

**ТРИВАЛІСТЬ РОБІТ** з теплообмінником збільшиться на 21 % = 1,3 раза

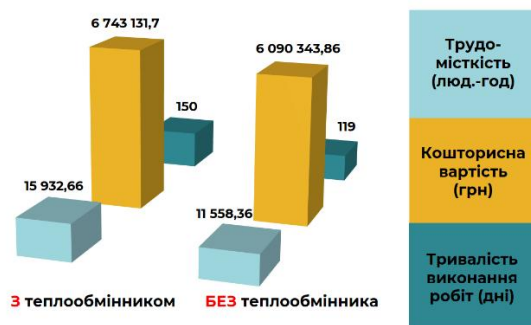


Рис. 1. Порівняння техніко-економічних показників влаштування буронабивних паль із контуром теплового насоса та без нього

У результаті розрахунку техніко-економічних показників виконання будівельних робіт виявилось, що кошторисна вартість улаштування пальового фундаменту (земляні та бурові роботи) з теплообмінником буде більша лише на 10 %, ніж кошторисна вартість пальового фундаменту без теплообмінника, а тривалість виконання робіт зростає на 21 %. Трудомісткість збільшиться на 27 % (рис. 1).

Розрахунок трудомісткості та заробітної платні здійснювався в програмі АВК-5. Графік виконання робіт побудовано в MS Project. Показники тривалості зображено на рисунку 2.

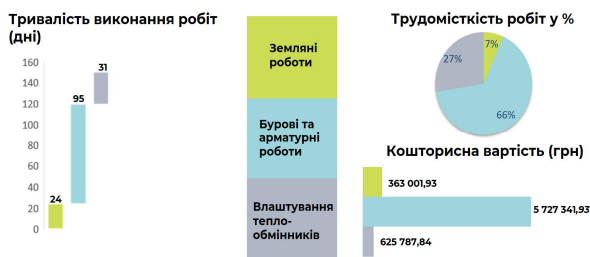


Рис. 2. Техніко-економічні показники влаштування буронабивних паль із контуром теплового насоса

Також виявилось, що найбільша кошторисна вартість, трудомісткість та тривалість робіт у процесі влаштування енергетичних паль припадає на бурові роботи.

### Дослідження техніко-економічних показників улаштування горизонтального контуру теплового насоса.

Розроблено технологічну карту на здійснення робіт з улаштування горизонтального теплообмінника. До складу робіт, що розглядаються техкартою, входять такі:

1. Планування майданчика.
2. Розробка котловану.
3. Розмітка площі під укладання трубопроводу.
4. Збирання нитки поліетиленових труб.
5. Установлення фасонних частин.
6. Монтаж насосного устаткування.
7. Гідравлічне випробування.
8. Засипання котловану.

Розрахунок трудомісткості та заробітної платні здійснювався в програмі АВК-5.

Графік виконання робіт побудовано в MS Project. Показники тривалості зображено на рисунку 3.

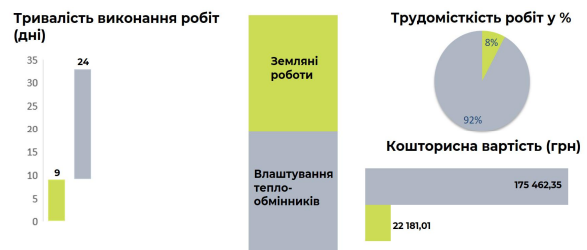


Рис. 3. Техніко-економічні показники влаштування горизонтального контуру

Виявилось, що найбільша кошторисна вартість, трудомісткість та тривалість робіт у процесі влаштування горизонтального контуру припадає на роботи по влаштуванню ґрунтового теплообмінника.

### Порівняння техніко-економічних показників улаштування горизонтального контуру теплового насоса та енергоефективних паль

Обидві технології підібрані на встановлення обладнання для забезпечення однакової теплової потужності, проте техніко-економічні показники будівельних робіт дуже різняться (рис. 4).

Трудомісткість улаштування теплообмінників у горизонтальному контурі, порівнянно з енергоефективними палями, на 81 % менша. Вартість улаштування теплообмінників в енергетичних палях на 73 % більша, ніж у горизонтальному контурі, через велику вартість бурових робіт.

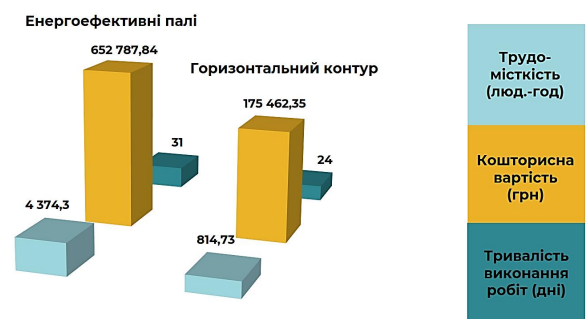


Рис. 4. Порівняння техніко-економічних показників улаштування теплообмінників в енергоефективних буронабивних палях та у вигляді горизонтального контуру

Тривалість робіт з улаштування горизонтального теплообмінника скоро-

тяться на 23 % порівняно з улаштуванням контуру в енергоефективних палях.

### Висновки

Розглянуто два варіанти влаштування зовнішнього контуру теплового насоса на об'єкті: 1 – у складі енергоефективної буронабивної палі; 2 – у вигляді горизонтального теплообмінника. Розроблено технологічні карти на вказані процеси для двох варіантів. Отримано показники трудомісткості, вартості і тривалості будівельних робіт.

Трудомісткість улаштування теплообмінників у горизонтальному контурі майже в чотири рази нижча, ніж при влаштуванні енергоефективних буронабивних паль. Вартість робіт також нижча майже вчетверо.

Отже, раціональним рішенням буде влаштування контуру теплового насосу у вигляді горизонтального теплообмінника. Незважаючи на це, забудовник не завжди обере цей варіант, оскільки для його влаштування необхідно передбачити значну територію, яку не можна віддавати під забудову чи тимчасові торгівельні споруди.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Борис Додонов. Рейтинг енергоефективності областей України – 2018. Ukrainian Energy Index. Третій випуск [Електронний ресурс]. URL: [http://energy-efficiency.in.ua/wp-content/uploads/UEI\\_13\\_3.pdf](http://energy-efficiency.in.ua/wp-content/uploads/UEI_13_3.pdf)
2. Дікарев К. Б., Кузьменко О. М., Петренко В. О., Саньков П. М., Кислиця Л. В., Ібадов Н. П. Експериментальні дослідження експлуатаційних показників термоактивної покрівельної панелі. *Nauka innovating*. 2020. Т. 16, № 2. С. 62–71. (Web of Science)
3. Дікарев К. Б., Куценко А. О., Кузьменко О. М., Петренко В. О., Чашин Д. Ю. Патент 1398144 Україна, МПК E04B 7/22. Покрівельна панель для мінімізування витрат на охолодження будинків. Заявник та патентовласник ДВНЗ «ПДАБА». № u 2019 06733, заявл. 14.06.2019; опубл. 27.01.2020. Бюл. № 2. 4 с.
4. Захаров А. В., Сычкина Е. Н., Пономарев А. Б. Энергоэффективные конструкции в строительстве [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособ. Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2017. 103 с.
5. Березюк А. М., Дікарев К. Б., Папірник Р. Б., Скокова А. О., Кузьменко О. М. Дослідження практичного застосування і ефективності використання відновлюваних джерел енергії у житловому будівництві. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. Дніпропетровськ : ДВНЗ ПДАБА, 2013. № 8. С. 28–32.
6. ДБН В.2.6-31:2016. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. Київ : Мінрегіон України, 2017. 42 с.
7. Любарець О. П., Сенчук М. П., Любарець В. О. Опалення. Визначення теплової потужності системи опалення» для студентів спеціальності «Будівництво та цивільна інженерія» (спеціалізація «Теплогазопостачання і вентиляція»). Київ : КНУБА, 2016. 34 с.
8. ДБН В.2.5-67:2014. Опалення, вентиляція та кондиціонування. Київ : Мінрегіонбуд та ЖКГ України, ДП «Укрархбудінформ» Мінбуду України, 2013. 141 с.
9. ДСТУ Б EN 12831:2008. Системи опалення будівель. Метод визначення проектного теплового навантаження. Київ : Мінрегіон України, 2012. 72 с.
10. ДСТУ Б EN 15251:2011. Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики. Київ : Мінрегіонбуд та ЖКГ України, 2012. 71 с.

## REFERENCES

1. Boris Dodonov. *Reytynh enerhoefektyvnosti oblastey Ukrayiny – 2018. Tretiy vypusk* [Energy efficiency rating of regions of Ukraine - 2018. Third issue]. Ukrainian Energy Index. [Electronic resource]. URL: [http://energy-efficiency.in.ua/wp-content/uploads/UEI\\_13\\_3.pdf](http://energy-efficiency.in.ua/wp-content/uploads/UEI_13_3.pdf). (in Russian)
2. Dikarev K.B., Kuzmenko O.M., Petrenko V.O., Sankov P.M., Kislitsa L.V. and Ibadov N.P. *Eksperymental'ni doslidzhennya ekspluatatsiynykh pokaznykiv termoaktyvnoyi pokryvel'noyi paneli* [Experimental researches of operational indicators of thermoactive roof panel]. *Nauka innovating*. 2020, vol. 16, no. 2. pp. 62–71. (Web of Science) (in Ukrainian)
3. Dikarev K.B., Kutsenko A.O., Kuzmenko O.M., Petrenko V.O. and Chashin D.Yu. *Patent 1398144 Ukrayina, MPK E04B 7/22. Pokryvel'na panel' dlya minimizuvannya vytrat na okholodzhennya budynkiv* [Patent 1398144 Ukraine, МПК E04B 7/22. Roofing panel for the cost minimizing of cooling houses]. Applicant and patent owner is PSACEA No. u 2019 06733, application. 06/14/2019; publ. 01/27/2020, bull. no. 2, 4 p. (in Ukrainian)

4. Zakharov A.V., Sychkina E.N. and Ponomarev A. B. *Energoeffektivnyye konstruksii v stroitel'stve* [Energy-efficient structures in construction : electron. textbook]. Perm' : Izd-vo Perm. nats. issled. politekhn. un-ta [Perm : Perm Publishing House. Nat. research. Polytechnic University]. [Electronic resource]. 2017, 103 p. (in Russian)
5. Berezyuk A.M., Dikarev K.B., Papirnyk R.B., Skokova A.A. and Kuzmenko O.M. *Doslidzhennya praktychnoho zastosuvannya i efektyvnosti vykorystannya vidnovlyuvanykh dzherel enerhiyi u zhytlovomu budivnytstvi* [Research of practical application and efficiency of use of renewable energy sources in housing construction]. *Visnyk Prydniprovsk'koyi derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of the Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnipropetrovsk : SHEI PSACEA, 2013, no. 8, pp. 28–32. (in Ukrainian)
6. *DBN V.2.6-31:2016. Konstruksiyi budynkiv i sporud. Teplova izolyatsiya budivel'* [DBN B.2.6-31: 2016. Constructions of buildings and structures. Thermal insulation of buildings]. Kyiv : Ministry of Regional Development of Ukraine, 2017, 42 p. (in Ukrainian)
7. Lyubarets O.P., Senchuk M.P. and Lyubarets V.O. *Opalennya. Vyznachennya teplovoyi potuzhnosti systemy opalennya» dlya studentiv spetsial'nosti «Budivnytstvo ta tsyvil'na inzheneriya» : metodychni vkazivky (spetsializatsiya «Teplohazopostachannya i ventylyatsiya»)* [Determination of thermal capacity of the heating system for students in "Construction and Civil Engineering" : Heating. Methodical instructions (specialization "Heat and gas supply and ventilation")]. Kyiv : Kyiv National University of Construction and Architecture, 2016, 34 p. (in Ukrainian)
8. *DBN V.2.5-67:2014. Opalennya, ventylyatsiya ta kondytsionuvannya* [DBN B.2.5-67: 2014. Heating, ventilation and air conditioning]. Kyiv : Ministry of Regional Development and Housing of Ukraine, SE "Ukrarchbudinform" Ministry of Construction of Ukraine, 2013, 141 p. (in Ukrainian)
9. *DSTU B EN 12831:2008. Systemy opalennya budivel'. Metod vyznachennya proektnoho teplovoho navantazhennya* [DSTU B EN 12831: 2008. Heating systems of buildings. Method for determining of the heat load]. Kyiv : Ministry of Regional Development of Ukraine, 2012, 72 p. (in Ukrainian).
10. *DSTU B EN 15251:2011. Rozrakhunkovi parametry mikroklimatu prymishchen' dlya proektuvannya ta otsinky enerhetychnykh kharakterystyk budivel' po vidnoshennyu do yakosti povitrya, teplovoho komfortu, osvillennya ta akustyky* [DSTU B EN 15251: 2011. Estimated parameters of the microclimate of the premises for the design and evaluation of energy performance of buildings in relation to air quality, thermal comfort, lighting and acoustics]. Kyiv : Ministry of Regional Development of Ukraine, 2012, 71 p. (in Ukrainian)

Надійшла до редакції : 20.10.2020.