

Доцільна глибина закладання горизонтального трубного ґрунтового теплообмінника геотермальної вентиляції

Василь Желих¹, Олена Савченко², Вадим Матусевич³, Володимир Пашкевич⁴

^{1,2,4}Національний університет «Львівська політехніка»
12, вул. С. Бандери, Львів, Україна, 79013

³ТОВ «Рехау»

18, вул. Луганська, Львів, Україна, 79000

¹Vasyl.M.Zhelykh@lpnu.ua, orcid.org/0000-0002-5063-5077

²Olena.O.Savchenko@lpnu.ua, orcid.org/0000-0003-3767-380X

³Vadym.Matusevych@rehau.com, orcid.org/0000-0001-9339-1423

⁴Volodymyr.Z.Pashkevych@lpnu.ua, orcid.org/0000-0002-6849-652X

Анотація. Зменшення споживання традиційних видів палива не може відбуватися без впровадження технологій з використанням відновлювальних джерел енергії. Для виробництва теплової енергії широко використовуються сонячна та геотермальна види енергії. Енергія надр землі характеризується низькотемпературним потенціалом та незначною нерівномірністю протягом року. Одним з напрямків використання геотермальної енергії є попереднє нагрівання зовнішнього повітря у системі механічної вентиляції. При цьому теплообмін відбувається у теплообмінниках, які прокладаються у ґрунті. На даний час в Україні відсутні нормативні рекомендації по проектуванню ґрунтових теплообмінників для системи геотермальної вентиляції. Це ускладнює проектування геотермальних систем вентиляції, а, відповідно, їх впровадження в реальні об'єкти. Встановлення впливу різних факторів на процес теплопередачі між ґрунтом та повітрям здійснюється за допомогою експериментальних досліджень. Дуже часто експериментальні дослідження описують часткові випадки встановлення ґрунтових теплообмінників у різних країнах світу. Відсутність узагальнених характеристик ефективності роботи ґрунтових теплообмінників в кліматологічних умовах України також потребує проведення аналогічних досліджень. В роботі наведено аналітичні дослідження доцільної глибини прокладання горизонтальних трубних ґрунтових теплообмінників житлового будинку у м. Київ. Для цього було виконано розрахунок геотермальної системи вентиляції житлового



Василь Желих

д.т.н., професор кафедри «Теплогазопостачання та вентиляція»,
Завідувач кафедри «Теплогазопостачання та вентиляція»



Олена Савченко

доцент кафедри теплогазопостачання і вентиляції
к.т.н., доц.



Вадим Матусевич

менеджер зі збуту внутрішніх інженерних мереж



Володимир Пашкевич

головний інженер
к.т.н.

будинку з необхідним повітрообміном 150 м³/год та різними значеннями глибини прокладання труб теплообмінника в діапазоні 1,5-

4,5 м з кроком 0,25 м. Встановлено, що в діапазоні досліджуваних значень, найменша довжина труби теплообмінника 29 м та найменша вартість геотермальної системи вентиляції 3568,76 євро відповідають глибині прокладання 3,75 м.

Ключові слова. Геотермальна система вентиляції, горизонтальний ґрунтовий теплообмінник, глибина прокладання, температура ґрунту.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

За останні роки в Україні спостерігається сплеск розвитку альтернативної енергетики з використанням відновлювальних джерел енергії. Незважаючи на велику кількість критики, все більше вчених та проєктантів займаються реалізацією енергоощадних проєктів у різних галузях народного господарства. Поширеними альтернативними джерелами енергії, які доцільно використовувати в Україні є сонячна енергія, геотермальна енергія, вітрова енергія, енергія водяних потоків та енергію біомаси. [1] Основними перевагами використання альтернативних джерел енергії, як відомо, є їх відновлюваність, екологічність, широке поширення та доступність. [2]

Для вироблення теплової енергії у системах опалення, вентиляції та гарячого водопостачання широко використовуються сонячна та геотермальна енергія. [3,4,5] Так, енергію земних надр доцільно використовувати для попереднього нагрівання зовнішнього повітря у механічних системах вентиляції. [6] В таких системах після повітрязбірного блоку зовнішнє повітря надходить у теплообмінники, які прокладаються у ґрунті. У холодний період року зовнішнє повітря, проходячи у теплообміннику, нагрівається від ґрунту через стінки теплообмінника, а потім подається на друге нагрівання у рекуператор. В теплий період року, навпаки, у теплообміннику зовнішнє повітря охолоджується, віддаючи свою теплоту через стінки теплообмінника ґрунту. Залежно від прокладання у масиві ґрунту ґрунтові теплообмінники бувають вертикальні і горизонтальні. Горизонтальні теплообмінники, в свою чергу, поділяються на каналні (трубні), безканалні та безмемб-

ранні. [7].

На ефективність роботи горизонтального ґрунтового теплообмінника впливають багато факторів, одним з яких є глибина прокладання.

МЕТА ДОСЛІДЖЕНЬ

Визначити доцільну глибину закладання горизонтального трубного ґрунтового теплообмінника для системи геотермальної вентиляції житлового будинку у місті Києві.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Процес теплообміну між ґрунтом та повітрям, яке рухається у горизонтальному трубному ґрунтовому теплообміннику, залежить від багатьох факторів. [8,9,10,11] Їх можна поділити на три групи:

- до першої групи належать фактори, які залежать від місця будівництва ґрунтового теплообмінника та не можуть бути змінені в даній місцевості;

- до другої групи належать фактори, які залежать від завдання на проєктування конкретної системи вентиляції;

- до третьої групи належать фактори, якими можна впливати на процес теплопередачі між ґрунтом до повітря.

До факторів, які є відомими для місця будівництва, належать теплофізичні властивості ґрунту та температура зовнішнього повітря. Температуру ґрунту в даній місцевості змінити не можливо, проте вона є динамічною величиною та залежить від глибини ґрунтового профілю та періоду часу. Як відомо, тепловий режим ґрунту формується під впливом падаючої на поверхню сонячної радіації та потоком радіогенного тепла земних надр. Температура верхніх шарів ґрунту залежить від сезонних та добових змін інтенсивності сонячної радіації та температури зовнішнього повітря. Ґрунт на глибині нижче 10 м майже не підлягає впливу сезонним коливанням температур. При глибині ґрунту понад 15-20 м тепловий режим шарів ґрунту формується під впливом теплової енергії, що надходить із надр

Землі та практично не залежить від сезонних, а тим більше добових змін параметрів зовнішнього клімату. [12]

Тому, глибину прокладання ґрунтових теплообмінників можна віднести до третьої групи факторів, які впливають на процес теплопередачі у ґрунтовому теплообміннику. Оскільки змінюючи глибину прокладання теплообмінника, можна змінити температуру ґрунту навколо його труби, а відповідно кількість теплоти, яка надходить від ґрунту.

Фірма-виробники ґрунтових трубних теплообмінників рекомендують глибину прокладання 1,5-2,5 м. [13] Проте у [6] показано, що у м. Львів найбільш рівномірний розподіл температур протягом року відповідає глибині 3,5 м. Крім того, для цієї глибини максимальні температури ґрунту відповідають місяцям листопаду, грудню та січню, які мають найменші значення середньомісячних температур зовнішнього повітря, а відповідно потребують більшої кількості теплоти для нагрівання припливного повітря, що надходить у систему вентиляції.

У закордонних наукових працях наведено велику кількість досліджень горизонтальних ґрунтових теплообмінників, проте, зазвичай, всі вони проводилися на певній глибині, вибір якої не обґрунтовувався. Так, в [14] дослідження теплообмінника проводилися при глибині прокладання 2,5 м, у [15,16] – при глибині 1,5 м, у [17] – при глибині 2,7 м, у [18] – при глибині 1,0 м, у [19] в діапазоні значень глибини 0,9-1,8 м. У [20] наведені результати експериментальних досліджень горизонтального ґрунтового теплообмінника, прокладеного на глибинах 0,5 м, 1,0 м та 1,5 м. У результаті досліджень автори зробили висновок, що найбільше зниження температури відбувалося у теплообмінниках, які прокладені на глибині 1,0 м.

Як видно з аналізу літературних джерел, відсутні дані по визначенню доцільної глибини закладання горизонтальних трубних ґрунтових теплообмінників.

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Доцільну глибину закладання горизонтальних трубних ґрунтових теплообмінників можна визначити за максимальною кількістю теплоти, яка надходить від ґрунту до повітря у теплообміннику в холодний період року, а, відповідно найменшій довжині труби теплообмінника. Розрахунок довжини труби горизонтального ґрунтового каналного теплообмінника було здійснено за допомогою комп'ютерної програми фірми Rexau RENAУ-GANED. За вихідні дані для розрахунку було прийнято: місце будівництва – м. Київ, призначення будинку – житловий, будівельний об'єм будинку – 300 м³, тип ґрунту - піщано-глинистий суглинок. Температури зовнішнього повітря у м. Київ, які закладені в програму при розрахунках: максимальна температура 31 °С, мінімальна температура -14 °С. Ґрунтовий теплообмінник працює круглорічно. Система геотермальної вентиляції працює цілодобово з таким навантаженням на систему вентиляції, від 0.00 год до 6.00 год 70% від загальної потужності системи вентиляції, 6.00-10.00 год – 100%, 12.00-15.00 – 70%, 15.00-23.00 – 100%, 23-24 70%.

В якості ґрунтового теплообмінника використано трубопровід AWADUKT Thermo з антимікробним покриттям діаметром 200x7,0 мм. Труба теплообмінника прокладається за кільцевою схемою, тобто навколо будинку.

Кратність повітрообміну у будинку прийнято $k = 0.5$, тоді кількість припливного повітря у системі вентиляції, м³/год, визначається залежно від будівельний об'єм будинку V за формулою:

$$L = k \cdot V \quad (1)$$

Розрахунок в програмі RENAУ-GANED виконується з умови мінімального значення температури на виході з ґрунтового теплообмінника. В даних розрахунках ця температура приймається 0 °С, з умови необмерзання рекуператора, до якого надходить повітря з ґрунтового теплообмінника.

В результаті розрахунку було визначено наступні величини: довжина теплообмінника l , м, втрати теплоти, кВт·год/рік, теплова потужність, кВт·год/рік, максимальна та мінімальна температура повітря на вихо-

ді з ґрунтового теплообмінника, °С, втрати тиску у теплообміннику, Па, та швидкість повітря у теплообміннику, м/с, значення яких наведено в табл.1.

Табл. 1. Результати розрахунку горизонтального ґрунтового трубного теплообмінника
Table 1. Results of calculation of horizontal tube earth-air heat exchanger

Глибина вкладання h , м	Коефіцієнт теплопровідності λ , Вт/(м·К)	Загальна довжина труби l , м	Мінімальна температура на вході в теплообмінник, °С	Мінімальна температура на виході з теплообмінника, °С	Втрати тиску у теплообміннику, Па	Швидкість повітря у теплообміннику, м/с
1,5	1,34	72	-14	0,01	15,32	1,53
1,75	1,34	72	-14	0,01	15,32	1,53
2,0	1,34	46	-14	0,02	9,79	1,53
2,25	1,34	46	-14	0,02	9,79	1,53
2,5	1,34	46	-14	0,01	9,79	1,53
2,75	1,34	36	-14	0,00	7,66	1,53
3,0	1,34	36	-14	0,01	7,66	1,53
3,25	1,65	36	-14	0,05	7,66	1,53
3,5	1,65	36	-14	0,01	7,66	1,53
3,75	1,65	29	-14	0,15	6,17	1,53
4,00	1,65	29	-14	0,16	6,17	1,53
4,25	1,65	29	-14	0,17	6,17	1,53
4,5	1,65	29	-14	0,14	6,17	1,53

Як видно з табл. 1, найменша довжина труби ґрунтового теплообмінника $l = 29$ м відповідає таким глибинам його прокладання 3,75 м, 4,0 м, 4,25 м та 4,5 м.

У загальному випадку, система геотермальної вентиляції для попереднього підігріву вентиляційного повітря складається з всмоктуючої башти, фільтра, відвідника конденсату, сифону та, власне, труб теплообмінника та відводів для їх з'єднання, крім того, для монтажу потрібні ущільнююче кільце та змазка.

Для різних глибин прокладання горизонтального трубного ґрунтового теплообмінника було пораховано вартість обладнання геотермальної вентиляції, яку наведено у табл. 2.

Як видно з табл. 2, вартість системи прямопропорційно залежить від довжини труби горизонтального ґрунтового теплообмінника, чим більша довжина труб, тим більша вартість геотермальної вентиляції. Відповідно найдешевша система геотермальної вентиляції, теплообмінники, якої прокладені на глибині більшої за 3,75 м. Тому приймаємо, що доцільною глибиною

для закладання горизонтального трубного ґрунтового теплообмінника у м. Київ є 3,75 м.

Табл. 2. Вартість обладнання геотермальної вентиляції житлового будинку
Table 2. The cost of equipment for geothermal ventilation of a residential building

Глибина вкладання h , м	Вартість системи, євро
1,5	5307,69
1,75	5307,69
2,0	4256,74
2,25	4256,74
2,5	4256,74
2,75	3795,03
3,0	3795,03
3,25	3795,03
3,5	3795,03
3,75	3568,76
4,00	3568,76
4,25	3568,76
4,5	3568,76

Для даної глибини прокладання наведено графік розподілу температур ґрунту, температури зовнішнього повітря та температури на виході з ґрунтового теплообмінника (Рис.1).

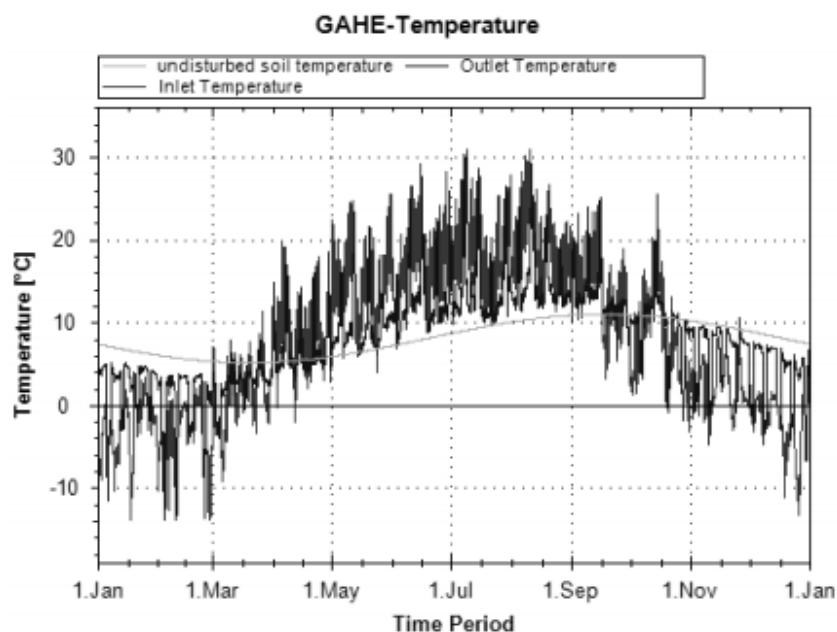


Рис.1. Графік розподілу температур ґрунту, температури зовнішнього повітря та температури на виході з ґрунтового теплообмінника системи геотермальної вентиляції житлового будинку.

Fig.1. The graph of distribution of soil temperatures, external air temperature and air temperature at the outlet of the soil heat exchanger of the system of geothermal ventilation of a residential building.

Кількість теплової енергії, яку було заощаджено за використання геотермальної системи вентиляції в холодний період року, відповідно до результатів розрахунку програми RENAУ-GANED, становить 939,11 кВт-год/рік. В теплий період року кількість енергії, яку було заощаджено на

охолодження зовнішнього повітря, яке надходить у систему вентиляції, становить 967,57 кВт-год/рік. Помісячний розподіл отримання теплової енергії від ґрунту до повітря та вилучення теплоти від зовнішнього повітря показано на рис.2.

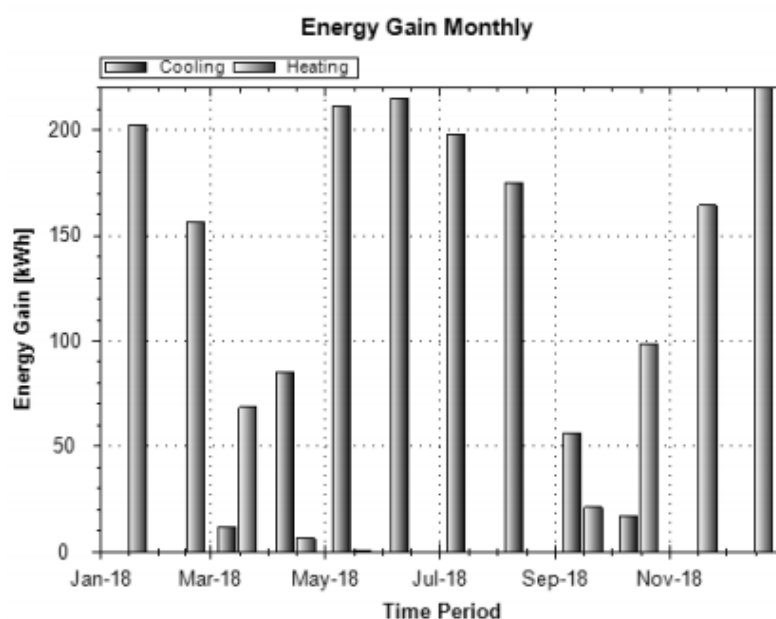


Рис.2. Щомісячне енергозбереження для охолодження та нагрівання зовнішнього повітря у системі геотермальної вентиляції.

Fig.2. Monthly energy saving for cooling and heating external air in the system of geothermal ventilation.

Як видно з рис.2, найбільша кількість теплоти, яка заощаджується на нагрівання зовнішнього повітря системою геотермальної вентиляції, надходить у грудні та січні.

ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Проведено розрахунок геотермальної системи вентиляції для житлового будинку у м. Київ для різних значень глибини прокладання горизонтального трубного ґрунтового теплообмінника. Визначено довжину труби теплообмінника, температуру на виході з теплообмінника, вартість системи геотермальної вентиляції. Встановлено, що доцільна глибина закладання горизонтального ґрунтового теплообмінника становить 3,75 м, яка характеризується найменшою довжиною труби теплообмінника 29 м та мінімальними капітальними затратами на геотермальну систему вентиляції 3568,76євро. В подальших дослідженнях доцільно дослідити вплив інших факторів на ефективність роботи горизонтального ґрунтового теплообмінника.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Лимаренко А. Н.** Потенциал и необходимость развития нетрадиционных возобновляемых источников энергии в Украине. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2012. 5/8(65). С. 14–19.
2. **Чалый В. В.** Альтернативные источники энергии как резервы энергетических ресурсов Украины. *Управління розвитком*. 2014. 5(168). С. 152–153.
3. **Возняк О. Т., Янів М. Є.** Енергетичний потенціал сонячної енергетики та перспективи його використання в Україні. *Вісник НУ «ЛП» «Теорія і практика будівництва»*. 2010. № 664. С. 7–10.
4. **Лесик Х.Р.** Аналіз ексергетичної ефективності термосифонного сонячного колектора для умов помірного клімату. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2012. Вип.22.9. С. 140-146.
5. **Гошовський С.В., Зур'ян О. В.** Екологічні переваги та недоліки технологій використання геотермальних ресурсів як джерела відновлювальної енергетики. *Тези доповідей Міжнародної науково-технічної конференції «Геофорум 2017»*. 2017. С. 62–68.
6. **Савченко О. О., Желих В. М., Дуднік К.А., Конончук О. М.** Технічні передумови влаштування геотермальної вентиляції пасивних будинків. *Вісник НУ «ЛП» «Теорія і практика будівництва»*. 2015. № 823. С. 281–285.
7. **Zhelykh V., Savchenko O., Matuskevych V.** Improving efficiency of heat exchange of horizontal ground-air heat exchanger for geothermal ventilation systems. *Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce*. 2016. 8. № 4. P. 43–46.
8. **Darius D., Misaran M. S., Rahman Md. M., Ismail M. A., Amaludin A.** Working parameters affecting earth-air heat exchanger (EAHE) system performance for passive cooling: A review. *International Conference on Materials Technology and Energy IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2017. 217. 18 p.
9. **Sobti J., Kumar S.** Singh Earth-air heat exchanger as a green retrofit for Chandigarh – a critical review. *Geothermal Energy*. 2015. 3:14. 9 p.
10. **Pouloupatis P. D., Tassou S. A., Christodoulides P., Florides G. A.** Parametric analysis of the factors affecting the efficiency of ground heat exchangers and design application aspects in Cyprus. *Renewable Energy*. 2017. 103. P.721–728.
11. **Bisoniya T. S., Kumar A., Baredar P.** Experimental and analytical studies of earth-air heat exchanger (EAHE) systems in India: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013. P. 238–246.
12. **Васильев Г. П.** Геотермальные теплонасосные системы теплоснабжения и эффективность их применения в климатических условиях России. *АВОК*. 2007. №5. С. 58–74.
13. **Рішення для свіжого повітря.** Rehau UA. 2015. 12 с.
14. **Benazza A., Blanco E., Aichouba M., Rio Luis Jose, Laouedj S.** Numerical Investigation of Horizontal Ground Coupled Heat Exchanger. *Energy Procedia*. 2011. 6. P. 29–35.
15. **Florides G., Theofanous E., Joseph-Stylianou J., Tassou S., Christodoulides P., Zomeni Z., Kalogirou S., Messaritis V., Pouloupatis P., Panayiotou G.** Vertical and Horizontal Ground Heat Exchanger Modeling. 2013. 7 p.
16. **Md. Hasan ALI, Salsuwanda Bin SELAMAT, Keishi KARIYA, Akio MIYAR.** Experimental Performance Estimations of Horizontal Ground Heat Exchangers for GSHP System. *Proceedings of the COMSOL Conference*. 2016. 10 p.

17. **Bansal V., Misra R., Agrawal G. D., Mathur J.**, Performance analysis of earth-airpipe-air heat exchanger for winter heating. *Energy and Buildings*. 2009. 41. P. 1151–1154.
18. **Naili N., Attar I., Hazami M., Farhat A.** Experimental Analysis of Horizontal Ground Heat Exchanger for Northern Tunisia. *Journal of Electronics Cooling and Thermal Control*. 2012. 2. P. 44–51.
19. **Chiasson A. D.** Modeling horizontal ground heat exchangers in geothermal heat pump systems. *Proceedings of the COMSOL Conference*. 2010.
20. **Sanuzi A. N. Z., Shao L., Ibrahim N.** Passive ground cooling system for low energy buildings in Malaysia (hot and humid climates). *Renewable Energy*. 2013. 49. P. 193–196.
8. **Darius D., Misran M. S., Rahman Md. M., Ismail M. A., Amaludin A.** (2017). Working parameters affecting earth-air heat exchanger (EAHE) system performance for passive cooling: A review. *International Conference on Materials Technology and Energy IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 217, 18 p.
9. **Sobti J., Kumar S.** (2015). Singh Earth-air heat exchanger as a green retrofit for Chandigarh – a critical review. *Geothermal Energy*, 3(14), 9.
10. **Pouloupatis P. D., Tassou S. A., Christodoulides P., Florides G. A.** (2017). Parametric analysis of the factors affecting the efficiency of ground heat exchangers and design application aspects in Cyprus. *Renewable Energy*, 103, 721–728.
11. **Bisoniya T. S., Kumar A., Baredar P.** (2013). Experimental and analytical studies of earth-air heat exchanger (EAHA) systems in India: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 238–246.
12. **Vasiliev G. P.** (2007). Geothermal heat pump systems of heat supply and efficiency of their application in climatic conditions of Russia. *ABOK*, 5, 58–74 (In Russian).
13. **Decision for fresh air.** (2015). Rehau UA. 12 (In Ukrainian)
14. **Benazza A., Blanco E., Aichouba M., Rio Luis Jose, Laouedj S.** (2011). Numerical Investigation of Horizontal Ground Coupled Heat Exchanger. *Energy Procedia*, 6, 29–35.
15. **Florides G., Theofanous E., Joseph-Stylianou J., Tassou S., Christodoulides P., Zomeni Z., Kalogirou S., Messaritis V., Pouloupatis P., Panayiotou G.** (2013). Vertical and Horizontal Ground Heat Exchanger Modeling. 7.
16. **Md. Hasan ALI, Salsuwanda Bin Selmat, Keishi Kariya, Akio Miyar** (2016). Experimental Performance Estimations of Horizontal Ground Heat Exchangers for GSHP System. *Proceedings of the COMSOL Conference*. 10.
17. **Bansal V., Misra R., Agrawal G. D., Mathur J.** (2009). Performance analysis of earth-airpipe-air heat exchanger for winter heating. *Energy and Buildings*, 41, 1151–1154.
18. **Naili N., Attar I., Hazami M., Farhat A.** (2012). Experimental Analysis of Horizontal Ground Heat Exchanger for Northern Tunisia. *Journal of Electronics Cooling and Thermal Control*, 2, 44–51.
19. **Chiasson A. D.** (2010). Modeling horizontal ground heat exchangers in geothermal heat pump systems. *Proceedings of the COMSOL Conference*.

REFERENCES

1. **Limarenko A. N.** (2012). Potential and necessity of development of non-traditional renewable energy sources in Ukraine. *Eastern European Journal of Advanced Technology*. 5/8(65), 14–19 (In Russian).
2. **Chaly V. V.** (2014). Alternative energy sources as reserves of Ukraine's energy resources. *Development management*, 5(168), 152–153 (In Russian).
3. **Voznyak O. T., Yaniv M. Y.** (2010). Energy potential of solar energy and prospects of its use in Ukraine. *Bulletin of LPNU "Theory and practice of construction"*, 664, 7–10, (In Ukrainian).
4. **Lesyk H. R.** (2012). Analysis of exergic efficiency of thermosiphon solar collector for temperate climate conditions. *Bulletin of NFTU of Ukraine*, 22(9), 140–146 (In Ukrainian).
5. **Goshovsky S. V., Zuryan O. V.** (2017). Ecological advantages and disadvantages of technologies for the use of geothermal resources as a source of renewable energy. *Abstracts of the International Scientific and Technical Conference "Geoforum 2017"*. 62–68. (In Ukrainian)
6. **Savchenko O. O., Zhelykh V. M., Dudnik K. A., Kononchuk O. M.** (2015). Technical prerequisites for the installation of geothermal ventilation of passive houses. *Bulletin of LPNU "Theory and practice of construction"*, 823, 281–285 (In Ukrainian).
7. **Zhelykh V., Savchenko O., Matusevych V.** (2016). Improving efficiency of heat exchange of horizontal ground-air heat exchanger for geothermal ventilation systems. *Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce*, 8(4), 43–46.

20. **Sanuzi A. N. Z., Shao L., Ibrahim N. (2013).** Passive ground cooling system for low energy buildings in Malaysia (hot and humid climates). *Renewable Energy*, 49, 193–196.

The expedient depth of laying of a horizontal tube earth-air heat exchanger of geothermal ventilation

*Vasyl Zhelykh, Olena Savchenko,
Vadym Matuskevych, Volodymyr Pashkevych*

Summary. Reducing the consumption of traditional fuels cannot occur without the introduction technologies with using of renewable energy resources. Solar and geothermal energy are widely used for thermal energy production. The energy of the bowels of the earth is characterized by low-temperature potential and slight unevenness throughout the year. One of the directions of using geothermal energy is the preliminary heating of external air in the mechanical ventilation system. In this case heat transfer occurs in heat exchangers, which are laid in the soil. Currently, there are no regulatory guidelines for the design of soil heat exchangers for geothermal ventilation systems in Ukraine. It complicates the design of geothermal ventilation systems, and, accordingly, their implementation into real objects. The establishment of influence of various factors on the process of heat transfer between soil and air is carried out by means of experimental research. Very often, experimental studies describe partial cases of installation of soil heat exchangers in different countries of the world. The lack of generalized characteristics of work efficiency of soil heat exchangers in climatic conditions in Ukraine also requires similar research. The paper presents analytical studies of the optimal depth of laying of horizontal tube earth-air heat exchangers in a residential building in Kyiv. To do this, the calculation of the geothermal ventilation system of a residential building with the required air exchange of 150 m³/hour and various values of the depth of the laying of pipes of the heat exchanger in the range of 1.5-4.5 m with step of 0.25 m. It is established that in the range of investigated values, the smallest length of the heat exchanger pipe is 29 m and the lowest cost of the geothermal ventilation system is 3568.76 euro, corresponding to a depth of 3.75 m.

Key words. Geothermal ventilation system, horizontal earth-air heat exchanger, laying depth, soil temperature.