

УДК 697.97

Чисельне моделювання параметрів повітряно-ґрунтових теплообмінників для геотермальної вентиляції

О. М. Недбайло¹, І. К. Божко², М. В. Ткаченко³, С. В. Андрейчук⁴

¹д.т.н., с.н.с. Інститут технічної теплофізики, м. Київ, Україна, nan_sashulya@ukr.net, ORCID: 0000-0003-1416-9651

²к.т.н., с.н.с. Інститут технічної теплофізики, м. Київ, Україна, bozhkoik@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7458-0835

³к.т.н., с.н.с. Інститут технічної теплофізики, м. Київ, Україна, tkamyr@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8345-1613

⁴м.н.с. Інститут технічної теплофізики, м. Київ, Україна, sva011966@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2507-0051

Анотація. Метою даної роботи є розробка чисельної моделі цілорічної роботи теплообмінника "земля-повітря" з круглою формою перерізу з подальшим підтвердженням на основі отриманих експериментальних даних. Ці дослідження мають стати основою для розробки методів розрахунку та проектування геотермальних систем вентиляції для кліматичних умов України. Розрахунки виконувалися на основі системи рівнянь, що характеризує процеси аеродинаміки та теплообміну в повітряно-ґрунтовому теплообміннику: збереження імпульсу, збереження енергії, кінетичної енергії турбулентності, швидкості дисипації кінетичної енергії турбулентності. Для проведення експериментальних досліджень роботи системи геотермальної вентиляції в Інституті технічної теплофізики Національної академії наук України було створено експериментальний стенд. Результати експериментальних досліджень було використано для перевірки чисельної моделі. Показано, що при слабкій зміні середньодобової температури зовнішнього повітря розбіжність результатів не перевищує похибки експериментальних досліджень.

Ключові слова: геотермальна вентиляція, повітряно-ґрунтовий теплообмінник, експериментальні дослідження, математичне моделювання, відновлювані джерела енергії.

Вступ. Для комфортного перебування людей у будівлях важливою умовою є надходження до приміщень зовнішнього повітря, яке відповідає санітарно-гігієнічним нормам. Його нагрів (охолодження) і подача забезпечуються системою вентиляції. Вентиляція виконує функцію повітрообміну в приміщенні для видалення надлишків теплоти, вологи, вуглекислоти та інших шкідливих і забруднювальних речовин з метою забезпечення нормативних параметрів мікроклімату та якості повітря в зоні перебування людини. Дотримання нормативного повітрообміну в житлових та адміністративно-побутових приміщеннях, визначеного державними будівельними нормами України, є обов'язковим при новому будівництві чи реконструкції наявних будівель.

Актуальність роботи. Підвищення нормативних вимог до енергоефективності будівель ускладнює розроблення систем вентиляції у зв'язку зі значними цілорічними енерговитратами на нагрівання та охолодження припливного повітря.

Одним із варіантів вирішення проблеми зменшення енергоспоживання є використання системи геотермальної вентиляції. Завдяки ній можна зменшити різницю температури повітря, K , між входом до вентиляційної установки і подачею до приміщення. Це дозволяє знизити витрати енергії на нагрівання або охолодження у вентиляційній установці.

Останні дослідження та публікації. Основним елементом системи геотермальної

вентиляції є повітряно-ґрунтовий теплообмінник, що знаходиться в ґрунтовому масиві на певній глибині – від 1 до 5 м. Ця глибина залежить від кліматичних умов конкретної місцевості.

Повітряно-ґрунтовий теплообмінник зазвичай має канали круглої або прямокутної форми поперечного перерізу та різної довжини. Основні конструкції типових повітряно-ґрунтових теплообмінників наведені в роботах [1, 2].

Теплотехнічні параметри й експлуатація теплообмінників зазначеного типу вже достатньо давно досліджуються у всьому світі. Так наприклад, проведено дослідження в Європі [3, 4, 5, 6], Африці [7, 8, 9], Азії [10, 11] та Америці [12]. В Україні також ведуться роботи в цьому напрямку [13, 14]. Проте їхніх результатів недостатньо для розроблення методики розрахунку та проектування систем геотермальної вентиляції для відповідних умов клімату та ґрунтів.

Активний розвиток систем геотермальної вентиляції спричиняє потребу проведення теоретичних досліджень. Це дозволяє поглибити розуміння процесів, що відбуваються в повітряно-ґрунтових теплообмінниках, та визначити кількісний вплив різних параметрів на економічну ефективність такої системи. Розгляд цих факторів разом або поодиноці є складною задачею, що стоїть перед сучасними дослідниками.

Останнім часом в інформаційних джерелах

опубліковано декілька досліджень роботи повітряно-грунтових теплообмінників методом числового моделювання. Аналіз ефективності таких теплообмінників зазвичай містить розрахунок теплопровідності масиву ґрунту до стінки теплообмінника або розрахунок параметрів конвективного теплообміну між повітрям у теплообміннику та ґрунтовим масивом.

Формулювання цілей статті. Метою даної роботи є розробка чисельної моделі цілорічної роботи теплообмінника "земля-повітря" з круглою формою перерізу з подальшим підтвердженням на основі отриманих експериментальних даних.

Основна частина. Для розв'язання завдань ґрунтового акумулювання і вилучення теплоти необхідно знати глибину річних змін температури в ґрунті H , м. Її визначає шар ґрунту, який реагує на зміну температури атмосфери Землі. Нижче цієї глибини температурний режим ґрунтового масиву стабільний і визначається винятково геологічними процесами.

Як показано в [13], значення H може змінюватися від 3,9 м до 5,0 м. Температура ґрунтового масиву нижче цієї глибини може бути 278,15...282,15 К (5...9 °С), залежно від регіону України.

У даній роботі для дослідження течії повітря в трубі, яка розташована в масиві ґрунту, уведено припущення:

- усі матеріали ізотропні та гомогенні;
- температура ґрунту, К, залежить від глибини за [13].

Розрахунки виконувалися на основі системи рівнянь, що характеризує процеси аеродинаміки та теплообміну в повітряно-ґрунтовому теплообміннику:

- збереження імпульсу;
- збереження енергії;
- кінетичної енергії турбулентності;
- швидкості дисипації кінетичної енергії турбулентності.

Основні рівняння розв'язувалися за допомогою методу кінцевих об'ємів. У більшості областей розрахункова сітка мала елементи у формі призми. Рівняння Нав'є-Стокса розв'язувалися з першим порядком точності. Теплофізичні властивості матеріалів залежно від температури, °С, було прийнято за довідковими даними.

При виконанні розрахунків в моделі використовувалися граничні умови:

- на поверхні ґрунтового масиву, що контактує з навколишнім середовищем, задавалися граничні умови третього роду – коефіцієнт тепловіддачі 23 Вт/(м²·К) та

температура, К, що дорівнювала значенню такої для повітря на вході до повітряно-ґрунтового теплообмінника;

- з боків ґрунтового масиву, обмежених розрахунковою областю, задавалися температура ґрунту залежно від глибини z , м, та пори року:
 - у квітні

$$T(z) = 0,16 z^3 + 0,6899 z^2 + 0,343 z + 277,24, \text{ К}; \quad (1)$$

- у липні

$$T(z) = 0,431 z^2 + 2,685 z + 287,3, \text{ К}; \quad (2)$$

- у жовтні

$$T(z) = -0,54392 z^2 + 2,4523 z + 277,54, \text{ К}; \quad (3)$$

- на нижній межі області температура ґрунту T_s прийнята постійною і становила [13]:
 - квітень – 277,15 К (4 °С);
 - липень – 286,15 К (13,0 °С);
 - жовтень – 283,65 К (10,5 °С);
 - січень – 277,90 К (4,75 °С);
- на вході до повітряно-ґрунтового теплообмінника було задано
 - температуру повітря T , К;
 - швидкість повітря, v , м/с;
 - інтенсивність турбулентності 10 %;
 - гідравлічний діаметр, що відповідав внутрішньому діаметру трубопроводу, м.

Розрахункова область (рис. 1) мала вигляд прямокутного паралелепіпеда із розмірами 22×4,0×4,21 м (довжина × ширина × висота).

Розрахункову область було розбито на комірки за допомогою пірамідальної сітки з різним згущенням до повітряно-ґрунтового теплообмінника. Було обрано три варіанти сітки з різним розміром розрахункових комірок.

За результатами порівняння (рис. 2) для подальших розрахунків обрано сітку з 1 млн. комірок. Адже різниця між результатами розрахунків за обраною сіткою та сіткою з 4,35 млн. комірок становить менше ніж 0,5 К. Це відповідає похибці вимірювання при експериментальних дослідженнях. Більш груба сітка дає значно більше відхилення.

Для проведення експериментальних досліджень роботи системи геотермальної вентиляції в Інституті технічної теплофізики Національної академії наук України створено науково-технічну та технологічну теплофізичну лабораторію.

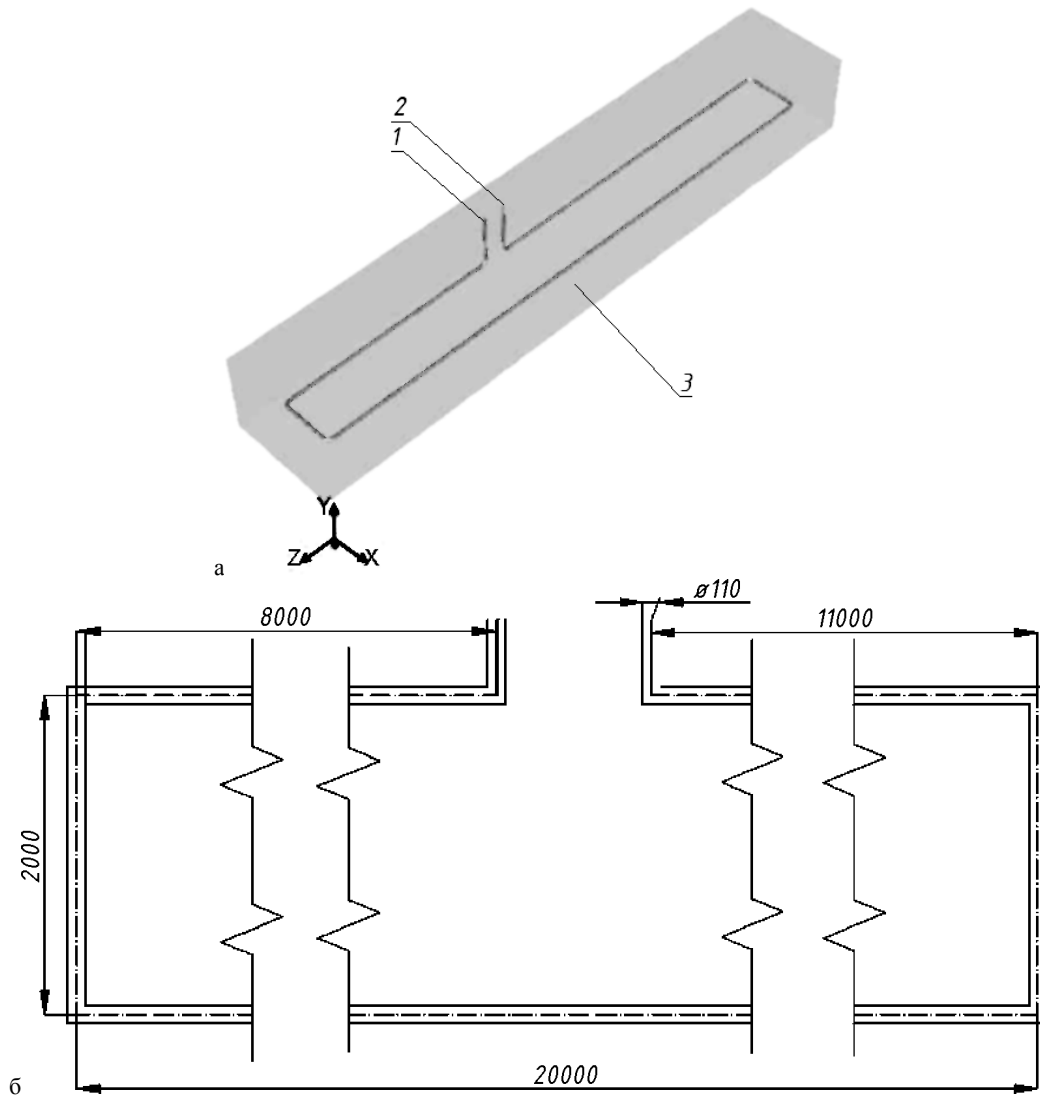


Рис. 1. Схема розрахункової області та геометричні розміри теплообмінника:

а – загальний вигляд; б – план теплообмінника:

1 – вхід до повітряно-грунтового теплообмінника; 2 – вихід з теплообмінника; 3 – масив ґрунту

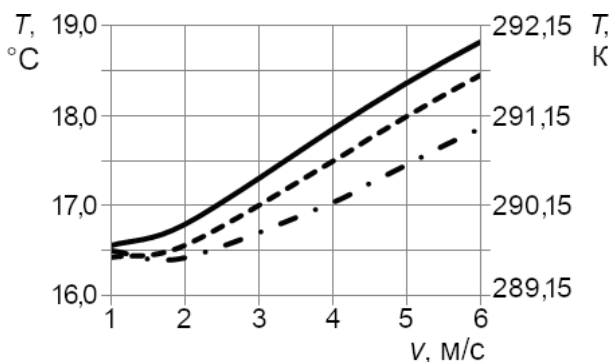


Рис. 2. Порівняння результатів розрахунку

для різної кількості комірок сітки:

— 4 350 тис. Комірок; - - - 1 000 тис. комірок;
- · - - 400 тис. комірок

Ця лабораторія призначена для дослідження теплофізичних процесів при експлуатації геотермальної системи вентиляції. У ній змонтовано експериментальний стенд. Основним його елементом є повітряно-ґрунтовий теплообмінник кільцеподібної форми загальною протяжністю 43 м.

Теплообмінник виготовлено з труб з непластифікованого полівінілхлориду (НПВХ) $\varnothing 110$ мм що знаходяться в ґрунтовому масиві на глибині 2,2 м. Ця глибина нижче сезонної глибини промерзання ґрунту в м. Києві. Даний теплообмінник експлуатується у двох режимах:

- у теплий період року – режим охолодження повітря;
- у холодний період – режим нагріву повітря.

Дослідження роботи системи геотермальної вентиляції проведено у двох гідродинамічних режимах. Припливне повітря прокачувалося в теплообміннику зі швидкістю v , рівною 4,4 м/с та 5,5 м/с в ядрі потоку. Це відповідає об'ємній витраті повітря 29 $\text{дм}^3/\text{с}$ та 37 $\text{дм}^3/\text{с}$.

Експериментальний стенд оснащений вимірювальною системою:

- термоелектроанемометром Testo 405-V1;
- 32-ма напівпровідниковими датчиками ВМЕ 280 у ґрунтовому масиві поблизу теплообмінника;

- вторинними приладами на основі мікропроцесорів.

Основні параметри, що реєструються вимірювальним комплексом на вході і виході з теплообмінника та можуть свідчити про ефективність роботи теплообмінника:

- температура повітря, К;
- відносна вологість повітря, К;
- тиск повітря, Па.

Отримані на експериментальному стенді дані дозволили валідувати модель. Порівнювалися дані повномасштабного експерименту з даними математичного моделювання за умови розв'язання стаціонарної задачі руху повітря в повітряно-грунтового теплообмінника при різних значеннях середньодобової температури повітря, К, на вході.

При виконанні валідаційних розрахунків як граничні умови на боковій поверхні масиву ґрунту задавалися значення температури ґрунту, К, у квітні та жовтні за формулами (1) і (3). На верхній поверхні задавалися граничні умови третього роду з температурою, що дорівнювала температурі повітря на вході до теплообмінника, К.

Як видно з результатів моделювання (рис. 3), частина експериментальних даних збігається з розрахунком у межах точності експериментів. Деякі точки лежать вище розрахункової кривої. Це пояснюється стаціонарною постановкою задачі розрахунку. При цьому не враховано накопичення теплоти в ґрунті при

зміні температурного режиму.

Якщо середньодобова температура протягом попередніх діб перед добою вимірювання перевищувала на декілька градусів останню, то тепла енергія накопичувалась у масиві ґрунту навколо труби повітряно-грунтового теплообмінника. Це спричиняло більш високе значення температури на виході з теплообмінника. Зазначена нестационарність процесу не була врахована в моделі, яка була використана в даному випадку. Але в цілому за відсутності різкої зміни погодних умов модель прогнозує температуру на виході з повітряно-грунтового теплообмінника з точністю експериментально-го вимірювання.

Для отриманих даних визначено середнє відносне відхилення розрахункової температури на виході з теплообмінника $T_{вих,р}$, К, від дослідного значення $T_{вих,д}$, К, за формулою

$$\sigma = \frac{T_{вих,д} - T_{вих(розрахунок)}}{T_{вих(експеримент)}} \cdot 100, \% \quad (4)$$

Результати розрахунку розподілу відносної похибки (рис. 4) температури, вираженої у кельвінах, показали, що вона варіюється в діапазоні від -0,25 до 1,25 %. Більшість даних для жовтня 2018 року (28 %) має відносну похибку в межах 0,25...0,5 % (рис. 4а).

Для квітня 2018 року діапазон відносної похибки варіювався від мінус 1 до 1 %.

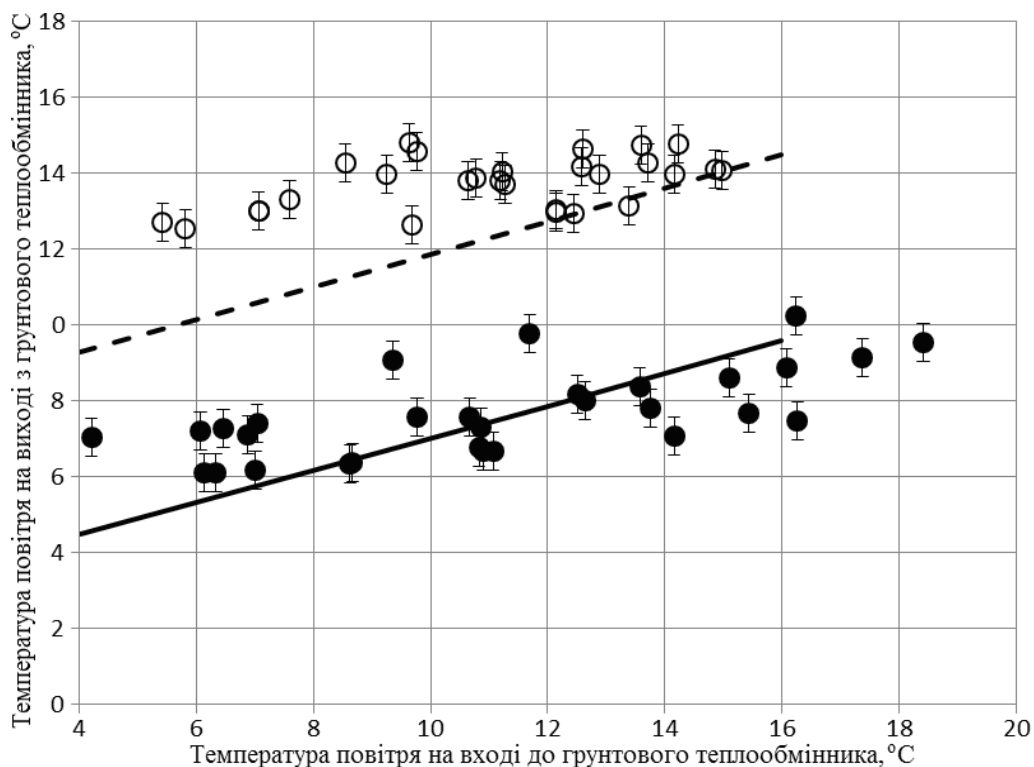


Рис. 3. Валідація теплофізичного моделювання за допомогою експериментальних даних:

— розрахунок (квітень); • - дослідні дані (квітень); - - - розрахунок (жовтень); ○ - дослідні дані (жовтень)

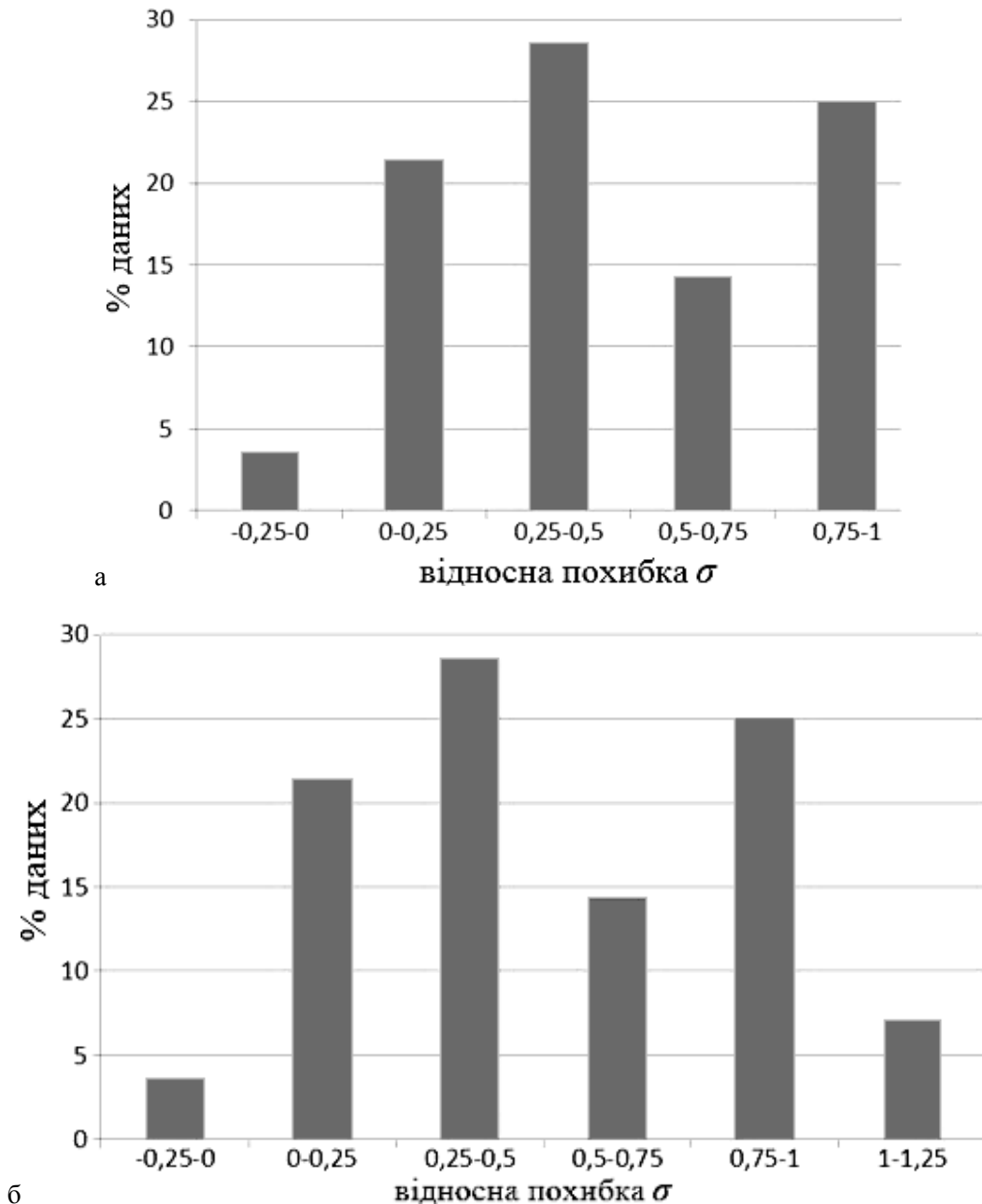


Рис. 4. Діапазон розподілу відносної похибки за формулою (4):
а – у жовтні; б – у квітні

Більшість даних (40 %) для квітня (рис. 4б), має відносну похибку від 0 до -0,5 %.

Висновки. Підвищення енергоефективності будівель за рахунок систем геотермальної вентиляції є актуальним напрямком досліджень. У загальному розумінні на ефективність теплообміну в повітряно - ґрунтових теплообмінниках можуть впливати такі фактори, як глибина розміщення теплообмінника, його геометричні розміри і конструкція, значення температури ґрунту і повітря, теплофізичні

властивості ґрунту і матеріалу, з якого виготовлено теплообмінник, витрата повітря в системі, кліматичні особливості місцевості тощо. Запропонована теплофізична модель адекватно описує процеси аеродинаміки та теплообміну в повітряно-ґрунтовому теплообміннику.

Перспективи подальших досліджень. На основі розробленої математичної моделі розглядається можливість розрахунку та оптимізації основних теплотехнічних параметрів ґрунтових теплообмінників.

Література

1. Tzaferis A. Analysis of the accuracy and sensitivity of eight models to predict the performance of earth-to-air heat exchangers / A. Tzaferis, D. Liparakis, M. Santamouris, A. Argiriou // *Energy and Buildings*. – 1992. – Vol. 18. – P. 35 - 43.
2. Amar Rouag, Adel Benchabane, Charaf-Eddine Mehdid. Thermal design of Earth-to-Air Heat Exchanger. Part I. A new transient semi-analytical model for determining soil temperature / Amar Rouag, Adel Benchabane, Charaf-Eddine Mehdid // *Journal of Cleaner Production*. – 2018. – №182. – P. 538-544. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.02.089.
3. Badescu V. Simple and accurate model for the ground heat exchanger of a passive house / V. Badescu // *Renew Energy*. – 2007. – No. 32. – P. 845 – 855.
4. Benkert S. Calculation tool for earth heat exchangers GAEA / S. Benkert, F. Heidt, D. Scholer // *Proceeding of building simulation Fifth International IBPSA Conference. Prague*. – 1997. – Vol. 2. – P. 9-16.
5. Филатов С. О. Эффективность использования энергетических свай с теплоносителем воздух в системах вентиляции и теплоснабжения / С. О. Филатов, В. И. Володин // *Промышленная теплотехника*. – 2013. – Т. 35. – № 3. – С. 44 - 50.
6. Басок Б. І. Теплофізичне моделювання повітряно-грунтового теплообмінника для теплової залежності фасадних стін експериментального енергоефективного будинку / Б. І. Басок, М. П. Новіцька // *Промышленная теплотехника*. – 2017. – Т.39. – № 1. – С. 35 - 38.
7. Sehli A. The potential of earth-air heat exchangers for low energy cooling of buildings in South Algeria / A. Sehli, A. Hasni, M. Tamali // *Energy Procedia*. – 2012. – no 18. – P. 496-506.
8. Amara S. Using Fougara for Heating and Cooling Buildings in Sahara / S. Amara, B. Nordell, B. Benyoucef // *Energy Procedia*. – 2011. – no 6. – P. 55-64.
9. Congendo P. Experimental validation of horizontal air-ground heat exchangers (HAGHE) for ventilation systems / P. Congendo, C. Lorusso, C. Baglivo, M. Milanese, L. Raimondo // *Geothermics*. – 2019. – Vol. 80. – P. 78-85. DOI: 10.1016/j.geothermics.2019.02.010
10. Sanusi Aliyah NurZafirah. Low Energy Ground Cooling System for Buildings in Hot and Humid Malaysia. PhD thesis, 2012 / Sanusi Aliyah Nur Zafirah. De Montfort University. – 2012. – 271 p.
11. Noor Aziah Mohd. Materials for the earth air pipe heat exchanger system as a passive ground cooling technology for hot humid climate / Noor Aziah Mohd. Ariffin, Aliyah Nur Zafirah Sanusi, Aminuddin Mohd Noor // *Materials of nd International Conference on Emerging Trends in Scientific Research 2014 Pearl International Hotel, Kuala Lumpur 2nd & 3rd November 2014*. – P. 1-12. URL: [http://irep.iium.edu.my/39826/5/2nd-ICETSR2014_NoorAziah_EAPHE_\(2\).pdf](http://irep.iium.edu.my/39826/5/2nd-ICETSR2014_NoorAziah_EAPHE_(2).pdf)
12. Krarti. M. Analytical model for heat transfer in an underground air tunnel / M. Krarti, J. Kreider // *Energy Conversion and Management*. – 1996. – Vol. 37. – No. 10. – P. 1561 - 1574.
13. Накорчевский А. И. Регрессионный анализ глубин годовых флуктуаций температур в верхних слоях грунта / А. И. Накорчевский, Т. Г. Беляева // *Промышленная теплотехника*. – 2005. – Т. 27. – № 6. – С. 86 - 90.
14. Басок Б. И. Динамика теплообмена жидкости в грунтовом прямолинейном одиночном элементе (теплообменнике) / Б. И. Басок, А. А. Авраменко, С. С. Рыжков, А. А. Лунина // *Промышленная теплотехника*. – 2009. – Т. 31. – №1. – С. 62 - 67.

References

1. Tzaferis A., Liparakis D., Santamouris M., Argiriou A. “Analysis of the accuracy and sensitivity of eight models to predict the performance of earth-to-air heat exchangers”. *Energy and Buildings*. 1992. Vol. 18. P. 35-43.
2. Amar Rouag, Adel Benchabane, Charaf-Eddine Mehdid. “Thermal design of Earth-to-Air Heat Exchanger. Part I. A new transient semi-analytical model for determining soil temperature”. *Journal of Cleaner Production*. 2018. №182. (2018). . 538-544. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.02.089.
3. Badescu V. “Simple and accurate model for the ground heat exchanger of a passive house”. *Renew Energy*, 2007. No. 32. P. 845-855.
4. Benkert S, Heidt F., Scholer D. “Calculation tool for earth heat exchangers GAEA”. *Proceeding of building simulation Fifth International IBPSA Conference. Prague*. 1997. Vol. 2. P. 9-16.
5. Filatov S. O., Volodin V. I. “Effektivnost ispolzovaniia energeticheskikh svai s teplonositelem vozduh v sistemakh ventilatsii i teplosnabzheniia”. *Promyshlennaya teplotekhnika*, 2013, T. 35. № 3. P. 44-50.
6. Basok B. I., Novitska M. P. “Теплофизичне моделювання повітряно-грунтового теплообмінника для теплової залежності фасадних стін експериментального енергоефективного будинку”. *Promyshlennaya teplotekhnika*. 2017. T. 39, № 1. P. 35-38.
7. Sehli A., Hasni A., Tamali M. “The potential of earth-air heat exchangers for low energy cooling of buildings in South Algeria”. *Energy Procedia*. 2012. no 18. P. 496-506.
8. Amara S., Nordell B., Benyoucef B. “Using Fougara for Heating and Cooling Buildings in Sahara”. *Energy Procedia*. 2011. no 6. P. 55-64.

9. Congendo P., Lorusso C., Baglivo C., Milanese M., Raimondo L. Experimental validation of horizontal air-ground heat exchangers (HAGHE) for ventilation systems”. *Geothermics*, 2019. Vol. 80. P. 78-85. DOI: 10.1016/j.geothermics.2019.02.010
10. Sanusi Aliyah NurZafirah. *Low Energy Ground Cooling System for Buildings in Hot and Humid Malaysia*. PhD thesis. Demont fort University, 2012.
11. Noor AziahMohdAriffin, Aliyah NurZafirahSanusi. “Materials for the earth air pipe heat exchanger system as a passive ground cooling technology for hot humid climate”. *Materials of nd International Conference on Emerging Trends in Scientific Research 2014 Pearl International Hotel, Kuala Lumpur 2nd & 3rd November 2014*. P. 1-12.
URL: [http://irep.iium.edu.my/39826/5/2nd-ICETSR2014_NoorAziah_EAPHE_\(2\).pdf](http://irep.iium.edu.my/39826/5/2nd-ICETSR2014_NoorAziah_EAPHE_(2).pdf)
12. Krarti M., Kreider J. “Analytical model for heat transfer in an underground air tunnel”. *Energy Conversion and Management*. Vol. 37, No. 10, 1996. P. 1561-1574.
13. Nakorchevskij A. I., Belyaeva T. G. “Regressionnyj analiz glubin godovyh fluktuacij temperatur v verhnih sloyah grunta”. *Promyshlennaya teplotekhnika*, 2005. T. 27, № 6. P.86 -90.
14. Basok B. I., Avramenko A. A., Ryzhkov S. S., Lunina A. A. “Dinamika teploobmena zhidkosti v gruntovom priamolineinom odinochnom elemente (teploobmennike)”. *Promyshlennaya teplotekhnika*, 2009, T. 31, №1, S. 62-67.

УДК 697.97

Численное моделирование параметров воздушно-грунтовых теплообменников

А. М. Недбайло¹, И. К. Божко², М. В. Ткаченко³, С. В. Андрейчук⁴

¹д.т.н., с.н.с. Институт технической теплофизики, г. Киев, Украина, nan_sashulya@ukr.net, ORCID: 0000-0003-1416-9651

²к.т.н., с.н.с. Институт технической теплофизики, г. Киев, Украина, bozhkoik@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7458-0835

³к.т.н., с.н.с. Институт технической теплофизики, г. Киев, Украина, tkamyr@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8345-1613

⁴м.н.с. Институт технической теплофизики, г. Киев, Украина, sva011966@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2507-0051

Аннотация. Целью данной работы является разработка численной модели круглогодичной работы теплообменника "земля-воздух" круглой формы сечения с последующим подтверждением на основе полученных экспериментальных данных. Эти исследования должны стать основой для разработки методов расчёта и проектирования геотермальных систем вентиляции для климатических условий Украины. Расчёты выполнялись на основе системы уравнений, характеризующих процессы аэродинамики и теплообмена в воздушно-грунтовом теплообменнике: сохранение импульса, сохранение энергии, кинетической энергии турбулентности, скорости диссипации кинетической энергии турбулентности. Для проведения экспериментальных исследований работы системы геотермальной вентиляции в Институте технической теплофизики Национальной академии наук Украины был создан экспериментальный стенд. Результаты экспериментальных исследований были использованы для проверки численной модели. Показано, что при слабом изменении среднесуточной температуры наружного воздуха расхождение результатов не превышает погрешности экспериментальных исследований.

Ключевые слова: геотермальная вентиляция, воздушно-грунтовый теплообменник, экспериментальные исследования, математическое моделирование, возобновляемые источники энергии.

UDC 697.97

Numerical modelling of parameters of the operational parameters of an earth-to-air heat exchanger for geothermal ventilation

O. Nedbailo¹, I. Bozhko², M. Tkachenko³, S. Andreychuk⁴

¹ Dr. Hab., Senior Researcher, Institute of Engineering Thermophysics, Kyiv, Ukraine, nan_sashulya@ukr.net, ORCID: 0000-0003-1416-9651

² Ph.D., Senior Researcher, Institute of Engineering Thermophysics, Kyiv, Ukraine, bozhkoik@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7458-0835

³ Ph.D., Senior Researcher, Institute of Engineering Thermophysics, Kyiv, Ukraine, tkamyr@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8345-1613

⁴ junior researcher, Institute of Engineering Thermophysics, Kyiv, Ukraine, sva011966@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2507-0051

Abstract. *The aim of this work is to develop a numerical model of the year-round operation of an earth-to-air heat exchanger (EAHE) with a circular cross-sectional shape with further its validation based on the obtained experimental data. We consider that these studies can form the basis for the development of methods for calculating and designing geothermal ventilation systems for climate conditions of Ukraine. The analysis of literature sources showed that now there are quite a lot of studies devoted to the issues of geothermal ventilation. The results of such heat exchanger modeling with various geometric data and which operate in their authentic soils under various hydraulic regimes and that are located at different depths are widely presented. However, these studies do not allow obtaining generalized patterns of heat transfer during the operation of the heat exchangers and the influence of the geometric parameters of the heat exchanger on the operation of the geothermal ventilation system as a whole. Much attention is paid to the issues of modelling the operation of such heat exchangers and the distinctive features of each of these models. Also important are the results of experimental studies carried out on our own experimental bench and with the help of which the numerical model was validated. To conduct experimental research on the operation of the geothermal ventilation system at the Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine an experimental stand was created. This stand is designed to study thermophysical processes during the operation of a geothermal ventilation system elements. The results of these studies are the basis for the development of a method for determining the optimal diameter of the earth-to-air heat exchanger under operating conditions for soil in Kyiv, Ukraine.*

Keywords: *geothermal ventilation, earth-to-air heat exchanger, experimental studies, numerical modeling, renewable energy sources.*

Надійшла до редакції / Received 23.11.2020