

УДК 692+644.1

Б. І. БАСОК, член-кореспондент НАН України, д-р техн. наук, професор

Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ

М. П. НОВИЦЬКА, канд. техн. наук, с.н.с.

Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ

БАГАТОФАКТОРНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОВОЇ ПОВІТРЯНОЇ ЗАВІСИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО БУДИНКУ

В роботі розглянуто аналіз впливу різних факторів на вилучення теплового потенціалу ґрунту та зменшення теплових втрат енергоефективних будівель за допомогою теплової повітряної завіси фасадних стін. Представлено числове теплофізичне моделювання ґрунтово-повітряного теплообмінника об'ємного типу неглибокого залягання разом з тепловою завісою фасадних стін. В результаті розрахунків отримано, що найбільш впливовим фактором є тепловий стан ґрунтового масиву.

Ключові слова: *повітряно-ґрунтовий теплообмінник, енергозбереження, CFD моделювання, тепла повітряна завіса, енергоефективна будівля.*

В работе рассмотрен анализ влияния различных факторов на извлечение теплового потенциала грунта и уменьшение тепловых потерь энергоэффективных зданий при помощи тепловой воздушной завесы фасадных стен. Представлено численное теплофизическое моделирование грунтово-воздушного теплообменника неглубокого залегания вместе с тепловой завесой фасадных стен. В результате расчета получено, что наиболее влиятельным фактором является тепловое состояние грунтового массива.

Ключевые слова: *воздушно-грунтовый теплообменник, энергосбережение, CFD моделирование, тепловая воздушная завеса, энергоэффективный дом.*

The analysis of the influence of various factors on energy extraction from soil and reducing of heat energy losses of energy-efficient building by using double skin façade wall system is considered. The numerical simulation of an air-earth heat exchanger which lies at relatively shallow depths along with double skin façade wall system is represented. In conclusion it was obtained that most important factor is soil condition.

Keywords: *air-earth heat exchanger, energy saving, CFD simulation (Computational fluid dynamics), hot air curtain, energy-efficient building.*

Із зростанням вартості енергоресурсів, збільшенням попиту на них, скороченням запасів традиційних джерел енергії та зменшенням можливості доступу до них особливого значення набуває проблема енергозбереження. Одним із засобів мінімізації енергоспоживання енергоефективних будинків пасивного типу є обладнання їх тепловою повітряною завісою фасадних стін [1,2]. Тепловою завісою фасадних стін може

бути організовано за допомогою горизонтальних ґрунтово-повітряних теплообмінників об'ємного типу. Ґрунтово-повітряний теплообмінник складається з групи повітряних каналів, що розташовані під землею на невеликій глибині.

Принцип роботи ґрунтово-повітряного теплообмінника заснований на такому фізичному явищі, як наявність різниці температур між температурою повітря та температурою ґрунту. Влітку температура ґрунту на певній глибині нижче за температуру навколишнього повітря тому є можливість охолодити повітря, що рухається такими каналами. А взимку навпаки, температура ґрунту, що розташований нижче глибини промерзання, вище за температуру повітря, то є можливість нагрівати повітря за рахунок теплоти ґрунту. Таке нагріте або охолоджене навколишнє повітря зазвичай використовують для вентиляції, зменшення теплових втрат будинку, або підвищення температурного комфорту людей що знаходяться в приміщенні [1-8].

Останнє десятиліття багато досліджень проводилось з метою покращення теплової ефективності такого типу повітряно-ґрунтових теплообмінників [1-8]. Більшість робіт проведено з використанням різних експериментальних, аналітичних, числових та гібридних методів дослідження для оцінки теплообміну всередині та навколо таких пристроїв.

Для розуміння процесів тепло- та повітрообміну, що відбуваються в таких теплообмінниках розроблено декілька математичних моделей та методів, що на даний час опубліковані у літературі.

Метою цієї роботи є аналіз тепло аеродинамічних процесів, що відбуваються в повітряно-ґрунтових теплообмінниках. На тепловий стан повітряно-ґрунтового теплообмінника та температуру повітря на виході із теплової завіси можуть впливати різні фактори, а саме: температура і стан ґрунтового масиву, товщина міжшарового зовнішнього вентиляційного прошарку, температура навколишнього середовища, висота будівлі та інш.

Наведемо результати розрахунку стаціонарної задачі руху повітря в горизонтальному повітряно-ґрунтовому теплообміннику та в вертикальному міжшаровому зазорі теплової повітряної завіси фасадної стіни будинку. Повітряні канали цього теплообмінника мають прямокутний поперечний переріз. Повітря, що надходить в повітряно-ґрунтовий теплообмінник, відбирає теплоту ґрунту, при цьому нагрівається, рухається у розподільчий короб та за рахунок різниці температур (нагрітого і холодного повітря) надходить у міжшаровий простір стін будівлі, що знаходиться між зовнішнім утеплювачем та внутрішнім утеплювачем стіни будинку, циркулює в ньому, віддаючи теплоту, після цього відпрацьоване повітря викидається назовні. Режим течій в такій конструкції передбачався турбулентний. Розглядалась тривимірна задача, розрахункова схема простору, що розглядається представлена на рис.1а.

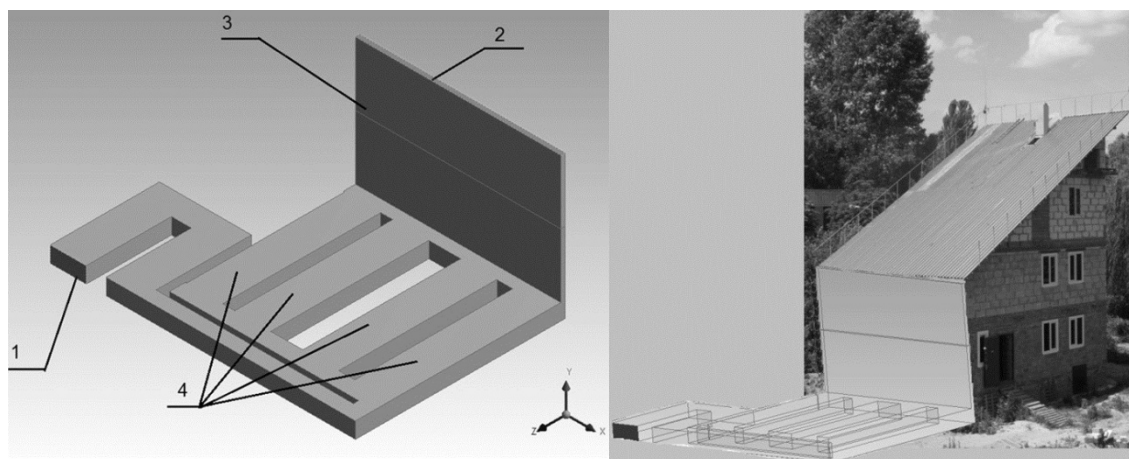


Рис. 1. *а* – Розрахункова схема. *б* – Розташування коробів повітряно-грунтового теплообмінника біля фасадних стін енергоефективного будинку.

1- вхід в ґрунтовий теплообмінник; 2 – вихід із теплової завіси; 3 – міжшаровий простір у стіні; 4 – багатоходова система повітряних коробів.

Місце розміщення повітряно-грунтового теплообмінника біля південної стіни енергоефективного будинку представлено на рис. 1б.

При проведенні розрахунків вирішувалась задача про теплообмін та рух всередині повітряно-грунтового теплообмінника за рахунок ефекту природної конвекції повітря, що виникає внаслідок різниці температур в повітряному міжшаровому просторі між стіною та утеплювачем, та висотної стратифікації густини повітря. Така побудова повітряно-грунтового теплообмінника дозволить уникнути затрат енергії на створення вимушеного руху повітря у коробі повітряно-грунтового теплообмінника.

Природна циркуляція розраховувалась з використанням наближення Бусінеска, в якому густина повітря приймається постійною у всіх розв'язуваних рівняннях, за винятком рівняння імпульсу в якому додається член, що враховує силу Архімеда.

$$(\rho_0 - \rho)g \approx \rho_0 \beta (T - T_0)g$$

де ρ_0 та T_0 – значення густини та температури за нормальних умов, β – коефіцієнт термічного розширення, g - прискорення вільного падіння.

Розрахунок виконано на основі системи рівнянь збереження імпульсу, енергії, кінетичної енергії та швидкості дисипації. Для розрахунку використовувався пакет Ansys Fluent. Основні рівняння вирішуються за допомогою методу кінцевих об'ємів. В більшості областей сітка мала елементи у вигляді паралелограмів, що створені за допомогою схеми *map*. Рівняння Нав'є-Стоксу розраховувались з першим порядком точності.

Із рішення отриманої системи різницевих рівнянь визначалися поля швидкості, тиску та температури в повітряному потоці, який омиває будівлю, що розглядається.

Першим фактором, що розглядався, була товщина міжшарового прошарку. Розрахунок задачі виконано за наступних умов: $T_1 = 22^\circ\text{C}$, $T_{\text{вх}} = 0^\circ\text{C}$, $T_{\text{гр}} = 5^\circ\text{C}$, матеріал утеплювача з боку дома багатошарова стіна з еквівалентними властивостями товщиною

$\delta_{\min} = 0,01\text{м}$, матеріал утеплювача зі сторони повітря екструдований пінополістирол $\delta_{\text{зовн}}=0,05\text{м}$. Товщина міжшарового прошарку δ варіювалась від 0,01м до 0,07м.

На рис. 2 відображено розраховану залежність середньої по поверхні температури повітря a та швидкість b на виході із ґрунтового теплообмінника в залежності від товщини повітряного міжшарового зазору. Як видно із рис. 2 із збільшенням товщини міжшарового прошарку температура зменшується(рис. 2а), а швидкість повітря(рис. 2б) в системі коробів повітряно-ґрунтового теплообмінника зростає. Із збільшенням товщини міжшарового прошарку середня по поверхні температура на виході із міжшарового прошарку зменшується, але вона все одно залишається на декілька градусів вищою, ніж на вході та у навколишньому середовищі. Крива середньої по поверхні швидкості на виході із міжшарового прошарку має максимум при $\delta=0,035\text{м}$, рис.2б.

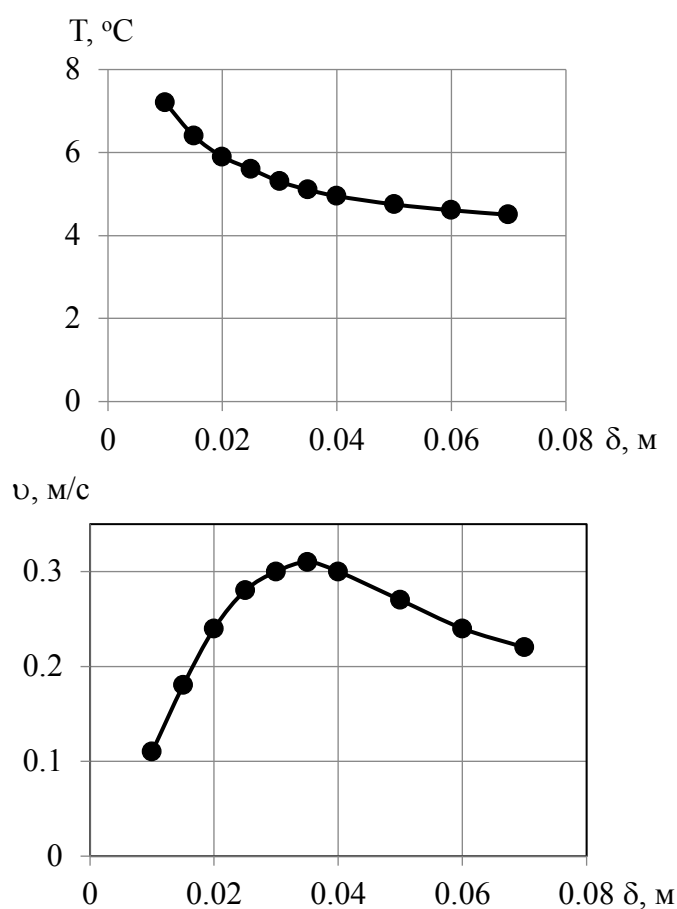


Рис. 2. Залежність a – середньої по поверхні температури повітря на виході із ґрунтового теплообмінника від товщини повітряного міжшарового зазору δ , b – швидкості повітря на виході із ґрунтового теплообмінника від товщини повітряного міжшарового зазору δ .

При товщині повітряного міжшарового зазору менше 0,04 м, значення температури вищі за температуру ґрунту, що можна пояснити прогріванням повітря від стіни. Тобто після системи коробів ґрунтового теплообмінника і на вході в міжшаровий простір повітря має температуру ґрунту. При невеликій товщині зазору частину теплоти

віддає стіна будівлі. І чим гірше буде вона утеплена, тим більше теплоти буде втрачатися.

В якості другого фактора, що розглядався, було розглянуто температуру навколишнього середовища. Розрахунок задачі виконано за наступних умов: $T_1 = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{вх}} = \text{variable}$, $T_{\text{гр}} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, матеріал утеплювача з боку дома багат шарова стіна з еквівалентними властивостями, товщиною $\delta_{\text{min}} = 0,4\text{ м}$, матеріал утеплювача зі сторони повітря екструдований пінополістирол $\delta_{\text{зовн}} = 0,05\text{ м}$.

Третім фактором була температура ґрунтового масиву. Розрахунок задачі виконано за таких же умов, за виключенням $T_{\text{вх}} = 0^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{гр}} = \text{variable}$.

Результати розрахунків наведено на рис. 3 а,б.

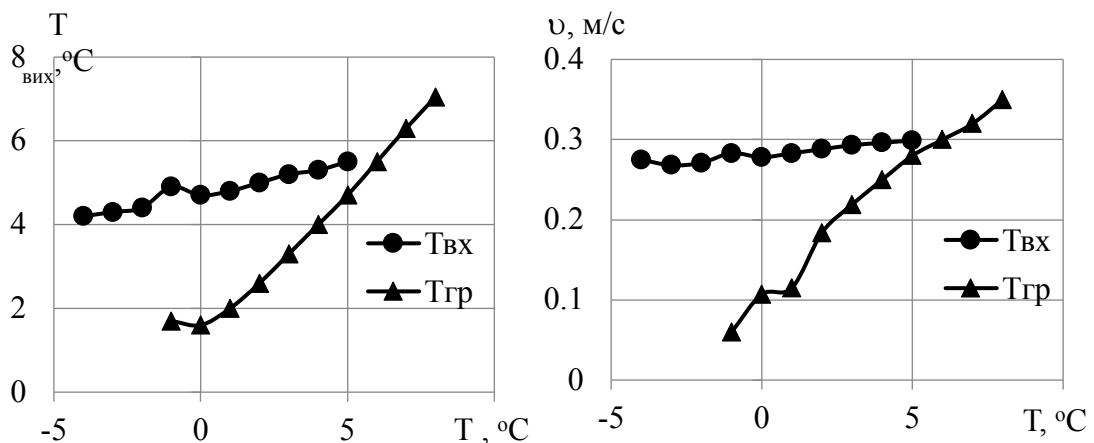


Рис. 3. Залежність *a* – середньої по поверхні температури повітря на виході із міжшарового зазору теплової завіси фасадних стін від температури навколишнього середовища —●— та стану ґрунтового масиву —▲—, *б* – швидкості повітря на виході на виході із міжшарового зазору теплової завіси фасадних стін від температури навколишнього середовища —●— та стану ґрунтового масиву —▲—

Крива залежності температури повітря на виході із міжшарового зазору від температури повітря на вході в теплообмінник має більш пологий характер, ніж крива залежності від температури ґрунтового масиву. Тому більш впливовим фактором на температуру повітря на виході із міжшарового зазору теплової завіси фасадних стін є тепловий стан ґрунтового масиву.

Висновки.

1. Розроблена чисельна теплофізична модель повітряно-ґрунтового теплообмінника може бути корисною при розрахунках та проектуванні теплообмінників такого типу, що розроблюються для зменшення енергоспоживання енергоефективних будівель.

2. Найбільш впливовим фактором є температурний стан ґрунтового масиву, тому для збільшення ефективності такої теплової завіси потрібно проводити заходи, що сприятимуть зменшенню втрат теплоти ґрунтовим масивом або збільшенню його температурного потенціалу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Басок Б.І., Новіцька М.П., Кужель Л.М., Божко І.К., Недбайло О.М., Ткаченко М.В. Гончарук С.М. Спосіб забезпечення повітряно-теплової завіси теплотою ґрунту. Патент на корисну модель України № 88791 МПКF24F1/00, F24F5/00 від 25.03.2014 Бюл. № 6.
2. Басок Б.І., Новіцька М.П. Теплофізичне моделювання повітряно-ґрунтового теплообмінника для теплової завіси фасадних стін експериментального енергоефективного будинку // Промышленная теплотехника. – 2017. – Т.39, № 1. – С.35-38.
3. A. Sehli, A. Hasni, M. Tamali The potential of earth-air heat exchangers for low energy cooling of buildings in South Algeria, Energy Procedia, 2012. No 18. P.496 – 506.
4. A. Tzaferis, D. Liparakis, M. Santamouris, A. Argiriou Analysis of the accuracy and sensitivity of eight models to predict the performance of earth-to-air heat exchangers, Energy and Buildings, 1992. No 18. P. 35-43.
5. M. Krarti, J. F. Kreider Analytical model for heat transfer in an underground air tunnel, Energy Conversion and Management, 1996. Vol. 37. No. 10. P. 1561-1574.
6. Badescu V. Simple and accurate model for the ground heat exchanger of a passive house, Renew Energy, 2007. No.32. P. 845–855.
7. S. Amara, B. Nordell and B. Benyoucef Using Fouggara for Heating and Cooling Buildings in Sahara, Energy Procedia, 2011. No 6. P. 55–64.
8. Benkert S, Heidt FD, Scholer D. Calculation tool for earth heat exchangers GAEEA. In: Proceeding of building simulation'97, Fifth International IBPSA Conference, Prague. 1997. P. 9–16.