

## ОЦІНКА МЕТОДІВ ПРОЕКТУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПАЛЬ НА ОСНОВІ РІЧНОГО БАЛАНСУ ТЕПЛОВИХ ТА ХОЛОДИЛЬНИХ НАВАНТАЖЕНЬ БУДІВЛІ

*Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна*

*В роботі розкрито та оцінено можливості використання стандартних методів проектування ґрунтових випарників в якості енергетичних палів для теплових насосів. Показано основні чинники, які потрібно враховувати при розробці моделі енергетичної палі та наведено існуючі методики проектування.*

**Постановка проблеми.** Теплові насоси (ТН) посідають лідируючі позиції в галузі альтернативних систем теплохолододопостачання. Найбільш ефективним та стабільним джерелом низькопотенційної енергії для ТН є використання енергії ґрунту, яка дозволяє підтримувати високий COP (Coefficient of performance) протягом року.

Ґрунт поверхневих шарів Землі фактично може виступати тепловим акумулятором необмеженої потужності. Тепловий режим ґрунту формується під дією двох основних факторів: зовнішніх – сонячної радіації та температури повітря, внутрішніх – потоків радіогенної теплової енергії з надр Землі. Сезонні та добові коливання інтенсивності сонячної радіації і температури зовнішнього повітря викликають коливання температури верхніх шарів ґрунту. Глибина впливу добового коливання температури повітря в залежності від геологічних характеристик поверхні для I та II кліматичних зон України коливається в межах 0,3..1,2 м. Глибина проникнення сезонного ходу температури ґрунту та інтенсивності надходження сонячної радіації не перевищує 15-20 м.

Тепловий режим шарів ґрунту, які розташовані нижче глибини впливу зовнішніх чинників («незалежна зона»), формується під дією теплової енергії, що надходить з надр Землі, і практично не залежить від сезонних, і тим більше добових змін параметрів клімату. Зі збільшенням глибини, температура ґрунту також збільшується у відповідності з геотермальним градієнтом (близько 0,03 °С/м). Величина потоку радіогенної теплової енергії складає близько 0,05-0,12 Вт/м<sup>2</sup> для континентальних територій, розташованих не в зонах впливу розломів земної кори.

Земля протягом року утримує стабільну температуру 8-12 °С. Шар постійної річної температури починається в середньому на глибині в 19 раз більшій, ніж глибина шару постійної добової температури. У верхніх шарах земної поверхні спостерігаються незначні коливання температури, які зумовлені річним ходом температури ґрунту. Річний хід температури ґрунту пов'язаний з річною зміною в надходженнях сонячної радіації. В північній півкулі максимальні температури на поверхні ґрунту спостерігаються в липні-серпні, а мінімальні – в січні-лютому [1].

Існують декілька типів ґрунтових випарників:

- горизонтальний ґрунтовий колектор;
- вертикальний ґрунтовий колектор (зонд);
- енергетична паля.

Серед вище вказаних геотермальних випарників, найбільш складним в проектуванні є енергетична паля, оскільки її значна частина знаходиться у верхньому шарі ґрунту, який піддається впливу річного коливання температури. Наслідками не правильного розрахунку проектної потужності енергетичної палі можуть бути не раціональне використання низькопотенційної енергії або, куди гірше, промерзання ґрунту, що призведе до руйнування конструкції будівлі та припиненню функціонування системи теплопостачання будівлі.

**Аналіз основних досліджень та публікацій.** Більшість провідних виробників теплонасосної техніки та алгоритмів проектування ґрунтових колекторів базуються на річному навантаженні використання ТН [2 – 4]. Спеціалізовані програмні комплекси пропонують проводити розрахунок довжини випарника ТН базуючись на табличних даних потужності тепловіддачі ґрунту з двома варіантами використання ТН: 1800 год/рік та 2400 год/рік.

Такий підхід є не прийнятним для розрахунку енергетичної палі, оскільки для якісного моделювання роботи випарника потрібно враховувати довготривалий, сезонний та короткотривалий ефекти використання палі.

**Формулювання цілей та завдання статті.** Оцінити можливість використання існуючих алгоритмів та методик проектування енергетичних палей на основі діючих методик для розрахунку ґрунтового колектору.

**Основна частина.** Технологія використання енергетичних палей є дуже перспективною для використання в громадському та комерційному секторі будівництва. Проектування такої системи вимагає більш високої кваліфікації та може призвести до суттєвих скорочень капітальних затрат і підвищення екологічної ситуації в світі в цілому.

Основним механізмом передачі тепла в ґрунті є молекулярна теплопровідність. Діапазон товщини ґрунту в якому спостерігаються добові та річні зміни температури називається діяльним шаром. Зміна температури ґрунту стратифікується та запізнюється в часі, так для прикладу, якщо максимальна температура поверхні досягається в липні, то на глибині 1 м. діяльного шару вона настане в серпні. На рисунку 1 зображено графік зміни температури в ґрунті протягом року [5].

За будь-який проміжок часу ділянка земної поверхні втрачає рівно стільки тепла, скільки його отримує. Фізичні механізми теплообміну можна виразити за допомогою рівняння теплового балансу земної поверхні [6]:

$$B=L \cdot E+P+A, \quad (1)$$

де  $B$  – радіаційний баланс земної поверхні [Дж],

$P$  – теплообмін земної поверхні з атмосферою [Дж],

$L \cdot E$  – витрати тепла на випаровування або надходження при конденсації водяної пари на діяльній поверхні [Дж],  $L$  – питома теплота випаровування, що дорівнює 2500 [Дж/г] або 2500 [кДж/кг],

$E$  – маса води, що випарувалась чи сконденсувалась [кг],  
 $A$  – теплообмін земної поверхні, пов'язаний з радіогенними потоками теплової енергії направленої з надр Землі[Дж].

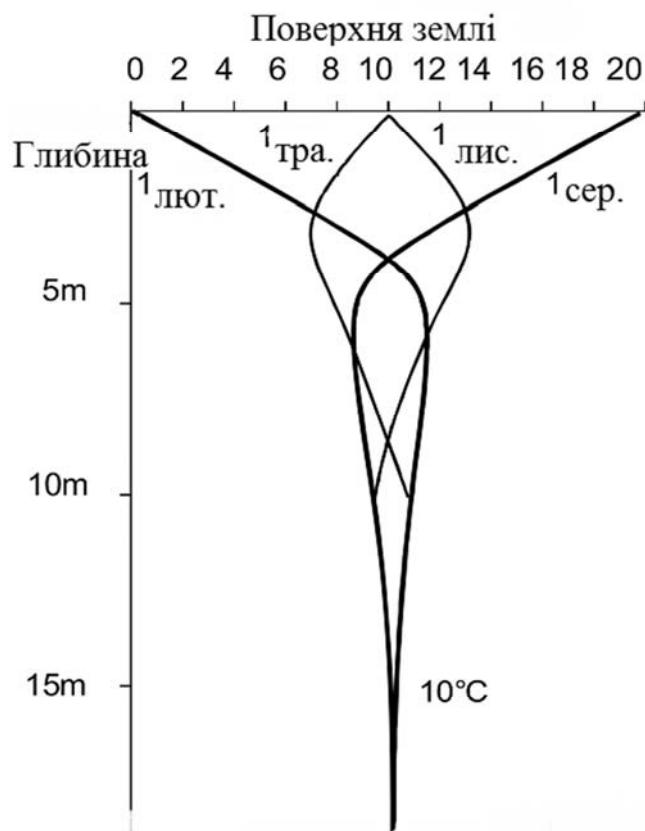


Рис. 1. Графік зміни температури в ґрунті

Проблема конструкції енергетичної палі для ТН полягає у постійній зміні температури ґрунту протягом року, оскільки енергетична палія впливає на температуру ґрунту передачею тепла або холоду.

ДСТУ Б В.2.7-214:2009 [7] не пов'язує вплив зміни температури при експлуатації палі на міцність бетону до 250 °С. Робочий діапазон температур енергетичної палі обмежується лише температурою теплоносія на виході з палі вище 0 °С, для запобігання обмерзання ґрунту та осідання породи. При впливі на конструкцію температури до 50 °С внутрішні напруження незначні та практично не призводять до зниження міцності бетону, при цьому термостійкість палі залишиться незмінною.

В роботі [8] рекомендується враховувати наступні фактори при проектуванні геотермального випарника ТН:

- Довготривалий ефект використання ґрунтового колектора – це зміна температури ґрунту протягом багатьох років. Цей ефект можна контролювати за допомогою створення моделі енергетичних палей з правильною щільністю розташування на основі балансу використання низькопотенційної енергії протягом року.

- Сезонний ефект. Протягом року енергетичне навантаження на палю змінюється і це буде впливати на щомісячну зміну температури ґрунту. Цей

ефект найбільше проявляється після закінчення зимового та літнього піків навантаження будівлі.

- Короткотривалий ефект. Фактичне навантаження (погодинне) на енергетичну палю буде впливати на температуру подачі тепло-холодоносія та впливати на здатність розсіювати температуру в ґрунті.

На основі цих факторів проводиться розрахунок довжини випарника для ТН відповідно до більшого з навантажень по теплу або холоду.

Дослідники Kavanaugh і Rafferty запропонували наступний метод визначення довжини ґрунтового теплообмінника ТН [9]:

Для кондиціонування:

$$L_c = \frac{q_a \cdot R_{ga} + (q_{lc} - 3.41 \cdot W_c) \cdot (R_b + PLF_m \cdot R_{gm} + R_{gd} \cdot F_{sc})}{(t_g - \frac{t_{wi} + t_{wo}}{2} - t_p)} \quad (2)$$

Для опалення:

$$L_c = \frac{q_a \cdot R_{ga} + (q_{lc} - 3.41 \cdot W_c) \cdot (R_b + PLF_m \cdot R_{gm} + R_{gd} \cdot F_{sc})}{(t_g - \frac{t_{wi} + t_{wo}}{2} - t_p)} \quad (3)$$

де  $L$  – довжина теплообмінника [м];

$q_a$  – середньорічне надходження тепла в ґрунт [Вт/год];

$q_{lh}$  – розрахункове теплове навантаження на будівлю [Вт/год];

$q_{lc}$  – розрахункове холодильне навантаження на будівлю [Вт/год];

$R_{ga}$  – термічний опір ґрунту, річний імпульс [ $m^2 \cdot K/Вт$ ];

$R_{gd}$  – термічний опір ґрунту, денний імпульс [ $m^2 \cdot K/Вт$ ];

$R_{gm}$  – термічний опір ґрунту, місячний імпульс [ $m^2 \cdot K/Вт$ ];

$R_b$  – термічний опір зонду [ $m^2 \cdot K/Вт$ ];

$t_g$  – температура охолодження ґрунту [ $^{\circ}C$ ];

$t_p$  – вплив температури зонду на сусідні свердловини [ $^{\circ}C$ ];

$t_{wi}$  – температура рідини на вході до теплового насосу [ $^{\circ}C$ ];

$t_{wo}$  – температура рідини на виході з теплового насосу [ $^{\circ}C$ ];

$t_g$  – температура ґрунту [ $^{\circ}C$ ];

$W_h$  – споживча ел. потужність при розрахунковому тепловому навантаженні [ $^{\circ}C$ ];

$W_c$  – споживча ел. потужність при розрахунковому холодильному навантаженні [ $^{\circ}C$ ];

$F_{sc}$  – короточасний коефіцієнт втрати тепла;

$PLF_m$  – місячний коефіцієнт часткового навантаження на будівлю.

Вище вказані рівняння дозволяють оцінити потрібну довжину ґрунтового теплообмінника для покриття теплових та холодильних навантажень. До розрахунку приймається більше з цих двох значень.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Запропонований метод визначення довжини ґрунтового теплообмінника є не прийнятним для

розрахунку енергетичних паль, оскільки не враховує зміну температури бетону палі та зміну теплового балансу землі в області палі.

Розрахункова модель енергетичної палі потребує глибокого довготривалого моделювання з урахуванням зміни радіаційного балансу. Мінімальна відстань між енергетичними палями, яка регламентується стандартом (10), потребує оптимізації та буде розроблена в подальших роботах. Планується, розробка універсальної методики розрахунку енергетичних паль на основі енергетичних балансів будівлі.

### Література

1. [Електронний ресурс] // Режим доступу – [http://studopedia.su/10\\_11353\\_doboviy-i-richniy-hodi-temperaturi-runtu-na-roverhni-ta-na-glibinah.html](http://studopedia.su/10_11353_doboviy-i-richniy-hodi-temperaturi-runtu-na-roverhni-ta-na-glibinah.html).
2. Системы использования тепла грунта. Техническая информация Raugeo 827600 RU17 [Текст] – ООО «Рехау», 2008, – 17 с.
3. Руководство по проектированию .Тепловые насосы [Текст]. – ООО «Виссманн», 2012. – 24с.
4. *Hellström G.* PC-Programs and Modeling for Borehole Heat Exchanger Design / *G. Hellström, B. Sanner.* – Proc. IGD 2001 Bad Urach, Supplement, ISS Skopje.
5. Руководство по проектированию и монтажу. Тепловые насосы для отопления и горячего водоснабжения [Текст]. – ООО «Димплекс», 2012. – 76с.
6. *Ткаченко Т. Г.,* АГРОМЕТЕОРОЛОГИЯ / *Т. Г. Ткаченко* // Навчальний посібник. – Х. : ХНАУ, 2015. – 67 с.
7. ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Бетони, методи визначення міцності за контрольними зразками, Київ, Мінрегіонбуд України, – 2010.
8. Geothermal Heat Pump Design Manual, McQuay International, 2002. – 8 с.
9. *Kavanaugh S. P.* Ground-Source heatpumps: Design of geothermal systems for commercial and institutional buildings / *S. P. Kavanaugh, K. Rafferty* // ASHRAE, Inc. Atlanta 1997.
10. Thermal Pile Design, Installation & Materials Standards. –Milton, UK, 2012. – 21 с.

### **ОЦЕНКА МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СВАЙ НА ОСНОВЕ ГОДОВОГО БАЛАНСА ТЕПЛОВЫХ И ХОЛОДИЛЬНЫХ НАГРУЗОК ЗДАНИЯ**

*Кузицкий И. Т., Кулинка Е. О.*

В работе раскрыты и оценены возможности использования стандартных методик проектирования грунтовых коллекторов для энергетических свай. Показаны основные факторы, которые нужно учитывать при разработке модели энергетической сваи и приведены существующие методики проектирования.

В конце статьи описано нерешенные вопросы эффективного проектирования энергетических свай и приведены дальнейшие шаги для исследования этой сферы.

**ASSESSMENT METHODS OF DESIGNING FOR ENERGY PILES  
BASED ON ANNUAL BALANCE OF HEATING AND COOLING  
BUILDINGS LOADING**

*I. Kuzytskyi, E. Kulinko*

In the article was disclosed and evaluated the possibility of using standard methods of designing ground loops for energy piles. The main focus was placed on main factors, which are needed to consider when designing energy piles and showed existing methods of calculation.

Finally, this article describes the unresolved issues of efficient energy piles design and driving are the next steps for research in this area.