

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

БОЖКО ІГОР КОСТЯНТИНОВИЧ



УДК 628.884: 536.24

КОМБІНОВАНА ТЕПЛОНАСОСНА СИСТЕМА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ НА
ОСНОВІ ҐРУНТОВИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ

Спеціальність 05.23.03 – Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Інституті технічної теплофізики Національної академії наук України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор, член-кореспондент НАН України
БАСОК БОРИС ІВАНОВИЧ
завідувач відділу теплофізичних основ енергоощадних технологій Інституту технічної теплофізики НАН України.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
ЖЕЛИХ ВАСИЛЬ МИХАЙЛОВИЧ
завідувач кафедри теплогазопостачання та вентиляції Національного університету «Львівська політехніка».

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
ЖОВМІР МИКОЛА МИХАЙЛОВИЧ
старший науковий співробітник відділу відновлюваних органічних енергоносіїв Інституту відновлюваної енергетики НАН України.

Захист дисертації відбудеться «14» березня 2018 року о 13-й годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.056.07 при Київському національному університеті будівництва і архітектури за адресою: 03037, м. Київ, Повітрофлотський просп., 31, ауд. 466.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Київського національного університету будівництва і архітектури за адресою: 03037, м. Київ, Повітрофлотський просп., 31.

Автореферат розісланий «05» лютого 2018 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 26.056.07
кандидат технічних наук, професор

Довгалюк В.Б

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У відповідності до вимог Енергетичної стратегії України на період до 2030 р., розробленої Міністерством енергетики та вугільної промисловості України, все більшої актуальності набувають розробка та впровадження комбінованих високоефективних теплонасосних систем теплопостачання на основі відновлюваних джерел енергії. Комбінована – система теплопостачання, до складу якої входить декілька джерел теплової енергії (традиційних або відновлюваних). Призначення таких систем – компенсація тепловтрат через зовнішні огорожувальні конструкції, забезпечення роботи систем припливно-витяжної вентиляції та гарячого водопостачання споживачів.

Комбіновані теплонасосні системи теплопостачання орієнтовані на використання низькотемпературних опалювальних приладів – водяних «теплих підлог», настінних та теплообмінників, вмонтованих в будівельні конструкції. Такі опалювальні прилади характеризуються невисокою робочою температурою теплоносія (до 40 °С), але при цьому, мають розвинену площу. Основний механізм передачі теплоти – вільна конвекція повітря (70%) уздовж теплообмінної поверхні з поступовим перемішуванням його в об'ємі приміщення.

Важливим кроком при розробці комбінованої теплонасосної системи теплопостачання є вибір типу теплового насоса. Дослідження показують, що для І-ї кліматичної зони України, доцільно використовувати теплові насоси типу «грунт – вода». Це пояснюється тим, що шари ґрунту, нижче глибини промерзання мають стабільну температуру, близько +8 °С. Таким чином, тепловий насос використовує джерело низькопотенційної теплоти з практично постійним потенціалом, що дозволяє досягти високого рівнозначного коефіцієнта перетворення енергії ($COP \geq 3,0$) протягом всього опалювального періоду. Для комбінованих теплонасосних систем теплопостачання застосовуються два основних типи ґрунтових теплообмінників – горизонтальної або вертикальної орієнтації.

При використанні горизонтальних ґрунтових теплообмінників неглибокого залягання основною проблемою є відсутність вітчизняних стандартизованих методик розрахунку їх теплотехнічних характеристик. Таким чином, на даний момент такі теплообмінники проектують та впроваджують без теплофізичного обґрунтування їх оптимальних робочих параметрів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана у відповідності до держбюджетної програми “Екологічно чиста енергетика та енергозберігаючі технології”, і тісно пов'язана з планами держбюджетної тематики Інституту технічної теплофізики за замовленням НАН України (Державні реєстраційні номери №0112U000296; 0113U008041; 0115U003363).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є комплексні дослідження гідродинаміки та теплообміну в низькотемпературному ґрунтовому контурі теплонасосної системи і, на їх основі, розробка та впровадження теплонасосних систем теплопостачання на основі ґрунтових теплообмінників для енергоефективних будинків та визначення оптимальних режимів роботи розроблених систем.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі дослідження:

- провести аналіз існуючих комбінованих теплонасосних систем теплопостачання та відомих конструкцій ґрунтових теплообмінників;
- розробити двовимірну модель горизонтального ґрунтового колектора та визначити його оптимальну конструкцію;
- розробити тривимірну модель нестационарного теплообміну та гідродинаміки теплоносія в горизонтальному ґрунтовому колекторі для дослідження його роботи та визначення теплотехнічних характеристик;
- розробити принципову схему та дослідити роботу системи теплопостачання на основі теплового насоса «ґрунт-вода»;
- розробити та дослідити систему тепло (холодо) захисту огорожувальних конструкцій будинків на основі повітряної теплової завіси;
- розробити комбіновану теплонасосну систему теплопостачання енергоефективного будинку та виконати аналіз роботи низькотемпературних опалювальних приладів на основі дослідження теплового режиму типового приміщення;
- створити методичку інженерного розрахунку основних параметрів горизонтальних ґрунтових теплообмінників неглибокого залягання.

Об'єкти дослідження – тепловий режим приміщень типової будівлі панельно-каркасного типу та енергоефективного будинку.

Предмет дослідження – процеси гідродинаміки та теплообміну в елементах низькотемпературного контуру теплонасосних систем теплопостачання.

Методи дослідження. Вирішення поставлених задач здійснювалось сучасними методами фізичного та комп'ютерного моделювання. Використовувались також експериментальні лабораторні та промислові дослідження з використанням автоматизованого вимірювального комплексу із подальшим зіставленням отриманих результатів.

Наукова новизна одержаних результатів:

- обґрунтована двовимірною моделлю теплообміну в системі теплоносії - колектор - ґрунтовий масив, яка враховує інсоляцію та дозволяє дослідити роботу горизонтального багатопетлевого ґрунтового акумулятора і встановити його оптимальну геометрію;
- на основі адаптованої тривимірної моделі нестационарного теплообміну і гідродинаміки теплоносія в горизонтальному ґрунтовому колекторі розроблено умови та режим сезонного вилучення теплоти ґрунту;
- на основі експериментальних даних отримані залежності теплового стану ґрунтового масиву та параметри роботи горизонтального ґрунтового колектора в різних режимах експлуатації теплонасосної системи теплопостачання;
- оцінений вплив роботи теплонасосних систем теплопостачання на тепловий режим типових приміщень в будівлях з різними огорожувальними конструкціями та опалювальними приладами.

Практичне значення одержаних результатів. В роботі розроблена та досліджена система тепло (холодо) захисту огорожувальних конструкцій будинків за допомогою повітряної теплової завіси та ґрунтового теплообмінника трубчатого типу і експериментально обґрунтоване застосування теплообмінників типу «ґрунт-

повітря» з метою зменшення градієнта температури в стінах та зниження теплових втрат будинку через огорожувальні конструкції.

Розроблено комбіновану теплонасосну систему теплопостачання на основі ґрунтових теплообмінників, що в своєму складі має тепловий насос, сонячні теплові колектори та резервний твердопаливний котел. Така система може використовуватись при будівництві нових та при термомодернізації існуючих приватних будинків, закладів соціально-бюджетної сфери та громадських будівель.

Розроблена методика інженерного розрахунку основних параметрів горизонтальних ґрунтових колекторів неглибокого залягання, з використанням ґрунтових теплообмінників в складі системи кондиціонування повітря для відновлення теплового стану ґрунтового масиву в літній період.

Результати роботи впроваджені в робочих проектах ТОВ «ЕНЕРГО ТЕПЛО ІНЖИНІРИНГ» (м. Київ) та ТОВ «Центр Водочищення» (м. Київ).

Особистий внесок здобувача. Наукові результати, які викладені в дисертації, отримано особисто автором на основі аналізу літературних та патентних джерел і результатів дослідних даних. Здобувачем вдосконалено теплофізичну модель нестационарного теплообміну та гідродинаміки теплоносія в горизонтальних багатопетлевих трубних ґрунтових системах та визначені оптимальні умови сезонного вилучення теплоти ґрунту [7, 12]. Автором досліджено роботу горизонтального ґрунтового колектора неглибокого залягання при роботі теплового насоса [9, 11]. Здобувач експериментально дослідив роботу системи тепло (холодо) захисту огорожувальних конструкцій пасивного будинку на основі повітряної теплової зависи [6, 15]. Автором дисертації розроблено комбіновану теплонасосну систему теплопостачання пасивного будинку та досліджено роботу різноваріантних низькотемпературних опалювальних приладів [1-5, 8, 10, 13, 14].

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертаційної роботи та її основні положення доповідалися та обговорювалися: на VIII - X Міжнародних конференціях «Проблеми промислової теплотехніки» (ІТТФ НАН України, м. Київ, 2013 - 2017); Міжнародній науково-технічній конференції «Енергоефективність-2014» (ІТМО, м. Мінськ, 2014); II Всеукраїнській науково-технічній конференції «Енергоефективність у будівництві. Сучасні конструктивні системи, ефективні матеріали та інженерне обладнання» (ДП НДІБК, м. Київ, 2014); V - VII Міжнародних науково-практичних конференціях «Енергоінтеграція» (КНУБА, м. Київ, 2015-2017); XVI Всеукраїнській науково-технічній конференції «Актуальні проблеми енергетики та екології» (ОНАХТ, м. Одеса, 2016).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 15 друкованих робіт, в т.ч. 13 у фахових виданнях, з них 2 у міжнародних виданнях, одержано 2 патенти України на корисну модель.

Обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів основної частини, загальних висновків, списку використаних джерел з 150 найменувань та 2 додатків на 7 сторінках. Робота викладена на 166 сторінках, містить 79 рисунків та 11 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі наводиться обґрунтування актуальності теми дисертаційної роботи та її зв'язок з науковими програмами і пріоритетними напрямками розвитку науки в альтернативній енергетиці, сформульовані мета та завдання дослідження, викладені наукова новизна та практичне значення одержаних результатів, відмічений особистий внесок автора роботи, відомості про апробацію досліджень та публікації, структури та обсягу дисертації.

У першому розділі представлений аналіз комбінованих теплонасосних систем теплопостачання, а також методів сезонного акумулювання теплової енергії для функціонування теплових насосів. Визначені основні переваги застосування горизонтальних ґрунтових акумуляторів теплоти. Показані основні проблеми при експериментальному дослідженні та теплофізичному моделюванні роботи горизонтальних ґрунтових теплообмінників.

Дослідження проблем ґрунтового акумулювання теплової енергії вивчали такі вчені: О. Ібрагім, Х. Есен, М. Іналліб, А.І. Накорчевський, М.К. Безродний, Ц. Гуть'єр, Дж. Флорідс, Г.П. Васильєв та ін. Однак ці дослідження не вичерпують потреби у вдосконаленні існуючих та створенні нових методик розрахунку основних теплотехнічних параметрів роботи горизонтальних ґрунтових теплообмінників та їх застосуванні у складі теплонасосних систем теплопостачання.

Проведений аналіз відомих даних теоретичних та експериментальних досліджень комбінованих теплонасосних систем теплопостачання, та їх окремих складових частин, дав можливість дійти висновку про необхідність розробки та дослідженні роботи системи теплопостачання, до складу якої входять різні за конструктивним виконанням низькотемпературні опалювальні прилади та ґрунтові теплообмінники-джерела низькопотенційної теплоти для теплового насоса. Враховуючи сучасний стан розглянутої проблеми, сформульовані основні завдання, що виконані у цій роботі.

Другий розділ присвячений викладенню результатів теоретичного дослідження роботи горизонтального ґрунтового колектора, що проводилися на основі двох підходів. Перший – на основі двовимірної моделі для дослідження багаторічної роботи ґрунтового колектора і визначення оптимального кроку труб в цьому колекторі. Другий підхід – за допомогою тривимірної моделі гідродинаміки та теплообміну в горизонтальному ґрунтовому колекторі в повній постановці для більш детального аналізу нестационарного теплообміну і гідродинаміки теплоносія в горизонтальних багатопетлевих трубних системах.

При застосуванні двовимірної моделі розглядався ґрунтовий акумулятор теплоти, обладнаний горизонтальною трубною системою (рис. 1) з кроком між трубами $L = 0,5 \div 1,5$ м. Розрахункова глибина масиву складала $H = 18$ м. У наведених нижче розрахунках теплофізичні властивості ґрунту були прийняті для підзолистих ґрунтів.

Основною слід вважати центральну зону 3, що характеризує теплові процеси які справедливі для більшої частини трубної системи. Приймається, що теплосприйнят-

тя системою буде невеликим і перепад температур теплоносія на вході в систему і виході з неї не перевищить декілька градусів Цельсія.

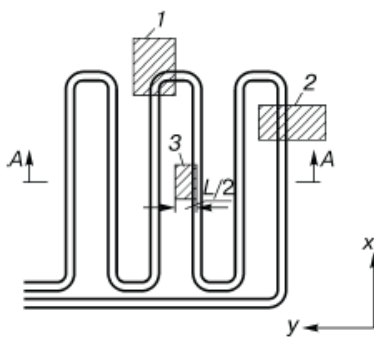


Рис. 1. (зверху) Конструкція горизонтального ґрунтового колектора неглибокого закладання.

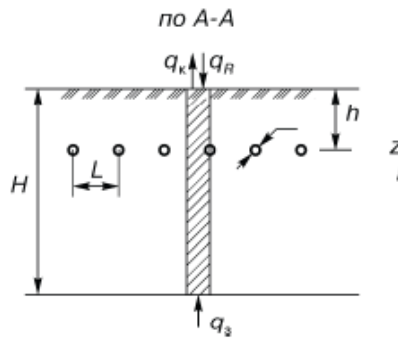
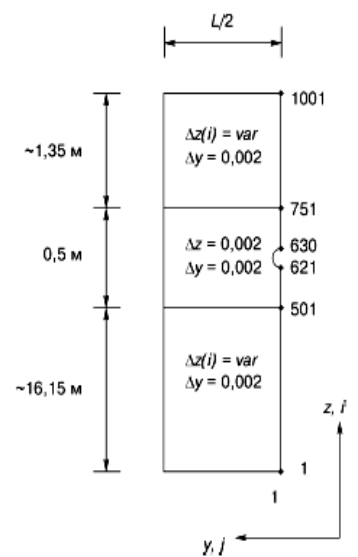


Рис. 2. (праворуч) Розрахункова область горизонтального ґрунтового колектора неглибокого залягання



Таким чином, обчислені для зони 3 теплові параметри допустимо приймати такими, що відповідають середнім значенням для всієї трубної системи при досить невеликих їх відхиленнях на кінцях системи. Міра відхилень встановлюється балансовим тепловим розрахунком.

Для моделювання роботи горизонтального ґрунтового колектора була складена система рівнянь в просторово двовимірній постановці (y, z) , яка складається з: рівняння теплопровідності ґрунтового масиву (1); граничних умов третього роду на поверхні ґрунту (2); рівняння теплопровідності для визначення температурного поля поліетиленової труби (3); граничних умов третього роду на поверхні контакту поліетиленової труби з теплоносієм (4); коефіцієнта тепловіддачі α_m від внутрішньої поверхні труби колектора до теплоносія (5); граничних умов четвертого роду на зовнішній поверхні труби, що контактує з ґрунтом (6) та теплових потоків на зовнішній поверхні труби (7):

$$\frac{\rho_m c_m}{\lambda_m} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right), \quad (1)$$

$$-\lambda_m \left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{z=0} = \alpha_\kappa [T(t, 0, y) - T_n(t)] + c_0 \varepsilon \left[\left(\frac{T(t, 0, y)}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{amb}(t)}{100} \right)^4 \right] - q_s(t) \quad (2)$$

$$\frac{\rho_n c_n}{\lambda_n} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right), \quad (3) \quad -\lambda_n \left. \frac{\partial T}{\partial n} \right|_{\text{вн}} = \alpha_m (T_{\text{вн}} - T_m), \quad (4)$$

$$\frac{\alpha_m d}{\lambda_m} = 0,021 \text{Re}^{0,8} \text{Pr}_m^{0,43} (\text{Pr}_m / \text{Pr}_w)^{0,25}, \quad (5)$$

$$-\lambda_n \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{z=0} = -\lambda_m \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{z=0} ; \quad -\lambda_n \left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{z=0} = -\lambda_m \left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{z=0}, \quad (6)$$

$$q_y = -\frac{T_b - T_a}{\frac{s_{bd}}{\lambda_m} + \frac{\Delta y - s_{bd}}{\lambda_n}} ; \quad q_z = -\frac{T_c - T_a}{\frac{s_{ce}}{\lambda_m} + \frac{\Delta z - s_{ce}}{\lambda_n}}. \quad (7)$$

Задача теплопереносу в ґрунтовому масиві розв'язується методом скінчених різниць. Крок сітки по горизонтальній координаті y прийнятий незмінним $\Delta y = 0,002$ м. Крок сітки по вертикальній координаті z в околиці труби (рис. 2) приймається таким самим ($\Delta z = 0,002$ м), а за межами вказаної ділянки – змінним, але таким, що забезпечує сумарну глибину розрахункової області $H = 18$ м. Чисельне розв'язання системи різницевих рівнянь здійснювалося за неявною скінчено-різницевою схемою з застосуванням методу прогонки.

На рис. 3 показано результати розв'язання рівнянь (1-7). Приводиться розподіл температур в околиці труби через місяць після початку роботи системи опалення (а), для середини опалювального сезону (б) і за місяць до його закінчення (в) на четвертий рік роботи системи. Глибина закладання колектора $h = 1,6$ м, крок між трубами складає $L = 0,5$ м. Початок координат відповідає точці, розташованій уздовж осі труби ($y = 0$) на $0,2$ м нижче її центру. Максимальне значення осі ординат відповідає значенню $y_{max} = L/2$.

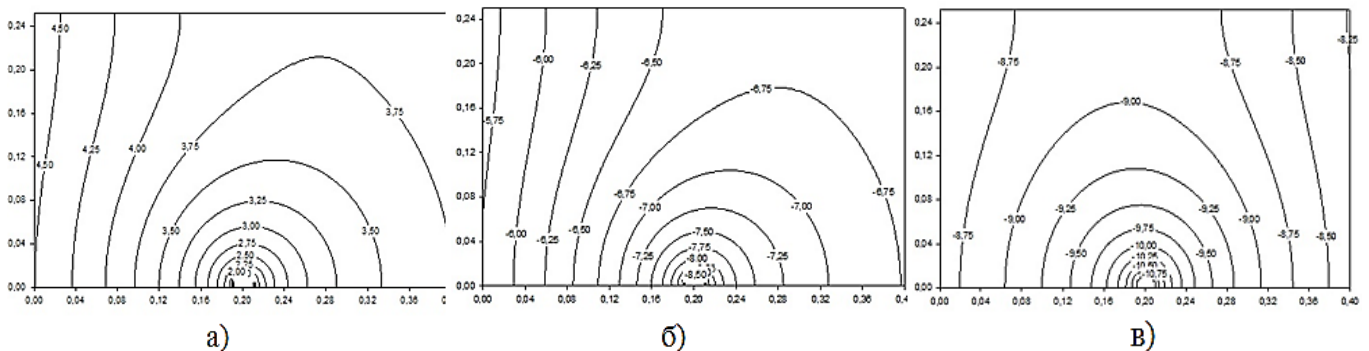


Рис. 3. Розподіл температури в ґрунтовому масиві при роботі горизонтального ґрунтового колектора: а) для 15 листопада; б) для 15 січня; в) для 15 березня

Далі, розглядається тривимірна модель гідродинаміки та теплообміну в системі «ґрунт - горизонтальний ґрунтовий теплообмінник – теплоносій» в повній постановці.

Розглядається розрахункова область (рис. 1), що має форму прямокутного паралелепіпеда зі сторонами x_{max} , y_{max} і z_{max} . На глибині h ($z=1,65$ м) розглянутої області розташовується горизонтальний плоский трубчастий змієвиковий теплообмінник (ґрунтовий колектор) з циркулюючим теплоносієм. Значення x_{max} , y_{max} і z_{max} , вибирались так, щоб процеси теплопереносу до ґрунтового колектора мінімально впливали на температурні умови на границях розрахункової області.

Тривимірна модель гідродинаміки та теплообміну в системі «ґрунт - горизонтальний ґрунтовий теплообмінник – теплоносій» в повній постановці (x, y, z) складається з: рівняння теплопровідності, яке описує температурне поле ґрунтового масиву (8); граничних умов третього роду на поверхні ґрунту (2); граничних умов третього роду, які відображають характер теплової взаємодії ґрунту з повітряним середовищем на межах розрахункової області (9); граничних умов для ґрунтового масиву при функціонуючому колекторі (10); рівняння теплопереносу в циліндричному каналі колектора (11); граничних умов четвертого роду на внутрішній (12) і зовнішній поверхнях стінки каналу (13); рівняння теплопровідності для стінки труби колектора (14):

$$c_z \rho_z \frac{\partial T_z}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_z \frac{\partial T_z}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_z \frac{\partial T_z}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_z \frac{\partial T_z}{\partial z} \right); \quad (8)$$

$$\left. \frac{\partial T_z}{\partial z} \right|_{z=-z_{\max}} = 0, \quad \left. \frac{\partial T_z}{\partial x} \right|_{x=0, x_{\max}} = 0, \quad \left. \frac{\partial T_z}{\partial y} \right|_{y=0, y_{\max}} = 0; \quad (9)$$

$$T_z \Big|_{z=-z_{\max}} = T_0(\tau, -z_{\max}), \quad (10)$$

$$T_z \Big|_{x=0, x_{\max}} = T_z \Big|_{y=0, y_{\max}} = T_0(\tau, z);$$

$$c_{жс} \rho_{жс} \left(\frac{\partial T_{жс}}{\partial \tau} + u_l(r) \frac{\partial T_{жс}}{\partial l} \right) = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda_{жс} r \frac{\partial T_{жс}}{\partial r} \right), \quad u_l(r) = \frac{2G}{\pi R_0^2} \left[1 - \left(\frac{r}{R_0} \right)^2 \right]; \quad (11)$$

$$-\lambda_{жс} \frac{\partial T_{жс}}{\partial r} \Big|_{r=R_0} = -\lambda_c \frac{\partial T_c}{\partial r} \Big|_{r=R_0}, \quad T_{жс} \Big|_{r=R_0} = T_c \Big|_{r=R_0}; \quad (12)$$

$$-\lambda_c \frac{\partial T_c}{\partial r} \Big|_{r=R_1} = -\lambda_z \frac{\partial T_z}{\partial r} \Big|_{r=R_1}, \quad T_c \Big|_{r=R_1} = T_z \Big|_{r=R_1}; \quad (13)$$

$$c_c \rho_c \frac{\partial T_c}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda_c r \frac{\partial T_c}{\partial r} \right). \quad (14)$$

Початкові умови для поставленої задачі задаються у вигляді $T_z(0, z, y, x) = T_0(0, z)$. Функція $T_0(0, z)$ характеризує розподіл температури по глибині ґрунтового масиву в момент початку експлуатації колектора ($T = 0$). Температура теплоносія в каналі колектора, а також температура його стінок вважаються при $\tau = 0$ рівними температурі ґрунту на глибині $z = -h$. Рівняння теплопровідності для ґрунтового масиву (зовнішня задача) і рівняння теплопереносу в каналі (внутрішня задача) вирішуються окремо.

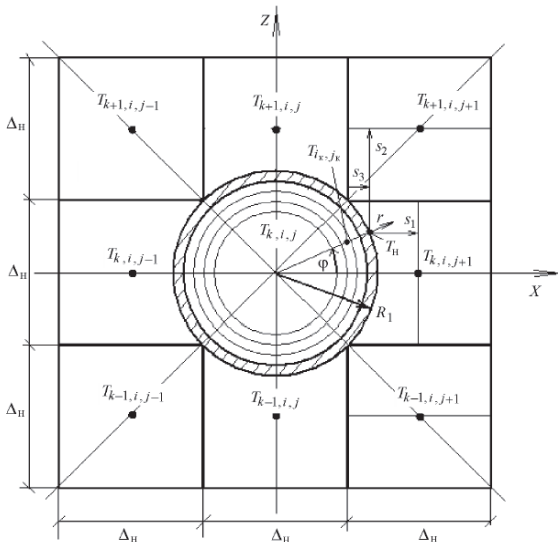


Рис. 4. Фрагмент розрахункової сітки поблизу поверхні каналу

ють $\Delta_H = R_1 \sqrt{2}$. Фрагмент перетину розрахункової сітки поблизу поверхні каналу зображено на рис. 4. Нижче приводяться результати розрахунків температурного стану горизонтального ґрунтового колектора.

Узгодження одержуваних рішень здійснюється шляхом задоволення умовам спряження (12) і (13), що задаються на внутрішній і зовнішній поверхнях стінок каналу. Для чисельного рішення рівняння теплопереносу в ґрунтовому масиві (8) використовується різницєва сітка, що складається з елементів у формі прямокутних паралелепіпедів зі змінними довжинами сторін.

Вузли сітки розташовуються в центрах елементів. Форму, відмінну від зазначеної, мають елементи, що безпосередньо примикають до зовнішньої поверхні стінки каналу.

Лінійні розміри таких елементів сітки в поперечних перетинах мінімальні і дорівнюють

Горизонтальний ґрунтовий колектор розташований на глибині 1,65 м на території ІТТФ НАН України. Розрахункова область має розміри $x_{max}=17$ м, $y_{max}=34$ м, $z_{max}=7$ м. Загальна довжина труби колектора складає 269 м. Внутрішній діаметр поліетиленової труби $d_{вн}=0,028$ м. Товщина стінки труби $\delta=0,002$ м. Теплоносій – 30% водяний розчин поліпропіленгліколю. Витрата теплоносія складає $G=0,756$ м³/год.

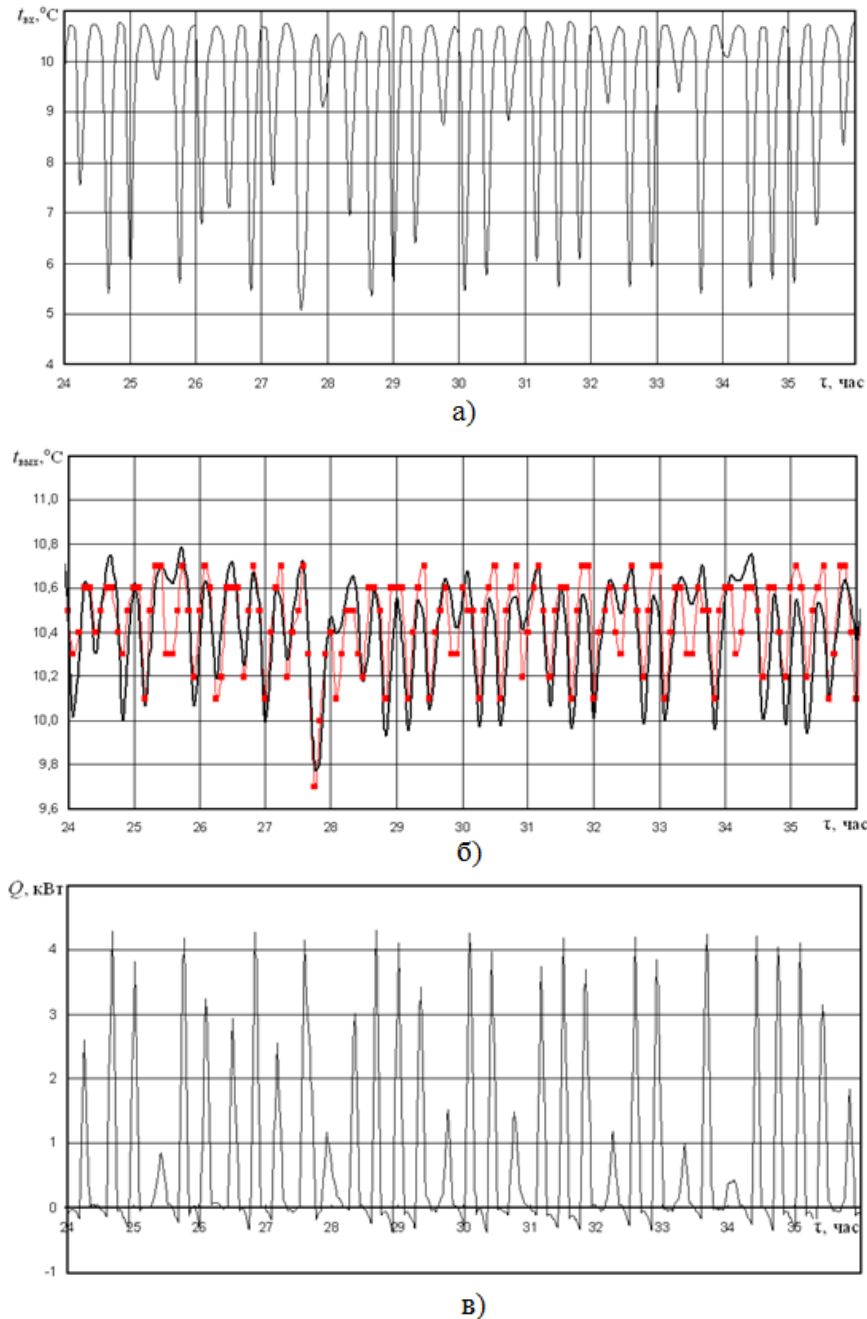


Рис. 5. Зміна за період $\tau = 24 \dots 36$ годин: а) температури теплоносія на вході в колектор (експеримент); б) температури теплоносія на виході з колектора (червоним – експеримент, чорним – розрахунок); в) теплового потоку, який надійшов до теплоносія (розрахунок)

Висновок, що дана модель працює адекватно і її можливо використовувати для розрахунків горизонтальних ґрунтових колекторів неглибокого закладення.

Температура теплоносія на вході в колектор визначається з експерименту та задається, як вихідна умова для розв'язання задачі теплопереносу.

Температура теплоносія на виході з колектора визначається розрахунковим шляхом за результатами розв'язання задачі чисельного моделювання. Її значення порівнюється з даними експериментальних досліджень, що отримані за допомогою вимірювального комплексу.

При роботі теплового насоса у поєднанні з горизонтальним ґрунтовим колектором, температура теплоносія на вході та виході з колектора постійно змінюється. Це є наслідком періодичної роботи теплового насоса. Температура теплоносія на вході в колектор регулюється автоматично за даними вимірювання температури повітря в приміщенні. Як видно з рис. 5б, результати розрахунків температури на виході з колектора задовільно узгоджуються з експериментальними даними. Таким чином, робимо висно-

З рис. 5в також видно, що значення теплового потоку Q , який надходить від ґрунтового масиву до теплоносія, суттєво змінюється у часі. Максимальне значення становить ~ 4 кВт. В періоди відключення теплового насосу спостерігається інверсія теплового потоку. При цьому, температура теплоносія перевищує температуру шарів ґрунту, що були охолоджені під час роботи теплового насосу.

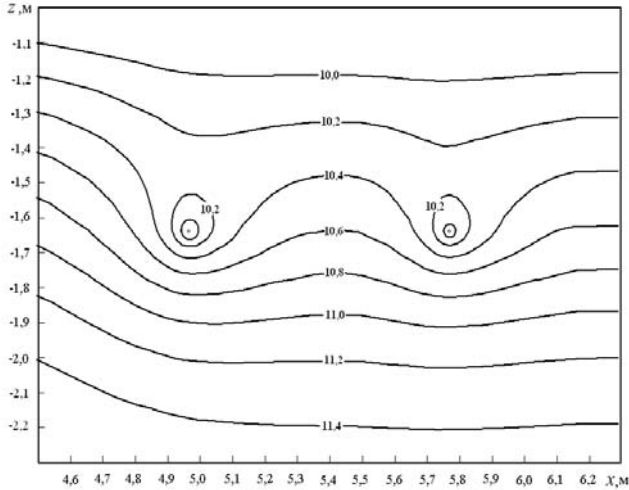


Рис. 6. Розподіл температури у вертикальному перерізі ґрунтового масиву в момент часу $\tau=54$ години

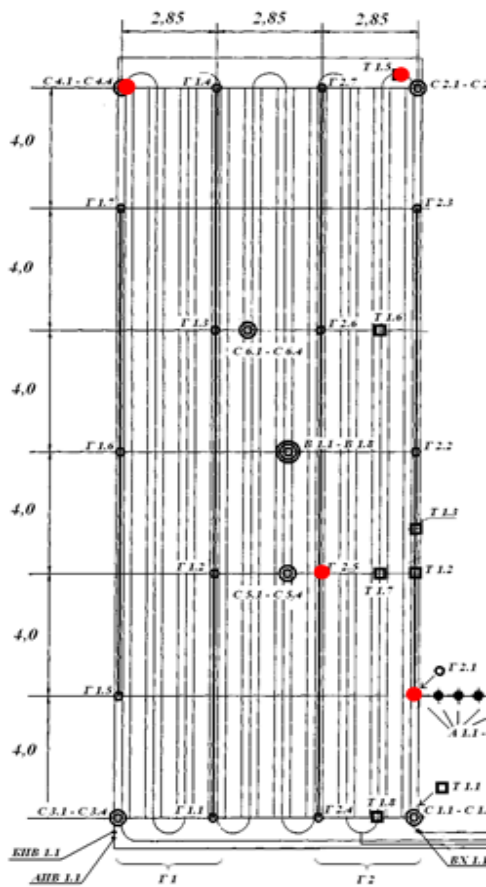


Рис. 7. Конструкція ґрунтового колектора і схема розташування датчиків температури.

Температурне поле у вертикальному розрізі ґрунтового масиву представлено на рис. 6. Як видно з цього рисунку, на глибині масиву, де прокладено ґрунтовий колектор, спостерігається суттєва деформація температурного поля ґрунтового масиву. Ізотерми на ділянках залягання петель колектора мають вигляд концентричних кіл. При $z < 2,2$ вплив колектора на розподіл температури в масиві практично не відзначається.

У третьому розділі розглянуто створений на території Інституту технічної теплофізики НАН України горизонтальний ґрунтовий колектор (акумулятор) неглибоко залягання та проаналізована його робота в складі теплонасосної системи теплопостачання лабораторного приміщення при використанні опалювального приладу – водяної «теплої підлоги».

На рис.7 показано горизонтальний ґрунтовий колектор, за допомогою якого реалізується процес вилучення природної низькопотенціальної теплоти ґрунту. Конструкція колектора була розроблена на основі даних отриманих шляхом математичного моделювання.

Горизонтальний ґрунтовий колектор виконано у вигляді змійовика з п'яти петель полімерних труб ПЕ-80 $\varnothing 32 \times 2$ мм довжиною 24 м. Відстань між осями труб становить 0,95 м. Середня глибина залягання – 1,65 м. Площа теплообмінної по верхні ґрунтового колектора складає $19,77 \text{ м}^2$.

З метою оцінки технологічних характеристик ґрунтового колектора та отримання експериментальних даних при дослідженні його роботи, в об'ємі ґрунтового масиву була проведена установка 31-го термоперетворювача опору ТСМ-205 (рис. 7).

Червоним показані місця встановлення характерних датчиків температури, дані яких приводяться в дисертаційній роботі.

На рис. 8 наведені експериментальні дані дослідження теплового стану ґрунту, які були отримані в період з 11 по 17 листопада 2014 року. Пульсації температури на глибині 1,65 м пояснюються тим, що датчик температури був прикріплений поздовжньо до зовнішньої поверхні труби колектора. Як видно, зниження температури зовнішнього повітря і робота ґрунтового колектора мають незначний вплив на тепловий стан ґрунту на глибині 2,65 м.

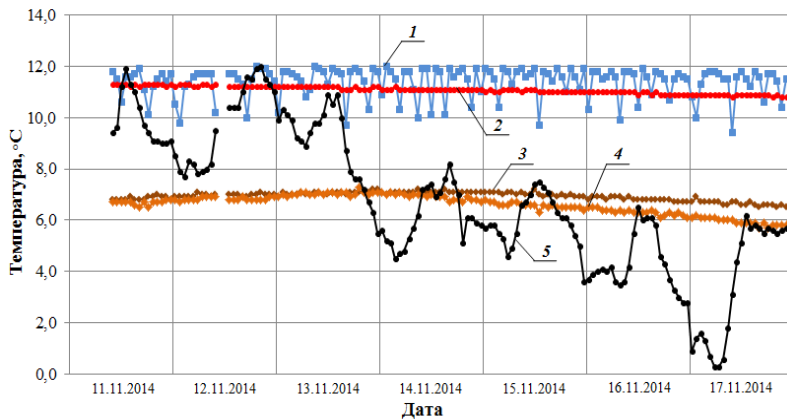


Рис. 8. Температура в ґрунтовому колекторі, тут:

1 – температура ґрунту на глибині 1,65 м; 2 – температура ґрунту на глибині 2,65 м; 3 – температура ґрунту на глибині 0,4 м на вході в колектор; 4 – температура ґрунту на глибині 0,4 м на виході з колектора; 5 – температура навколишнього повітря.

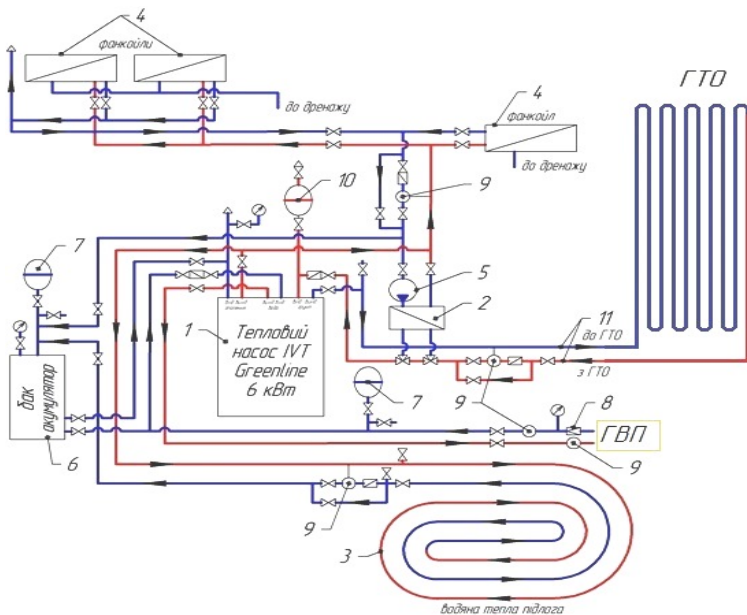


Рис. 9. Принципова гідравлічна схема теплонасосної системи опалення

установки, що були отримані 17 листопада 2014 року з 00-00 до 01-00 год.

У холодний період року тепловий насос використовується для водяного 3 (система типу водяна «тепла підлога») або повітряного опалення 4 (вентиляторний доводчик тепловою потужністю 3,8 кВт), і гарячого водопостачання окремого лабораторного приміщення площею 18 м², одночасно з повітряним опаленням 4 (2 вентиляторних доводчика сумарною тепловою потужністю 7,6 кВт) приміщення площею 54 м² адміністративної будівлі панельно-каркасного типу, а також для кондиціонування останнього за допомогою вентиляторних доводчиків у теплий період року. В опалювальний період відбувається відбір теплової енергії в ґрунтовому колекторі потужністю до 3,6 кВт, при цьому, середній по довжині, коефіцієнт теплопередачі склав 36,4 Вт/(м²·К).

За допомогою вимірювального комплексу визначалися і фіксувалися в автоматичному режимі в реальному часі основні параметри системи «ґрунтовий колектор – тепловий насос – водяна «тепла підлога». На рис. 10 наведені експериментальні дані роботи теплонасосної

Як видно, інтервал роботи теплового насоса становить 20 хвилин, з яких компресор працює тільки 5 хвилин, 15 хвилин відбувається поступове охолодження бака-акумулятора теплового насоса завдяки вилученню з бака і корисного використання теплоти.

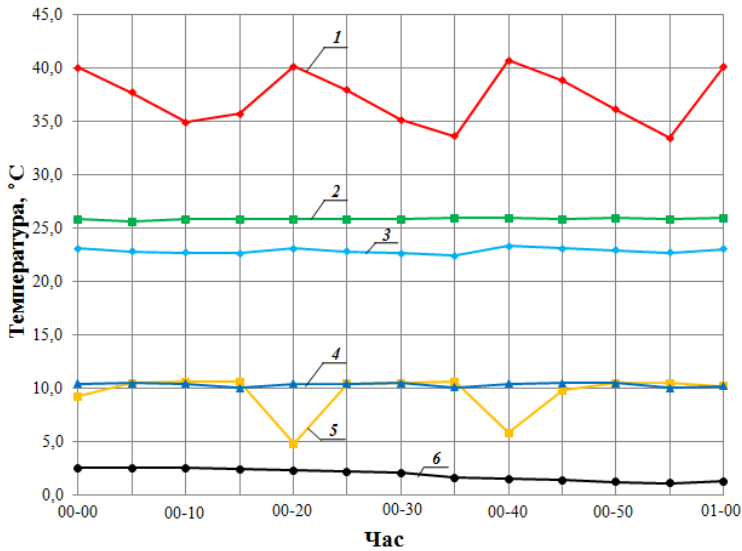


Рис. 10. Температура в основних контурах теплонасосної установки, тут:

1 – температура теплоносія на вході в водяну «теплу підлогу»; 2 – температура поверхні керамічної плитки підлоги; 3 – температура теплоносія на виході з водяної «теплої підлоги»; 4 – температура пропіленгліколя на виході з ґрунтового колектора; 5 – температура пропіленгліколя на вході в ґрунтовий колектор; 6 – температура навколишнього повітря.

В період охолодження бака-акумулятора теплового насоса, помітне незначне зниження температури теплоносія на вході у водяну «теплу підлогу», що має незначний вплив на температуру в приміщенні.

Був розрахований середній за опалювальний період коефіцієнт перетворення теплового насоса, який склав $COP=3,34$, що є прийнятним результатом для кліматичних умов м. Києва.

У четвертому розділі розглянуто створену, на основі підходів, викладених у попередніх розділах, комбіновану теплонасосну систему теплопостачання на основі ґрунтових теплообмінників, яка розроблена у 2015р. та з 2016р. забезпечує потреби в опаленні, кондиціонуванні та гарячому водопостачанні енергоефективного будинку на території Інституту технічної теплофізики НАН України.

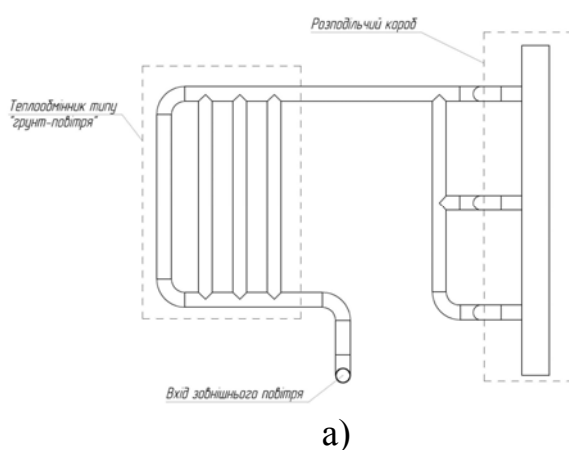


Рис. 11. Принципова схема теплової завіси (а) та теплообмінник типу «ґрунт – повітря» (б)

Для зменшення тепловтрат будинку була розроблена і реалізована система тепло (холодо) захисту огорожувальних конструкцій будинку. Повітря з оточуючого середовища, надходить у ґрунтовий теплообмінник, проходячи через нього, відбирає

теплоту ґрунту і нагрівається (рис. 11). Далі поступає в розподільчий короб, а потім, рухається по організованому в тепловій ізоляції простору шириною 50 мм. Далі, відпрацьоване повітря проходить вздовж стіни та викидається в навколишнє середовище. При цьому, ґрунтовий теплообмінник розташовано горизонтально нижче глибини промерзання ґрунту.

Результати проведених експериментів по визначенню теплотехнічних характеристик багатоходового теплообмінника типу «ґрунт - повітря» у холодний період року, при температурі повітря на вході $+3,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ та температурі ґрунту $+8,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, показані на рис.12.

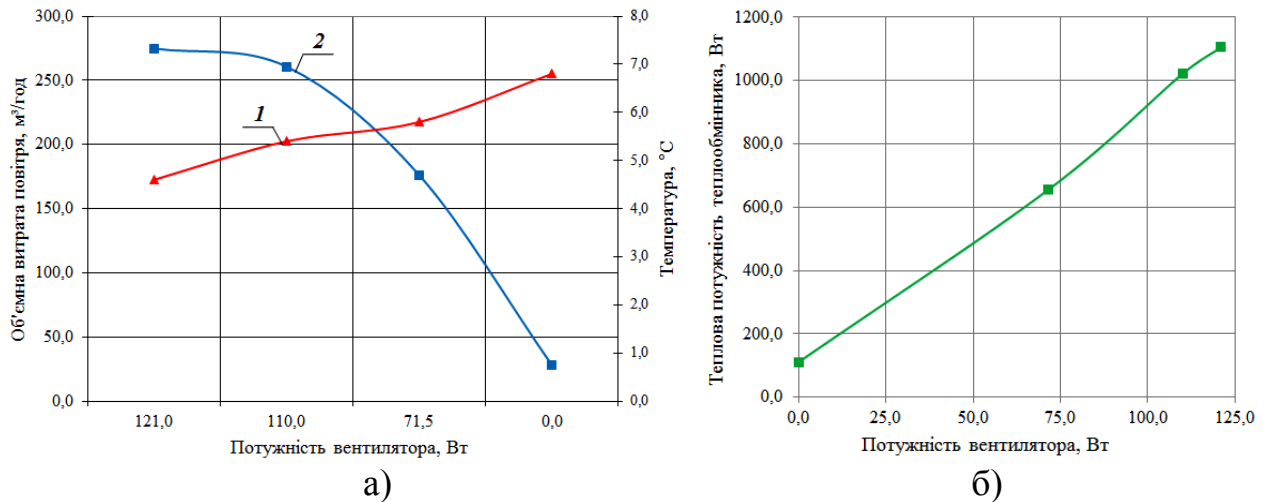


Рис. 12. Технологічні (а) та енергетичні (б) параметри роботи ґрунтового багатоходового теплообмінника, тут: 1 – температура повітря на виході з теплообмінника, $^{\circ}\text{C}$; 2 – об'ємна витрата повітря, $\text{m}^3/\text{год}$.

Таким чином, в холодний період року, при використанні теплообмінників типу «ґрунт - повітря» у системі теплового захисту огорожувальних конструкцій будинку, можливе корисне використання до 1,2 кВт теплової енергії, вилученої з ґрунтового масиву.

Далі, була розроблена комбінована теплонасосна система тепlopостачання пасивного будинку. Концепція її роботи виходила з того, що астрономічний рік розбитий на 3 періоди: літній, перехідний та зимовий. У літній період прийнято, що середньодобова температура зовнішнього повітря не опускається нижче $+21\text{ }^{\circ}\text{C}$. Основним завданням в цей час є кондиціонування повітря в приміщеннях. Системою тепlopостачання передбачено два незалежних варіанти кондиціонування.

Перехідний період – це період, протягом якого середньодобова температура зовнішнього повітря коливається в межах від $+8$ до $+21\text{ }^{\circ}\text{C}$. У цих умовах основними завданнями є робота системи ГВП і покриття теплових втрат пасивного будинку за рахунок роботи системи вентиляції.

Система тепlopостачання переходить в зимовий режим роботи при зниженні середньодобової температури зовнішнього повітря нижче $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом трьох діб. Основне завдання в даний період – підтримання температури внутрішнього повітря на рівні $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$, незалежно від температури зовнішнього повітря. Схема роботи в зимовий період представлена на рис. 13.

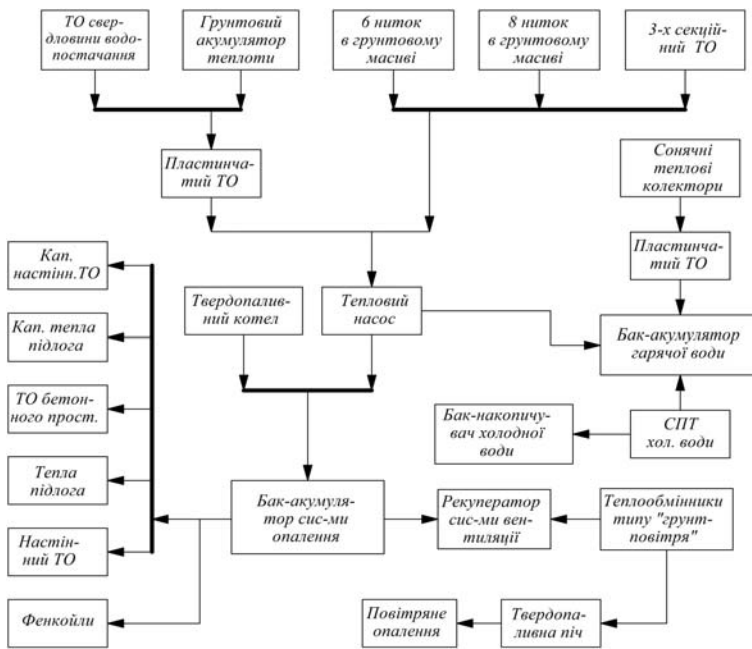


Рис. 13. Робота систем опалення та приготування гарячої води в зимовий період

Тривалість дослідження кожного теплового режиму становила в середньому 3 доби. Для проведення експериментальних досліджень було обрано північно-західне приміщення другого поверху енергоефективного будинку.

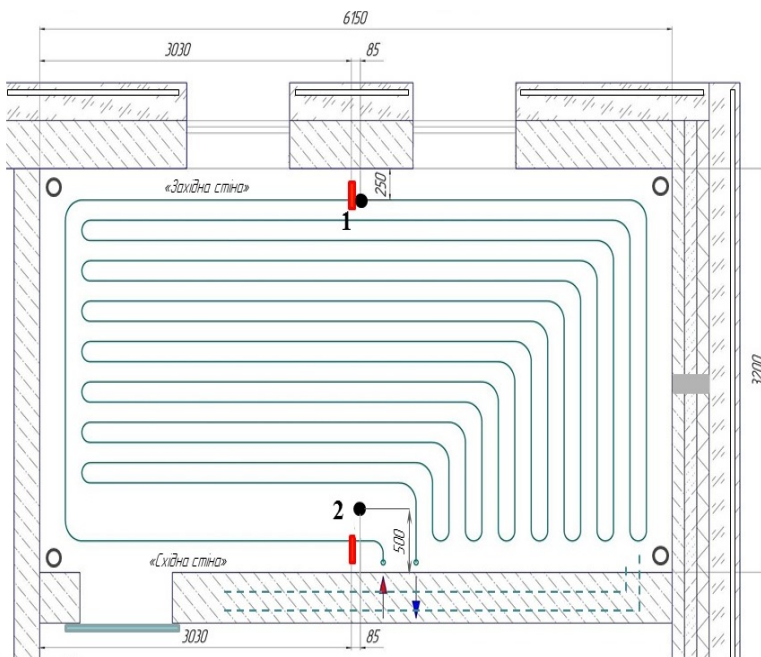


Рис.14. План приміщення другого поверху з опалювальними приладами

Питомі теплові навантаження на опалювальні прилади енергоефективного будинку (максимальна густина теплового потоку) склали:

- тепла підлога електрична – 12% (до 30 Вт/м²);
- тепла підлога водяна – 25% (до 50 Вт/м²);
- тепла стіна водяна – 18% (до 40 Вт/м²);
- тепла стіна капілярна – 15% (до 25 Вт/м²);
- повітряні опалювальні прилади (вентиляторні доводчики) – 30%.

Експериментальні дослідження, результати яких приводяться, проводились протягом опалювального періоду 2015-2016 рр.

Обране приміщення має наступні опалювальні прилади – водяна «тепла підлога» з нестандартною Г-подібною укладкою (нагрітий теплоносій спочатку проходить вздовж зовнішніх стін і охолоджується ближче до середини приміщення) та теплообмінник, що вмонтовано в стіну (складається з чотирьох секцій – дві розташовані знизу стіни та дві зверху). Біля західної та східної стін, по висоті приміщення (на рис. 14 – червоні прямокутники), були розташовані вертикальні струни, оснащені 12-ма датчиками температури ТСП-100 в кожній, для аналізу температурної стратифікації приміщення.

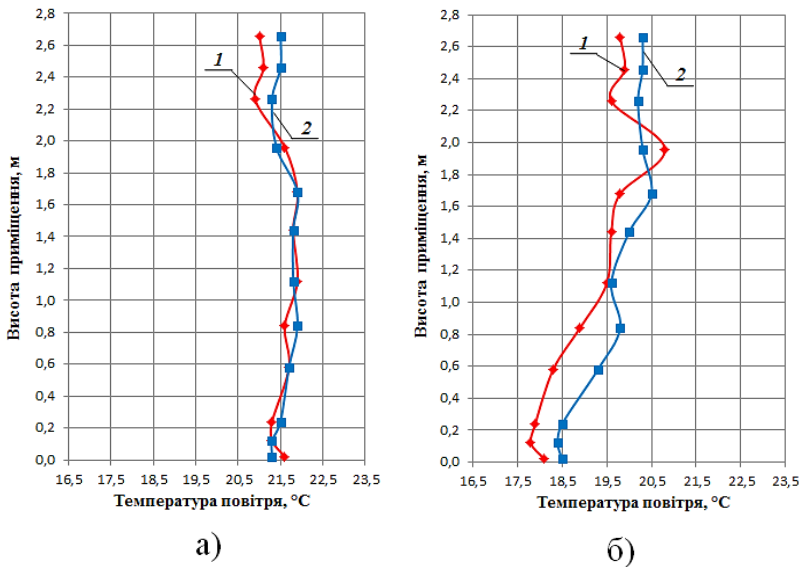


Рис.15. Середньодобова температура повітря в приміщенні при опаленні тільки водяною «теплою підлогою» (а) та при одночасній експлуатації чотирьох секцій теплообмінника в стіні (б), тут:

- 1 – датчики, які встановлені біля західної стіни;
2 – датчики, які встановлені біля східної стіни.

Також, за допомогою датчиків ПТП, в цьому режимі роботи була виміряна густина теплового потоку (рис.14) на поверхні підлоги в точках 1 (над подавальною трубою «теплої підлоги») та 2 (над між трубним простором), які склали 71 та 22 Вт/м² відповідно.

При опаленні приміщення тільки теплообмінником в стіні (рис. 15б) спостерігається зниження середньодобової температури повітря в приміщенні до +19,5 °С. При цьому, температура вздовж західної стіни на 0,5÷1,0 °С нижче, що призводить до нерівномірності температурного поля повітря в приміщенні.

Розрахований середній за опалювальний період, коефіцієнт перетворення енергії теплового насоса склав **COP = 3,62**.

У п'ятому розділі розглянуто методику розрахунку горизонтальних ґрунтових колекторів, яка базується на розрахункових моделях (див. Розділ 2) та верифікована за результатами експериментальних досліджень.

Розрахунок проводиться в спеціалізованому програмному продукті в два етапи. Перший етап – розрахунок теплового стану ґрунтового масиву при умові багаторічної експлуатації горизонтального ґрунтового колектора. Результатом є оптимальний для даної місцевості та типу ґрунту міжтрубний крок горизонтального колектора, при якому мінімізується взаємовплив сусідніх петель колектора.

На другому етапі розраховується робота ґрунтового колектора в складі теплонасосної системи тепlopостачання. Результатами розрахунків є прогнозний максимальний коефіцієнт перетворення енергії теплового насоса COP_{max} . Також, проводиться оптимізаційний розрахунок, на основі якого можлива зміна міжтрубного кроку та геометричних розмірів колектора.

В період з 01.03 по 15.03 2016 року було проведено ряд експериментальних досліджень спільної роботи опалювальних приладів. Фіксувались наступні величини – температура на вході та виході з опалювальних приладів, витрата теплоносія, температура зовнішнього повітря та показання датчиків температури біля стін.

На рис. 15а приведено результати експериментальних досліджень при опаленні приміщення водяною «теплою підлогою». В такому режимі досягається рівномірний розподіл температури повітря як по висоті, так і по площі всього приміщення. Середня температура повітря складає +21,5°С.

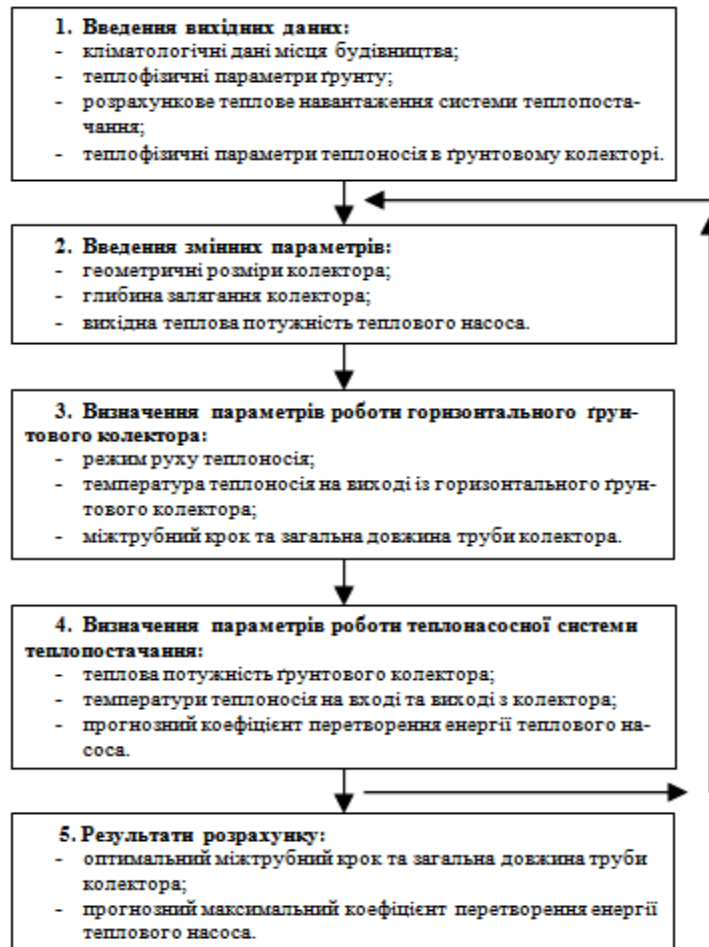


Рис.16. Алгоритм розрахунку горизонтального ґрунтового колектора

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз і вивчені можливості систем ґрунтового акумулювання теплової енергії. Розглянуті відомі схеми комбінованих теплонасосних систем теплопостачання, охарактеризовані їх основні недоліки та особливості.

2. Розглянута і оцінена робота теплонасосних установок в різних умовах експлуатації та в будівлях з різними огорожувальними конструкціями, а також з різними типами опалюваних приладів. Показано, що для енергоефективних будівель доцільно використовувати комбіновані теплонасосні системи теплопостачання та низькотемпературні опалювальні прилади.

3. Розроблено двовимірну модель теплообміну в ґрунтовому масиві, яка дозволила дослідити роботу горизонтального акумулятора. Встановлено, що крок між осями сусідніх труб багатопетлевого теплообмінника, що становить 0,95 м, є оптимальним при створенні горизонтального ґрунтового акумулятора теплоти в умовах ґрунту м. Києва. Впродовж опалювального сезону при такому кроці мінімізується взаємовплив сусідніх петель ґрунтового колектора.

4. Для низькотемпературного контуру теплонасосних систем теплопостачання розроблена тривимірна модель теплового стану ґрунтового масиву при використанні

горизонтального колектора. Середня розрахункова потужність вилучення теплової енергії ґрунту з 1 погонного метру трубопроводу ґрунтового теплообмінника склала 28 Вт.

5. Показано, що при використанні горизонтального ґрунтового колектора неглибокого залягання мінімальна температура на поверхні трубопроводів в кінці опалювального періоду сягала $-2,5 \dots -3,0^{\circ}\text{C}$. У літній період реалізовано відновлювання теплового стану ґрунту за рахунок роботи системи пасивного кондиціювання. Показано, що у горизонтальному колекторі площею теплообмінної поверхні (трубопроводу) $19,8 \text{ м}^2$ в опалювальний період відбувається відбір до 3,6 кВт потужності теплової генерації, при цьому середній по довжині коефіцієнт теплопередачі склав $36,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$.

6. Розроблена та досліджена система тепло (холодо) захисту огорожувальних конструкцій будинків за допомогою пасивної повітряної теплової завіси та ґрунтового теплообмінника трубного типу. За результатами експерименту показано, що величина зменшення потужності тепловитрат на опалення досягає 1,2 кВт, що є показником економії для енергоефективних будинків.

7. Розроблена методика інженерного розрахунку основних параметрів горизонтальних ґрунтових колекторів неглибокого залягання. Експериментально підтверджена оптимальна конструкція ґрунтового теплообмінника для конкретної геології ґрунтового масиву.

8. Розроблена та впроваджена комбінована (як за джерелами низькопотенційної теплоти, так і за опалювальними приладами) теплонасосна система теплопостачання енергоефективного будинку. При цьому середній за опалювальний період коефіцієнт перетворення енергії теплового насоса склав $\text{COP} = 3,62$. Досліджена спільна робота різних за конструктивним виконанням (в т.ч. вмонтованих в будівельні конструкції) низькотемпературних опалювальних приладів і експериментально доведена їх висока ефективність.

9. Розглянута ефективність застосування теплонасосних технологій в існуючій адміністративній будівлі. Показано, що економія теплової енергії при встановленні теплонасосної системи теплопостачання складає 22%.

10. Результати проведених досліджень впроваджені в робочих проектах ТОВ «ЕНЕРГО ТЕПЛО ІНЖИНІРИНГ» (м. Київ) та ТОВ «Центр Водочищення» (м. Київ).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Б.И. Басок, И.К. Божко, А.Н. Недбайло, О.Н. Лысенко. Поливалентная система теплообеспечения пассивного дома на основе возобновляемых источников энергии. Инженерно-строительный журнал. 2015. №6(58). С. 32-44. – Режим доступа: DOI: 10.5862/MCE.58.4 (SCOPUS, Compendex (Elsevier), EBSCO, Google Academia, Index Copernicus, ProQuest, Russian Science Citation Index (Thomson Reuters), Ulrich's Serials Analysis System).

Особистий внесок здобувача полягає у розробці та систематизації схемних рішень системи теплопостачання пасивного будинку.

2. О.М. Лисенко, Л.М. Кужель, І.К. Божко. Управління теплопостачанням будівлі на основі використання індивідуального теплового пункту оригінальної конструкції. Східно-Європейський журнал передових технологій. 2015. Т. 1, N 8(73). С. 61-67. – Режим доступу: DOI: 10.15587/1729-4061.2015.37917 (Ulrich's Periodicals Directory, Index Copernicus).

Особистий внесок здобувача полягає у участі в розробці принципової схеми та алгоритмів роботи системи теплопостачання адміністративної будівлі на основі індивідуального теплового пункту.

3. Басок Б.І., Недбайло О.М., Божко І.К., Ткаченко М.В. Схемні рішення оснащення енергоефективного будинку системою теплозабезпечення. Пром. теплотехніка. К: ІТТФ. 2013. Т35№1. С. 50-56.

Особистий внесок здобувача полягає у проведенні аналізу літературних даних по системам тепло забезпечення пасивних будинків.

4. Новіцька М.П., Ткаченко М.В., Недбайло О.М., Божко І.К. Квазістаціонарний тепловий режим приміщення при низькотемпературному опаленні фанкойлом. Міжфідомчий науково-технічний збірник «Енергозбереження у будівництві». К:НДІБК. 2013. Випуск 77. С. 338-342.

Особистий внесок здобувача полягає в участі у теплофізичному моделюванні системи опалення приміщення на основі фанкойла.

5. І.К. Божко, А.Н. Недбайло, М.В. Ткаченко, І.Г. Засецький. Комбинированная система теплообеспечения высокоэнергоэффективного дома. Науково-технічний збірник «Енергоефективність в будівництві та архітектурі». К:НДІБК. 2014. Випуск 6. С. 14-22.

Особистий внесок здобувача полягає у розробці схемних рішень комбінованої системи теплопозабезпечення енергоефективного будинку.

6. Гончарук С.М., Калініна М.Ф., Божко І.К., Кужель Л.М., Лисенко О.М. Створення експериментального енергоефективного будинку пасивного типу «нуль енергії». Пром. теплотехніка. К: ІТТФ. 2014. Т36№3. С.88-95.

Особистий внесок здобувача полягає у систематизації даних, отриманих у огляді літературних джерел.

7. Недбайло А.Н., Калинина М.Ф., Божко І.К., Новицкая М.П., Гончарук С.М., Кужель Л.Н., Лысенко О.Н. Математическая модель нестационарного процесса теплопереноса в многослойной ограждающей конструкции. Керамика: наука и жизнь. К: ІТТФ. 2014. №2(23). С. 14-29.

Особистий внесок здобувача полягає в участі у теплофізичному моделюванні теплопередачі через багатошарову огорожуючу стінову конструкцію.

8. Б.І. Басок, І.К. Божко, Т.Г. Беляєва, С.М. Гончарук, О.М. Недбайло, М.П. Новіцька, М.В. Ткаченко, М.А. Хибина. Полівалентна система теплозабезпечення експериментального будинку пасивного типу (площею 300 м²) на основі використання відновлюваних та альтернативних джерел енергії. Наука та інновації. К. 2014. Т10№6. С. 34-52. – Режим доступу: DOI: 10.15407/scin10.06.034

Особистий внесок здобувача полягає у розробці схемних рішень полівалентної системи теплозабезпечення експериментального пасивного будинку.

9. Басок Б.И., Беляева Т.Г., Хибина М.А., Божко И.К., Лунина А.А. Экспериментальные исследования температурного режима грунтового массива при извлечении теплоты грунта горизонтальным теплообменником. Пром. теплотехника. К: ІТТФ. 2015. Т. 37 №4. С. 61-69.

Особистий внесок здобувача полягає у аналізі даних, отриманих експериментальним шляхом при дослідженні роботи горизонтального грунтового колектора.

10. И.К. Божко, А.Н. Недбайло, М.В. Ткаченко. Поливалентная система теплообеспечения пассивного дома. Научно-технический сборник «Энергоеффективность в строительстве та архітектурі». К:НДІБК. 2015. Випуск №7. С. 22-30.

Особистий внесок здобувача полягає в участі у розробці концепції роботи системи опалення та опалювальних приладів, що використовуються.

11. И.К. Божко, А.Н. Недбайло, М.В. Ткаченко. Экспериментальные исследования теплонасосной системы теплоснабжения с использованием грунтового коллектора. Научно-технический сборник «Энергоеффективность в строительстве та архітектурі». К:НДІБК. 2016. Випуск 8. С. 29-34.

Особистий внесок здобувача полягає у отриманні та систематизації експериментальних даних.

12. Басок Б.И., Недбайло О.М., Божко И.К. Чисельна модель роботи горизонтального грунтового колектора теплонасосної установки. Пром. теплотехника. К: ІТТФ. 2017. Т39№3. С. 66-72.

Особистий внесок здобувача полягає в участі у розробці чисельної моделі роботи горизонтального грунтового колектора при використанні теплонасосної системи теплопостачання.

13. И.К. Божко. Поливалентная система теплообеспечения пассивного дома на основе возобновляемых источников энергии. XV Минский международный форум по тепло- и массообмену: тезисы докладов и сообщений. (г. Минск 23 – 26 мая 2016). Минск, ИТМ им. А.В. Лыкова НАН Беларуси. 2016. Том 3. С. 290-293.

14. Басок Б.И., Недбайло О.М., Ткаченко М.В., Божко И.К. Патент на корисну модель №82399. Система теплопостачання будинку на основі геліоустановки та теплового насоса. Опубл. 25.07.2013, Бюл. №14.

Особистий внесок здобувача полягає у розробці принципової теплової схеми системи теплопостачання на основі теплового насоса і сонячних теплових колекторів.

15. Басок Б.И., Новицька М.П., Кужель Л.М., Божко И.К., Недбайло О.М., Ткаченко М.В., Гончарук С.М. Патент на корисну модель №88791. Спосіб забезпечення повітряно-теплової завіси теплою грунту. Опубл. 25.03.2014, Бюл. №6.

Особистий внесок здобувача полягає у розробці принципової схеми роботи повітряно-теплової завіси.

АНОТАЦІЯ

Божко І.К. **Комбінована теплонасосна система теплопостачання на основі**

грунтових теплообмінників. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.23.03 – «Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання». – Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України, Київ, 2017.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної проблеми – дослідження оптимальної експлуатації існуючих та розробці нових енергоефективних теплонасосних систем теплопостачання.

На підставі моделювання було обґрунтовано доцільність застосування горизонтальних ґрунтових теплообмінників неглибокого (до 2 м) залягання у теплонасосних системах теплопостачання. Виконано комплекс теоретичних та експериментальних досліджень їх роботи в складі експериментальних теплонасосних систем теплопостачання. Встановлена оптимальна конструкція горизонтального ґрунтового теплообмінника та умови сезонного вилучення природної теплоти ґрунту.

На основі отриманих результатів було розроблено та впроваджено комбіновану теплонасосну систему теплопостачання на основі ґрунтових теплообмінників та досліджено спільну роботу низькотемпературних опалювальних приладів різного конструктивного виконання.

Розроблена методика розрахунку основних параметрів горизонтальних ґрунтових колекторів неглибокого залягання. Запропоновано використання ґрунтових теплообмінників в системі кондиціонування повітря для відновлення температурного стану ґрунтового масиву в літній період.

Результати роботи впроваджені в робочих проектах ТОВ «Центр Водочищення» та ТОВ «ЕНЕРГО ТЕПЛО ІНЖИНІРИНГ».

Ключові слова: теплопостачання, горизонтальний ґрунтовий теплообмінник, тепловий насос, низькотемпературні опалювальні прилади, пасивне кондиціонування.

АННОТАЦІЯ

Божко И.К. Комбинированная теплонасосная система теплоснабжения на основе грунтовых теплообменников. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 05.23.03 – «Вентиляция, освещение и теплогазоснабжения». – Институт технической теплофизики Национально академии наук Украины, Киев, 2017.

Диссертация посвящена решению актуальной проблемы – исследованию оптимальной эксплуатации существующих и разработке новых энергоэффективных теплонасосных систем теплоснабжения.

На основании моделирования была обоснована целесообразность применения горизонтальных ґрунтовых теплообменников неглубокого (до 2 м) залегания в теплонасосных системах теплоснабжения. Выполнен комплекс теоретических и экспериментальных исследований их работы в составе экспериментальных теплонасосных систем теплоснабжения. Установлена оптимальная конструкция горизонтально-

го грунтового теплообменника и условия сезонного изъятия природной теплоты грунта.

На основе полученных результатов была разработана и внедрена комбинированная теплонасосная система теплоснабжения на основе грунтовых теплообменников и исследована совместна работа низкотемпературных отопительных приборов различного конструктивного исполнения.

Разработана методика расчета основных параметров горизонтальных грунтовых коллекторов неглубокого залегания. Предложено использование грунтовых теплообменников в системе кондиционирования воздуха для восстановления температурного состояния грунтового массива в летний период.

Результаты работы внедрены в рабочих проектах ООО «Центр Водочистки» и ООО «ЭНЕРГО ТЕПЛО ИНЖИНИРИНГ».

Ключевые слова: теплоснабжение, горизонтальный грунтовый теплообменник, тепловой насос, низкотемпературные отопительные приборы, пассивное кондиционирования.

ABSTRACT

I. Bozhko. **Combined heat pump system of heat supply based on ground heat exchangers.** – Manuscript.

Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences (Ph.D.) in specialty 05.23.03 "Ventilation, lighting and heat and gas supply". – Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2017.

The dissertation is devoted to the solution of the actual problem – the study of the optimal operation of existing and development of new energy-efficient heat and water pump systems of heat supply.

Based on the modeling, the feasibility of using horizontal ground heat exchangers of shallow (up to 2 m) occurrence in heat pump heat supply systems is substantiated. A complex of theoretical and experimental researches of their work in the composition of experimental heat pump heat supply systems is fulfilled. The optimal design of a horizontal ground heat exchanger and the condition of seasonal extraction of natural heat of soil are established.

On the basis of the obtained results, a combined heat pump heat supply system was developed and implemented on the basis of ground heat exchangers and the joint work of low-temperature heating devices of various constructional designs was investigated.

The method of calculation of the basic parameters of the horizontal ground collectors of shallow occurrence is developed. The use of ground heat exchangers in the air conditioning system for the restoration of the ground temperature in the summer period is proposed.

The results of the work are implemented in the working projects of LLC "Center for Water-cleaning" (ТОВ «Центр Водочищення») and LLC "ENERGO HEAT ENGINEERING" (ТОВ «ЕНЕРГО ТЕПЛО ІНЖІНІРИНГ»).

Keywords: heat supply, horizontal ground heat exchanger, heat pump, low-temperature heating devices, passive conditioning.

**Підписано до друку 30.01.2018 р. Формат 60x90 1/16
Папір офсетний. Умовн. друк арк. 1,9
Друк цифровий. Наклад 100 прим.**

**ТОВ "СІ Принт"
03170, м. Київ, вул. Перемоги, буд. 1
Тел.: 360-24-74**