

**Б.І. Басок, І.К. Божко, Т.Г. Беляєва, С.М. Гончарук,
О.М. Недбайло, М.П. Новицька, М.В. Ткаченко, М.А. Хибина**

Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ

ПОЛІВАЛЕНТНА СИСТЕМА ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО БУДИНКУ ПАСИВНОГО ТИПУ (площею 300 м²) НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ТА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ



Надано результати розробки та реалізації системи теплозабезпечення експериментального будинку пасивного типу, досліджено оптимальні робочі режими, наведено рекомендації для створення систем теплозабезпечення будинків пасивного типу.

Ключові слова: будинок пасивного типу, енергозбереження, низькопотенційна теплота, тепловий насос.

Постійно зростаючі ціни на енергоносії змушують уряди країн, керівників підприємств і пересічних домовласників замислюватися про економію первинного палива. Крім того, песимістично налаштовані експерти стверджують, що нафта закінчиться через 30–40 років, оптимісти подовжують цей термін до 80–100 років. В одному експерти єдині — дешевої нафти (і газу) не буде. Скорочувати споживання викопних органічних енергоресурсів стає нагальною необхідністю. Досліджуються альтернативні та відновлювані джерела енергії, удосконалюються існуючі та конструюються нові котли, досліджуються нові способи спалювання палива. Підвищення термічного опору огорожувальних конструкцій будинку до сучасного рівня здатне знизити потребу в тепловій енергії не на відсотки, а в декілька разів. В

Україні високе споживання енергії за повний цикл експлуатації будинків складає в середньому понад 300 кВт · год/м² на рік опалюваної площі [1, 2]. За даними державної служби статистики України у структурі кінцевого споживання палива та енергії доля побутового сектора складає 34 %, що разом з промисловим сектором (35 %) є основною часткою. Основні резерви економії знаходяться в комунальному господарстві та житловому будівництві. Природним є прагнення до зменшення енергоспоживання у комунально-побутовому секторі та для життєзабезпечення будівель шляхом впровадження ефективних енергозберігаючих технологій при будівництві та використанні відновлювальних джерел енергії. Одним з шляхів комплексного вирішення проблеми енергозбереження є будівництво енергоефективних та пасивних будівель.

Основними вимогами до пасивного будинку в Європі є [3]:

★ питомі витрати теплової енергії на опалення, визначені за допомогою «Пакету проекту-

вання пасивного будинку» (РНРР), не повинні перевищувати 15 кВт · год/м² на рік;
 ✦ загальне споживання первинної енергії для всіх побутових потреб (опалення, гаряча вода та електрична енергія) не повинне перевищувати 120 кВт · год/м² на рік.

Щоб забезпечити необхідну величину питомих витрат теплової енергії на опалення пасивних будинків у кліматі Середньої Європи, встановлені такі обов'язкові вимоги:

- ✦ коефіцієнти теплопередачі U для зовнішніх стін, покрівлі та підлоги першого поверху повинні становити менше 0,15 Вт/(м · К), коефіцієнт теплопередачі скляних огорожувальних конструкцій $U_{\text{ст}} < 0,7$ Вт/(м · К), коефіцієнт теплопередачі для віконного профілю $U_{\text{проф}} < 0,8$ Вт/(м · К);
- ✦ зведений коефіцієнт теплопередачі вікна з урахуванням монтажу в стіну — $U_{\text{вікн}} < 0,85$ Вт/(м · К);
- ✦ максимальне зниження негативного ефекту від теплових мостиків;
- ✦ ККД рекуператора системи вентиляції повинен бути більшим 75 %;
- ✦ зовнішня оболонка будівлі повинна бути герметичною.

Крім того, пасивний будинок є екологічною конструкцією, зручною для його мешканців та відповідною до навколишнього середовища. У будинку не буває протягів, панує температурний комфорт, повітря завжди чисте і свіже, підтримується оптимальний рівень вологості.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИЙ БУДИНОК ПАСИВНОГО ТИПУ ІТТФ НАН УКРАЇНИ

У рамках виконання науково-технічного проекту «Створення експериментального енергоефективного будинку пасивного типу» за договором з Державним агентством з питань науки, інновацій та інформатизації України (№ ДЗ/501-2011) розроблено концепцію створення експериментального енергоефективного будинку пасивного типу, який було збудовано на території Інституту технічної теплофізики НАН України.

Параметри експериментального будинку пасивного типу

Загальна площа, кв. м.	306
Кількість поверхів.	4 + 0,5
Опір теплопередачі базової будівлі, м ² · К/Вт	3,3
Макс. опір теплопередачі утепленої будівлі, м ² · К/Вт	11,4
Товщина утеплення, мм.	320–345

Питоме теплоспоживання будинку, кВт · год/(м² · рік):

при температурі зовнішнього повітря –1,1 °С	15
при температурі зовнішнього повітря –10,0 °С	21,8

Основні засади створення експериментального будинку:

- ✦ компактність будівлі;
- ✦ посилена теплоізоляція;
- ✦ орієнтація на південь та відсутність затінку;
- ✦ герметичність будівельної конструкції;
- ✦ виключення можливості утворення «містків холоду»;
- ✦ енергоефективні подвійні вікна та профілі відмінної якості;
- ✦ формула склопакета 4i-8-4i-8-4 (4i — скло з енергоощадним селективним напиленням);
- ✦ контрольована система рекуперативної вентиляції;
- ✦ заглиблення в ґрунт цокольного поверху;
- ✦ тепловий захист зовнішніх стін через ґрунтові теплообмінники;
- ✦ внутрішній матеріал стін — з великою теплоємністю, зовнішній — з низькою теплопровідністю;
- ✦ багат шарові (потрійні) стіни несучої конструкції;
- ✦ теплоізоляція товщиною до 34 см.

По суті цей будинок (рис. 1) є повномасштабним експериментальним стендом для дослідження енергоефективності будівель, а саме для дослідження:

- ✦ дисипативних теплових втрат через будівельні матеріали та окремі конструкції з них;
- ✦ теплових втрат будівлі в цілому;
- ✦ ефективності інноваційних інженерних систем енерго- та ресурсозабезпечення будівлі.

МЕТА ПРОЕКТУ ТА ЗАСОБИ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ

Головною метою науково-технічного проекту, який виконувався в рамках інноваційного договору № 29 від 01.03.2013 з Президією НАН України, є розробка та реалізація полівалентної системи теплозабезпечення експериментального будинку пасивного типу (площею 300 м²) на основі відновлювальних та альтернативних джерел енергії (сонячна енергія, теплота ґрунту і води). В ході виконання проекту були досліджені оптимальні робочі режими системи та розроблені рекомендації для створення подібних систем теплозабезпечення будинків пасивного типу.

Первинні джерела енергії для теплозабезпечення складаються з поновлюваної енергії сонячного випромінювання (як прямого, так і розсіяного) та енергії альтернативних джерел. Як альтернативні джерела енергії використовуються:

- 1) тепла енергія, що в літній період спеціально акумулюється в ґрунтовому масиві;
- 2) тепла енергія природного ґрунту;
- 3) тепла енергія повітря;
- 4) тепла енергія води в водозабірній свердловині;
- 5) утилізаційна тепла енергія відхідних димових газів когенераційної мініустановки.

Визначаючи складові полівалентної системи, виділимо основні, додаткові та допоміжні опції.

Основні опції:

- ✦ використання вітчизняного теплового насосу типу «вода—вода» необхідної потужності (6 кВт) і ґрунтових теплообмінників та ґрунтових акумуляторів теплоти (сезонних повітряних, водяних та повітря-водяного; двох добових, одного сезонно-добового; одного сезонного, що складається із 7-и свердловин; одного круглорічного, що у водозабірній свердловині (рис. 2));
- ✦ використання сонячних теплових панелей.

Додаткові опції:

- ✦ використання утилізаційного теплообмінника когенераційної мінісистеми електрозабезпечення;
- ✦ використання притяжно-витяжної системи вентиляції із рекуперацією теплоти;
- ✦ використання утилізаційної теплоти димової труби за рахунок її оребрення.

Допоміжні опції:

- ✦ тепла завіса стін та даху будинку взимку та їх охолодження влітку;
- ✦ нагрівання повітря взимку та його охолодження влітку при використанні гравітаційно-вільноконвективної системи вентиляції із застосуванням ґрунтових теплообмінників;
- ✦ рекуперативна система вентиляції з догріванням повітря.



Рис. 1. Зовнішній вигляд експериментального будинку пасивного типу на стадії будівництва

З точки зору опалювальних приладів полівалентна система — це:

- ✦ тепла водяна підлога;
- ✦ тепла капілярна водяна підлога;
- ✦ тепла водяна стіна;
- ✦ тепла капілярна водяна стіна;
- ✦ тепла електрична підлога;
- ✦ тепла електрична стіна;
- ✦ багатопетельний водяний теплообмінник, вмонтований всередину простінка між двома приміщеннями;
- ✦ фанкойли типу *вода-повітря* повітряної системи опалення;
- ✦ радіатори зі збільшеною поверхнею тепловіддачі середньотемпературного опалення.

Вентиляція експериментального будинку — це тривалентна система:

- 1) припливно-гравітаційна пасивна система;
- 2) примусова вентиляція через ґрунтові теплообмінники;
- 3) притяжно-витяжна рекуперативна (без або з підігрівом повітря).

Система теплопостачання будинку (з точки зору інженерних рішень) — це комбінована полівалентна комплексна система автономного і автоматичного теплозабезпечення (в перспективі — із дистанційним контролем, моніторингом і управлінням), у тому числі: теплозабезпечення (опалення, гаряче водопостачання); кондиціонування; вентиляція; теплова захисна завіса стін.

У системі теплопостачання задіяно тепловий насос VDE TH-6.

Експериментальний будинок (рис. 3) оснащується датчиками автоматизації та відповідними вимірювальними первинними пристроями і цифровими приладами, що призначені для моніторингу теплотехнічних параметрів системи енергозабезпечення із комп'ютерною системою збору, обробки та візуалізації даних в режимі реального часу. Проводяться різноманітні автоматизовані неперервні (цілорічні) вимірювання полів температур, теплових потоків, вологості, тиску, витрат повітря, витрат теплоносія, витрат теплової і електрич-

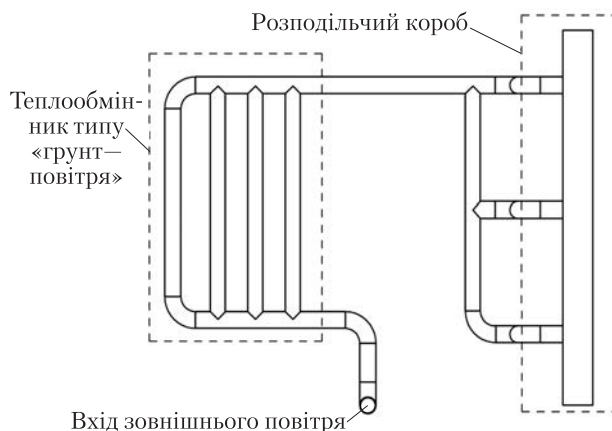


Рис. 2. Система ґрунтового теплообмінника та розподільчого корпусу теплової завіси (вигляд зверху)

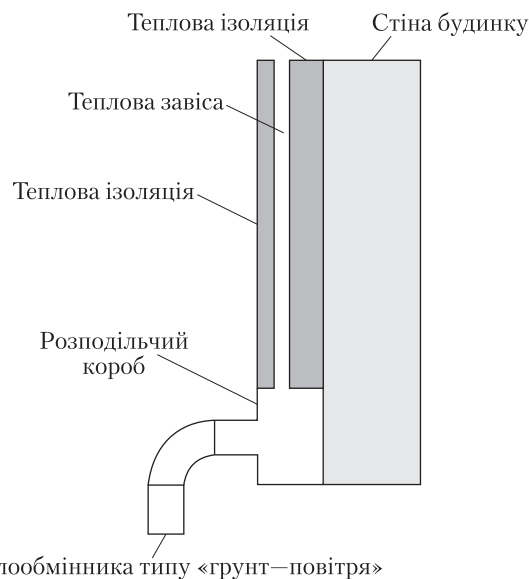


Рис. 3. Поперечний переріз стіни будинку

ної енергії, освітленості, зовнішніх кліматичних параметрів. Датчики та вимірювальні пристрої розташовані в будівельних конструкціях, в приміщеннях будинку, в навколишньому ґрунті та повітрі. (рис. 4 та 5). На рис. 6 наведені приклади установки датчиків в огорожувальних конструкціях будинку. Планується періодичне проведення тепловізійного обстеження фасадів для локалізації тепловитрат та їх мінімізації.

КОНЦЕПЦІЯ ТА БЛОК-СХЕМА ПОЛІВАЛЕНТНОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДИНКУ ПАСИВНОГО ТИПУ

В Інституті технічної теплофізики (ІТТФ) НАН України розроблена полівалентна система теплозабезпечення експериментального будинку на основі теплового насоса і геліоколекторів, яка регулюється відповідно до температури зовнішнього і внутрішнього повітря. Визначені три режими роботи: *літній* (коли температура зовнішнього повітря вище 21 °С), *перехідний* (температура зовнішнього повітря коливається від 8 до 21 °С) і *зимовий* (температура зовнішнього повітря нижче 8 °С протягом п'яти діб). Для підтримки комфортних умов у приміщеннях протягом року, а також для дотримання санітарно-гігієнічних норм мікроклімату були розроблені схемні рішення для кожного режиму.

Літній період

Основним завданням у цей час є кондиціювання повітря в приміщеннях. Системою теплозабезпечення передбачено два незалежних варіанти кондиціювання.

Перша схема кондиціювання заснована на застосуванні теплообмінних апаратів типу «грунт—повітря» (рис. 7), які розташовані в ґрунтовому масиві. Теплообмінники виконані з труб із зовнішнім діаметром 110 мм; матеріал — НПВХ. Зовнішнє повітря, що прокачується за допомогою осьового вентилятора по трубах, охолоджується в ґрунтовому масиві (до температури, наближеної до 8 °С) і направляється на рекуператор системи вентиляції. Таким чином, здійснюється централізоване кондиціювання всього будинку.

При необхідності може бути задіяна друга схема більш інтенсивного кондиціювання (рис.

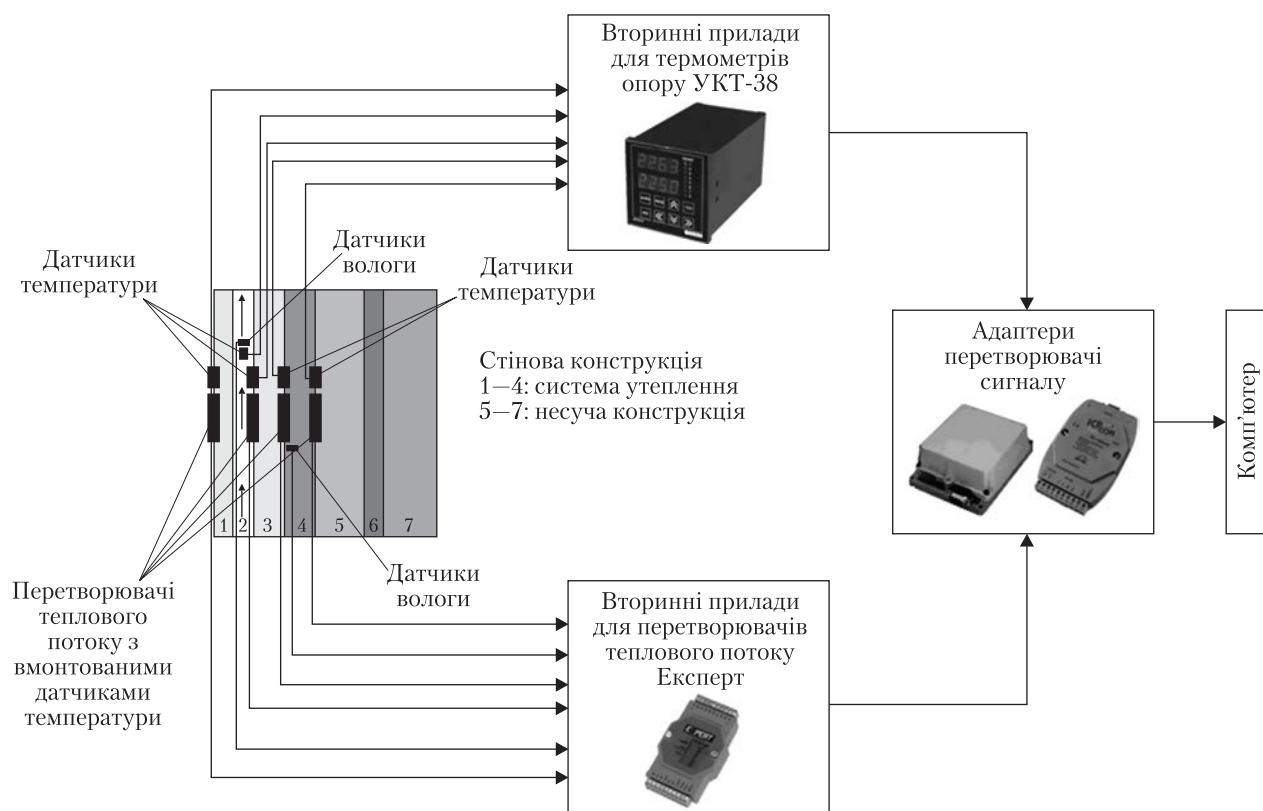


Рис. 4. Схема розміщення вимірювальних датчиків в стіновій конструкції експериментального будинку та збору і передачі сигналу з них

8) з використанням теплообмінника свердловини водозабору (теплоносій — вода). Внутрішнє повітря, проходячи через рекуператор системи вентиляції, нагріває охолоджуючу його воду. Далі вода контуру рекуператора охолоджується в теплообмінному апараті свердловини водозабору за рахунок проточної води зі свердловини (з температурою $\sim 12\text{ }^{\circ}\text{C}$), що надходить на водопостачання будинку.

Додатково передбачена можливість локального кондиціонування окремих приміщень за допомогою фанкойлів. Підключення фанкойлів і рекуператора системи вентиляції здійснюється з використанням насоса з частотно-

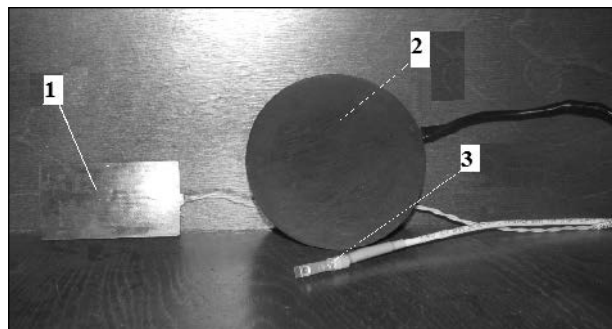


Рис. 5. Датчики вимірювання тепловтрат з огорожувальних конструкцій: 1 — перетворювач теплового потоку прямокутний; 2 — перетворювач теплового потоку круглого перерізу з вмонтованими платиновими термометрами опору; 3 — мідний термометр опору

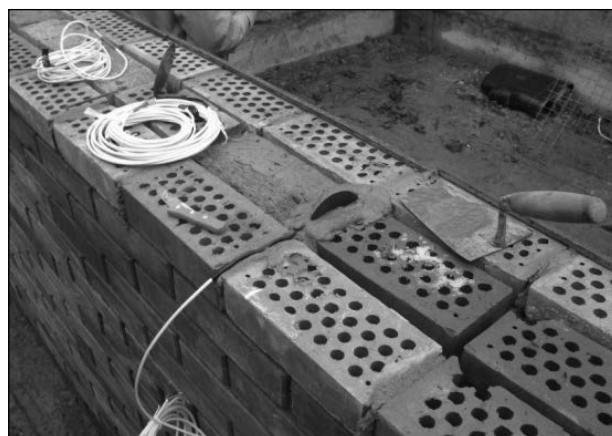


Рис. 6. Приклади установки датчиків в огорожувальних конструкціях експериментального будинку



Рис. 7. Кондиціонування з використанням теплообмінників «грунт-повітря»

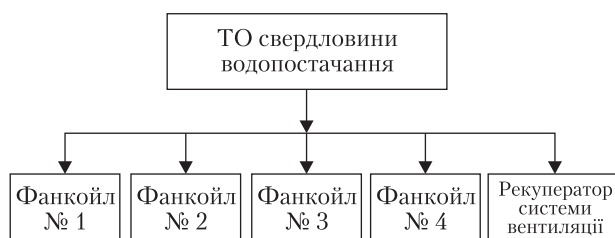


Рис. 8. Кондиціонування з використанням теплообмінника свердловини водозабору

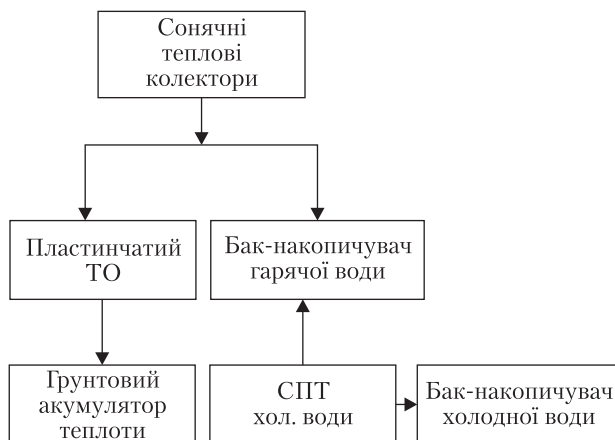


Рис. 9. Приготування гарячої води і регенерація ґрунтового акумулятора теплоти

регульованим приводом для перекачування охолоджуючої води.

Другим завданням системи теплохолодозабезпечення в літній період є підігрівання води та відновлення ґрунтового акумулятора теплоти (рис. 9). Основним джерелом теплової енергії для приготування води для потреб гарячого водопостачання є теплові сонячні ко-

лектори, встановлені на даху будинку. Холодна вода зі свердловини надходить на станцію підвищення тиску і далі закачується в баки-накопичувачі холодної та гарячої води. Останній відрізняється тим, що є бойлером непрямого нагрівання з вбудованими теплообмінниками та електричним нагрівачем. У внутрішню секцію надходить холодна вода зі станції підвищення тиску. У теплообмінник надходить нагрітий в геліоколекторах розчин поліпропіленгліколю. За рахунок цього відбувається приготування гарячої води. Після заповнення обох баків станція підвищення тиску автоматично відключається для економії електроенергії.

Баки запасу гарячої та холодної води встановлюються на верхньому поверсі будинку і можуть бути використані для забезпечення водопостачання в разі відключення електроенергії. У випадку, коли немає надходження сонячної енергії, і відбувається охолодження гарячої води, в бак-накопичувачі автоматично включається електричний нагрівач.

При наявності надлишкової теплової енергії, отриманої від сонячних колекторів, нагрітий розчин етиленгліколю прокачується через пластинчастий теплообмінник і, підігрівуючи воду, відновлює тепловий стан ґрунтового акумулятора теплоти (масиву ґрунту). У подальшому ґрунтовий акумулятор теплоти використовується як низькопотенційне джерело теплоти для теплового насоса в перехідний і зимовий періоди. Таким чином, здійснюється скидання зайвої теплоти, отриманої в сонячних колекторах.

Перехідний період

Перехідний період – це період, протягом якого середньодобова температура зовнішнього повітря коливається в межах від 8 до 21 °С. У цих умовах основним завданням є робота системи ГВП та покриття теплових втрат енергоефективного будинку за рахунок роботи системи вентиляції. Схема теплопостачання в цей період наведена на рис. 10.

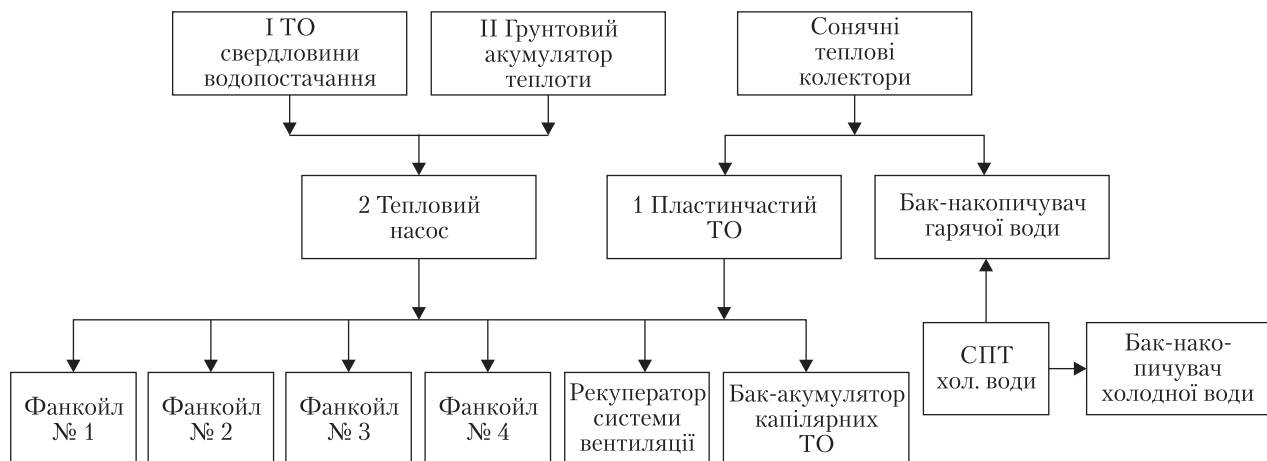


Рис. 10. Робота системи теплозабезпечення в перехідний період року

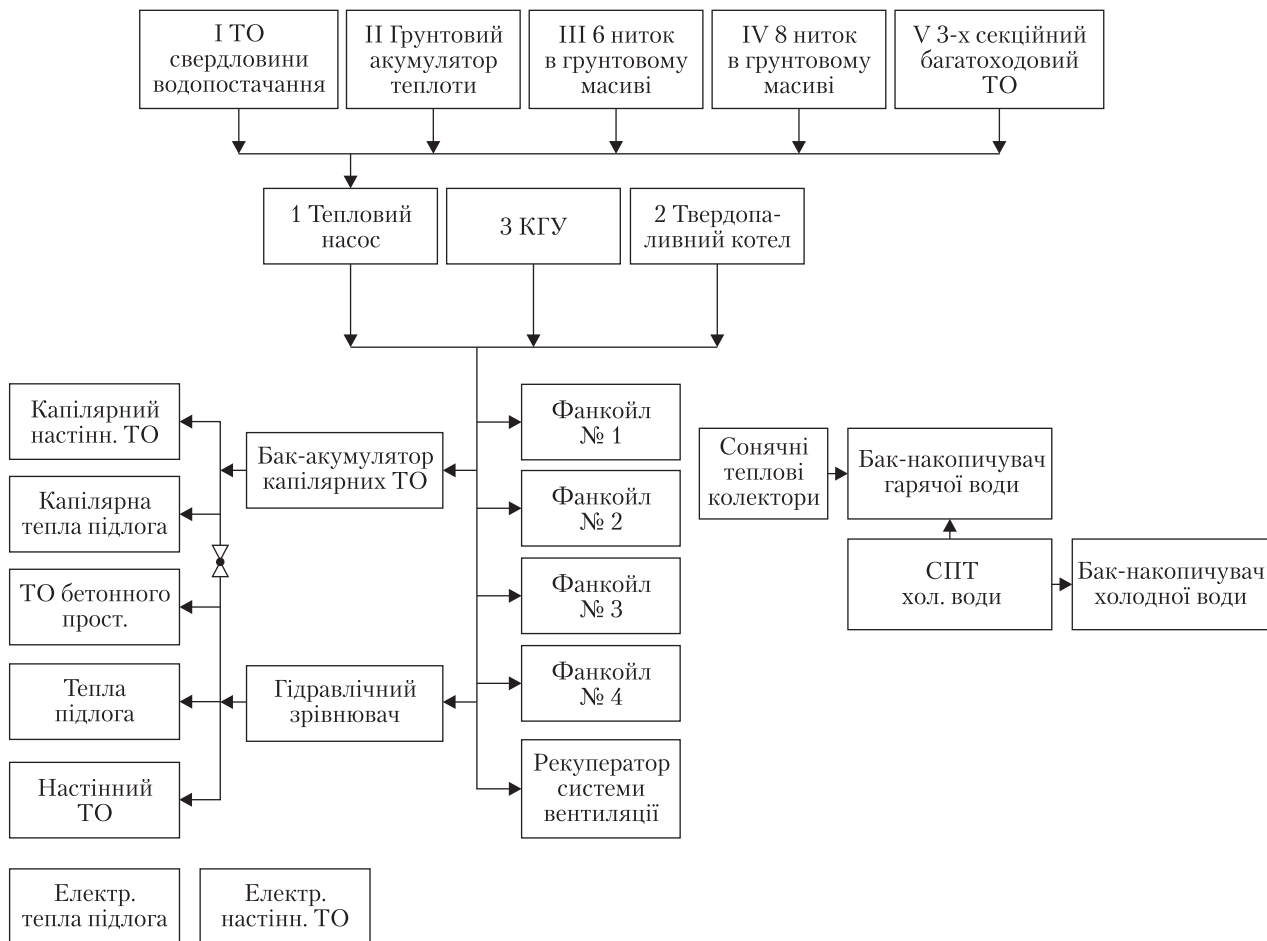


Рис. 11. Робота системи теплозабезпечення в зимовий період року

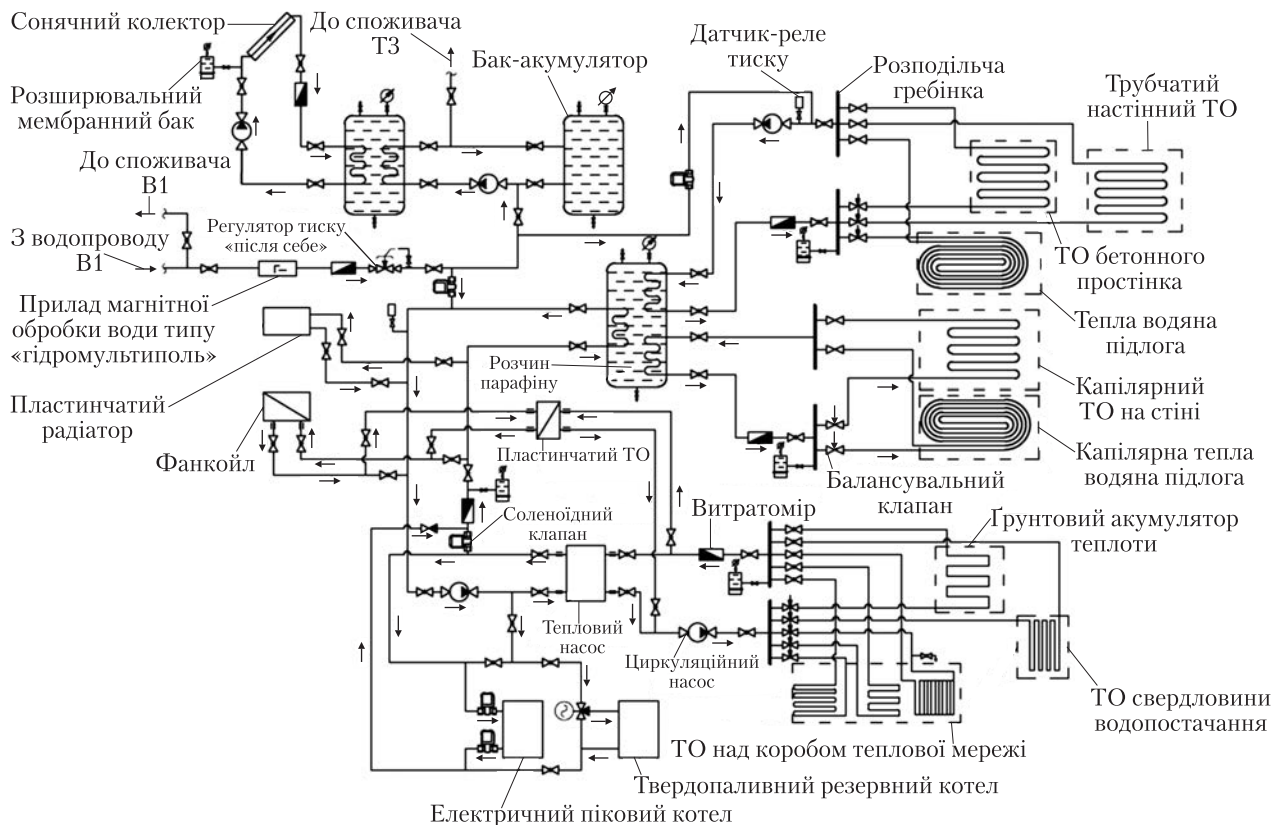


Рис. 12. Розгорнута принципова схема полівалентної системи теплозабезпечення будинку пасивного типу

Приготування гарячої води в перехідний період здійснюється за тією ж схемою, що і влітку.

При зниженні температури внутрішнього повітря в двох і більше приміщеннях нижче 20 °С частина нагрітого в сонячних колекторах розчину поліпропіленгліколю надходить на пластинчастий теплообмінний апарат і нагріває воду, яка, в свою чергу, надходить на рекуператор системи вентиляції. Зниження температури у двох і більше приміщеннях прийнято для мінімізації впливу людського фактора (наприклад, відкривання вікон) на автоматику системи теплозабезпечення.

При збереженні тенденції зниження температури внутрішнього повітря після заданого проміжку часу роботи пластинчастого теплообмінника відбувається його відключення і включення теплового насоса. Цей механізм діє в нічні періоди або при зниженні інтенсивності соняч-

ного випромінювання за рахунок хмарності.

Як джерело низькопотенційної теплової енергії для теплового насоса передбачено набір теплообмінників. Кожен з них має свій пріоритет. Зміна джерела можлива як в автоматичному, так і в ручному режимах.

У перехідний період при включенні теплового насоса першим джерелом низькопотенційної енергії для нього служить теплообмінник свердловини водозабору.

Теплові втрати будинку в перехідний період компенсуються за рахунок роботи системи вентиляції. Для підвищення температури внутрішнього повітря в окремих приміщеннях можливе використання фанкойлів. При зниженні температурного потенціалу водозабірної свердловини до рівня, який не може забезпечити стабільну роботу, відбувається перемикання джерела низькопотенційної енергії теплового

насоса з теплообмінника свердловини водозабору на ґрунтовий акумулятор теплоти.

Також у перехідний період відбувається зарядка бака-акумулятора системи опалення. Передбачається його використання в зимовий період з метою приготування теплоносія для низькотемпературних опалювальних приладів, зокрема для теплої капілярної підлоги та настінного капілярного теплообмінника.

Зимовий період

Система теплозабезпечення переходить на зимовий режим роботи при зниженні середньодобової температури зовнішнього повітря нижче $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом трьох діб. Основне завдання цього періоду — підтримка температури внутрішнього повітря на рівні $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ незалежно від температури зовнішнього повітря. Схема роботи в зимовий період наведена на рис. 11.

Основним джерелом теплоти для опалювальних приладів у цьому випадку виступає тепловий насос. Також можуть використовуватися твердопаливний котел і мінікогенераційна установка. Приготування гарячої води проходить за вже знайомою схемою. Опалення приміщень реалізується як системою вентиляції і фанкойлів, так і низькотемпературними опалювальними приладами. Основні опалювальні прилади — це «тепла підлога», капілярна «тепла підлога», трубчастий і капілярний настінні теплообмінники, теплообмінник, вмонтований у бетонну стіну. Як резервний опалювальний прилад використовується електрична «тепла підлога», розміщена перед вхідними дверима, а також настінний електричний теплообмінник. Низькотемпературні опалювальні прилади підключаються до теплового насоса через бак-акумулятор.

Особливу увагу слід приділити групі теплообмінників — джерел низькопотенційної теплоти для теплового насоса. Крім теплообмінника свердловини водозабору і ґрунтового акумулятора теплоти тут передбачена ще й група теплообмінників, розташованих у ґрунтовому



Рис. 13. Теплообмінник «8 ниток» типу «ґрунт–вода»

масиві на території ІТТФ НАН України. У цю групу входять одноходові теплообмінники у вигляді 6 ниток труби із зовнішнім діаметром 32 мм , які утворюють 3 петлі довжиною 15 м кожна, а також 8 ниток труби із зовнішнім діаметром 32 мм , які утворюють 4 петлі довжиною 20 м кожна. Також представлено трисекційний багатоходовий паяний теплообмінник з матеріалу PE100 із зовнішнім діаметром труби 40 мм . Дані теплообмінники розташовані на схемі системи теплозабезпечення (див. рис. 3, 5) будинку пасивного типу в порядку зростання теплообмінної поверхні. Пріоритетність включення джерел низькопотенційної теплоти для теплового насоса відповідає позначенням I–V.

На рис. 12 наведена розгорнута принципова схема полівалентної системи теплозабезпечення будинку пасивного типу. Структурно принципову схему можна поділити на такі основні блоки: [4, 5]:

- ✦ блок джерел теплоти для теплового насоса, блок перетворення і резервування теплової енергії;
- ✦ блок приготування теплоносія для системи опалення;
- ✦ блок приготування води для потреб гарячого водопостачання;
- ✦ блок теплообмінних апаратів системи опалення;



Рис. 14. Теплообмінник типу «грунт—повітря»



Рис. 15. 3-секційний багатоходовий теплообмінник типу «грунт—вода»



Рис. 16. Теплообмінник типу «контура водяна система підлогового опалення»

✦ блок підживлення.

Розглянемо більш детально основні блоки схеми.

Блок джерел теплоти для теплового насоса

Цей блок складається з теплообмінних апаратів — джерел теплоти для теплового насоса. Частина з них розташована в ґрунтовому масиві (3 теплообмінники різної конструкції з різними діаметрами умовного проходу), теплообмінний апарат свердловини водопостачання та ґрунтовий акумулятор теплоти. Теплоносієм для цих теплообмінників слугує розчин поліпропіленгліколя. Витрати теплоносія через кожен апарат регулюються за допомогою балансувального клапана, розташованого на розподільчій гребінці в підвалі будинку.

Балансувальні клапани дають можливість працювати кожному теплообміннику при розрахункових параметрах тиску та витратах теплоносія, а також (у разі необхідності) корегувати ці параметри для ефективної роботи апаратів. При цьому можуть використовуватись як всі теплообмінники одночасно, так і окремо деякі з них. Це досягається встановленням циркуляційного насоса з частотним регулюванням. У неопалювальний період року передбачена можливість кондиціювання повітря за допомогою фанкойлів. У цьому випадку теплоносії циркулює не через тепловий насос, а через пластинчатий паяний теплообмінник і охолоджує воду контуру фанкойлів. Витратомір та датчики температури (на схемі умовно не показані) дозволяють отримувати дані по отриманій тепловій енергії та дають широкий простір для проведення науково-дослідних заходів з оцінки роботи кожного теплообмінного апарату.

Блок перетворення і резервування теплової енергії

Основним джерелом теплоти для системи опалення будинку пасивного типу є тепловий насос. При зниженні температури навколиш-

нього повітря нижче розрахункового значення в схемі передбачено піковий електричний котел для додаткового підігрівання теплоносія (води). При цьому повністю реалізується автоматична система ввімкнення пікового котла за допомогою відкривання (або закривання) відповідних соленоїдних клапанів. Схемою передбачено встановлення зворотного клапана на виході з контуру пікового електричного котла для унеможливлення руху теплоносія в зворотному напрямку. На випадок виходу з ладу теплового насоса чи електричного котла передбачено використання резервного твердопаливного котла на біомасі.

Для підтримання температури теплоносія на вході в твердопаливний котел на заданому рівні (для запобігання конденсації водяної пари з димових газів на поверхні вмонтованого теплообмінника) встановлено трьохходовий клапан з електричним приводом. Клапан працює від датчика температури, який встановлено на вході в котел (на схемі умовно не показаний).

Блок приготування теплоносія для системи опалення та блок теплообмінних апаратів системи опалення

Основним елементом цього блоку є бак-акумулятор. Саме в ньому проходить приготування теплоносія для приладів системи опалення (окрім радіаторів та фанкойлів), а саме забезпечуються:

- ✦ електрична тепла підлога;
- ✦ капілярна водяна тепла підлога;
- ✦ звичайна водяна тепла підлога;
- ✦ теплообмінник бетонного простінка;
- ✦ настінний водяний теплообмінник;
- ✦ настінний капілярний теплообмінник;
- ✦ пластинчаті радіатори-конвектори;
- ✦ фанкойли.

При цьому для капілярних приладів опалення не потрібно встановлювати циркуляційні насоси. Достатньо гідравлічно розв'язати контури капілярних теплообмінних апаратів, звичайного теплового полу та настінних теплообмінників. Реалізується це шляхом встановлен-



Рис. 17. Теплообмінник типу «капілярна водяна система підлогового опалення»

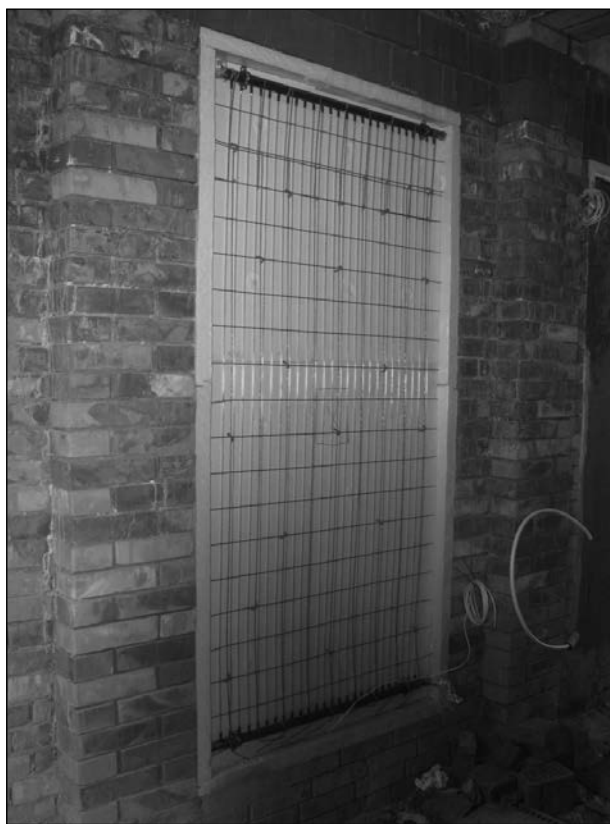


Рис. 18. Настінний капілярний теплообмінник

ня спіральних теплообмінників у корпус бака-акумулятора. Робочим середовищем бака є розчин парафіну для отримання додаткової теплоти при фазових переходах парафіну. Як і в блоці джерел теплоти для теплового насоса,



Рис. 19. Монтаж теплообмінника, вмонтованого в бетонний простінок

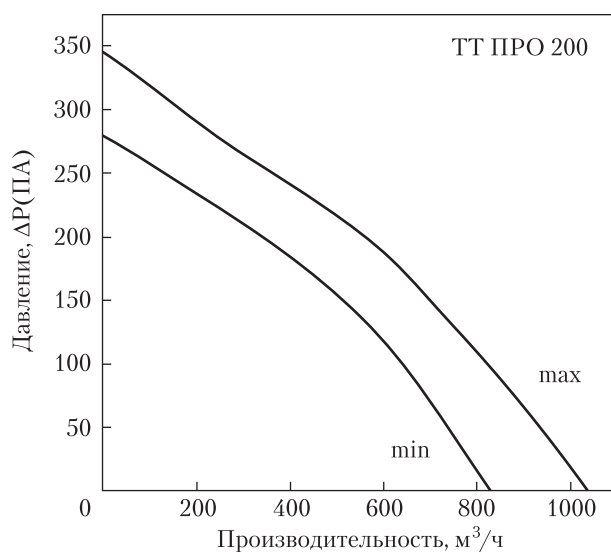


Рис. 20. Напірно-витратна характеристика вентилятора ВЕНТС ТТ Про 200

так і на вході в кожний теплообмінний апарат (окрім радіаторів та фанкойлів) встановлено балансувальний клапан.

Блок приготування води для потреб гарячого водопостачання та блок підживлення

Джерелом теплоти для гарячого водопостачання є система сонячних колекторів. Розчин поліпропіленгліколя, який нагрівся за раху-

нок сонячної радіації в колекторі, циркулює через спіральний теплообмінник в баці-акумуляторі. З іншого боку, холодна вода з водопроводу через прилад магнітної обробки «гидромультіполь» та регулятор тиску «після себе» надходить до циркуляційного контуру. Далі вода за допомогою циркуляційного насоса надходить до теплообмінника в бак-акумулятор, нагрівається до заданої температури і поступає до споживачів. В періоди, коли немає водозбору гарячої води, відбувається заповнення сезонного бака-акумулятора. Встановлення регулятора тиску «після себе» дозволяє унеможливити вплив коливань тиску у водопроводі на роботу системи.

Система підживлення працює так: при зменшенні тиску в контурі (відносно робочого) спрацьовує датчик-реле тиску і відкривається відповідний соленоїдний клапан. При вирівнюванні тиску соленоїдний клапан закривається. При цьому датчик-реле тиску необхідно конструктивно встановлювати перед циркуляційним насосом і якомога далі від місця врізання трубопроводу системи підживлення. Це дозволить коректно працювати даним датчикам.

Підживлення контурів, що працюють на розчині поліпропіленгліколя, відбувається в ручному режимі за допомогою спеціальних штуцерів. Також у ручному режимі відбувається підживлення контуру капілярних теплообмінних апаратів.

Для компенсації температурного розширення теплоносіїв передбачено установку мембранних розширювальних баків у кожному контурі. Системи видалення повітря, аварійного зливання та фільтрації теплоносія на даній схемі умовно не показані. Нижче наведено питоме теплове навантаження на опалювальні прилади будинку пасивного типу (максимальна густина теплового потоку): 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 (фанкойли) 30 %.

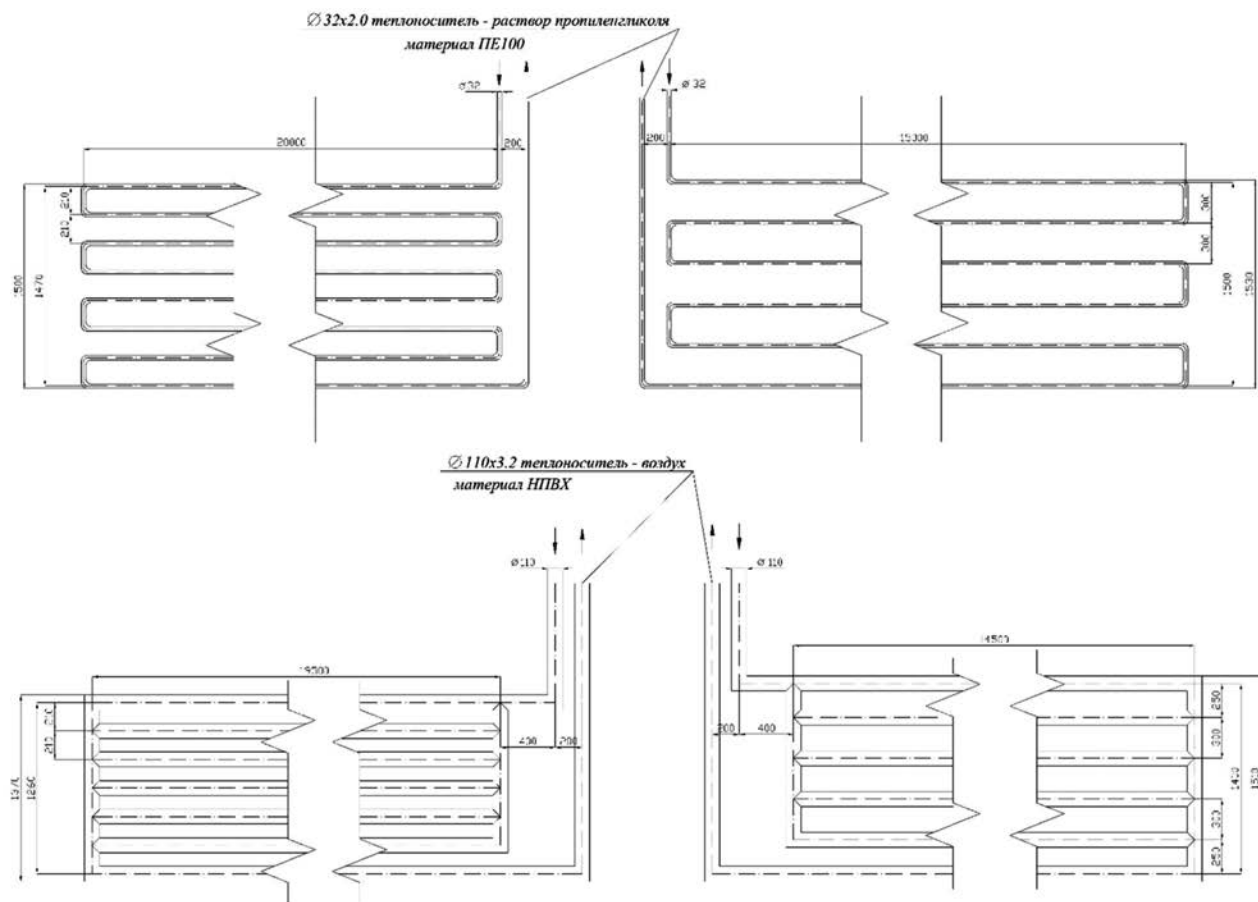


Рис. 21. Схеми теплообмінників типу «грунт—вода» і багатоходового типу «грунт—повітря» (північний і південний)

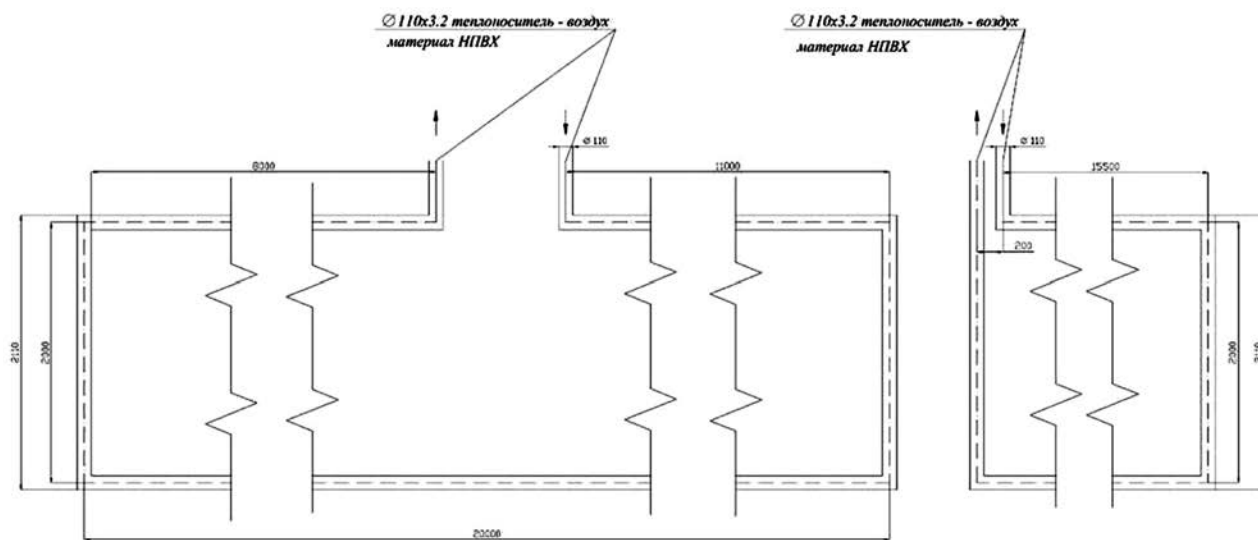


Рис. 22. Схеми кільцевих теплообмінників типу «грунт—повітря» (північний і південний)

ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОБІМНІКІВ СИСТЕМИ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДИНКУ ПАСИВНОГО ТИПУ

У ґрунтовому масиві (на глибині 2,5 м) розміщені теплообмінники — джерела теплової енергії для теплового насоса типу «ґрунт—вода», а також теплообмінники системи вентиляції типу «ґрунт—повітря» (рис. 13–15).

Таким чином, всього було змонтовано 3 теплообмінника типу «ґрунт—вода» (6 ниток, 8 ниток і 3-секційний багатоходовий) а також 4 теплообмінника типу «ґрунт—повітря» (2 одноходові з розподільчими колекторами і 2 одноходові, що розміщені по периметру траншеї). Слід зазначити, що теплообмінники типу «ґрунт—повітря» мають різне призначення. Так, одноходові з розподільчими колекторами підігрівають зовнішнє повітря, що потім надходить до рекуператора системи вентиляції будинку пасивного типу. А одноходові, розміщені по периметру траншеї, підігрівають повітря для повітряної теплової зависи будинку.

До теплообмінників опалювальних приладів системи теплозабезпечення будинку па-

сивного типу належать: контурна водяна система підлогового опалення, капілярна водяна система підлогового опалення, настінний трубчастий і капілярний теплообмінники), а також багатоконтурний теплообмінник, вмонтований в бетонний простінок між приміщеннями (рис. 16–19).

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ҐРУНТОВИХ ТЕПЛОБІМНІКІВ РІЗНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

На рис. 20–23 наведені схематичні зображення теплообмінників різної конструкції, особливості яких розглядалися вище. Відповідно у холодний і теплий періоди року проводились експериментальні дослідження напірно-витратних характеристик і теплотехнічних параметрів повітряних теплообмінників у різних технологічних режимах. Для прокачування крізь них зовнішнього атмосферного повітря використовувався каналний відцентровий вентилятор змішаного типу ВЕНТС ТТ Про 200. Його напірно-витратна характеристика наведе-

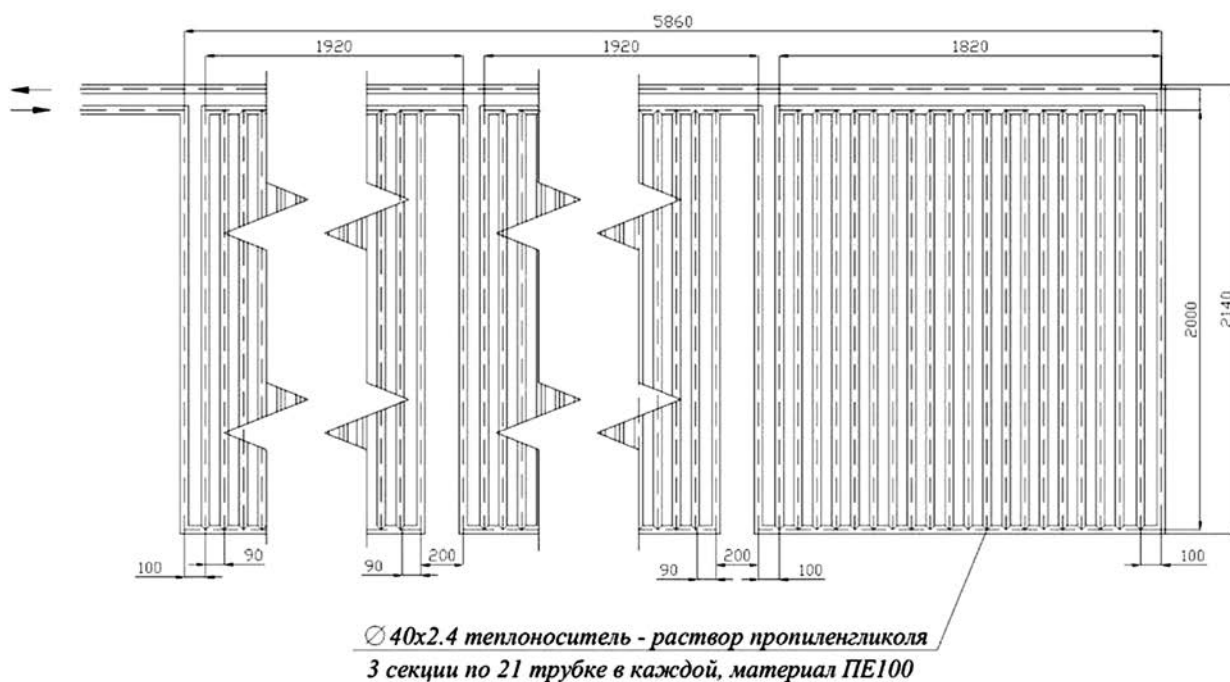


Рис. 23. Схема 3-секційного багатоходового теплообмінника типу «ґрунт—вода»

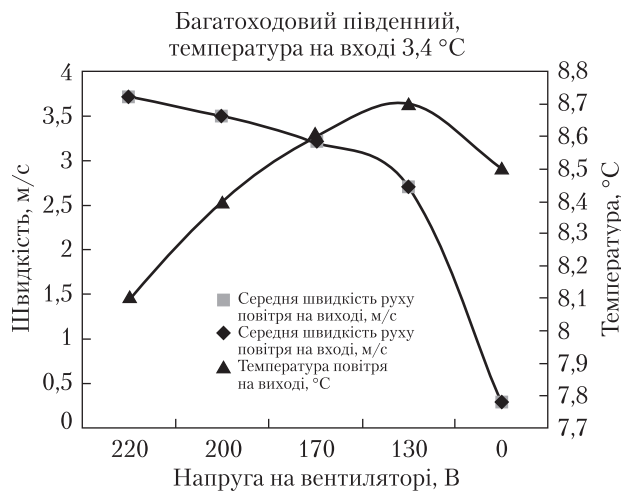


Рис. 24. Технологічні параметри багатоходового південного теплообмінника (у холодний період року)

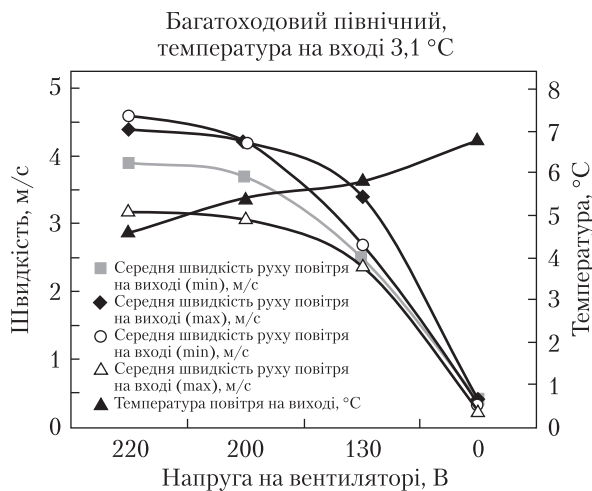


Рис. 25. Технологічні параметри багатоходового північного теплообмінника (у холодний період року)



Рис. 26. Технологічні параметри П-подібного південного теплообмінника (у холодний період року)

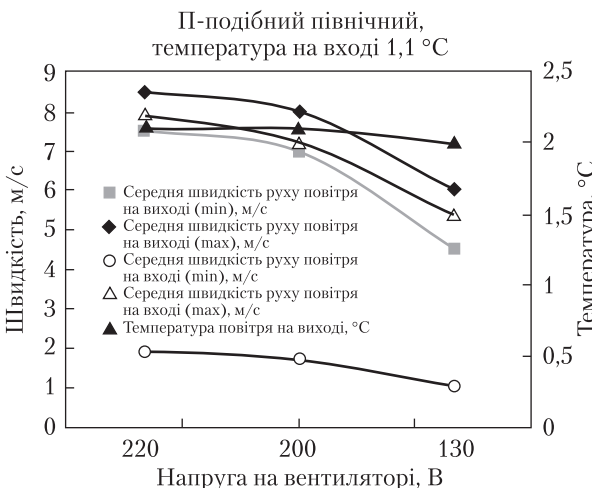


Рис. 27. Технологічні параметри П-подібного північного теплообмінника (у холодний період року)

дена на рис. 20. Її особливістю є майже лінійна залежність напору від об'ємної витрати повітря у всьому діапазоні продуктивності установки. Для дискретного регулювання (*min*–*max*) продуктивності вентилятора у комплектації передбачено перемикач режимів роботи. Для дослідження теплообмінних процесів при проходженні атмосферного повітря через багатоходові теплообмінники додатково використовувався лабораторний автотрансформатор РНО-250-5, що дозволяв змінювати на-

пругу змінного електричного струму живлення вентилятора (продуктивність у відповідному діапазоні значень напруги).

При цьому проводилися вимірювання значень швидкості та температури повітря у вхідному і вихідному патрубках повітряних теплообмінників (на ділянці поза гідродинамічної і теплової стабілізації потоку) термоанемометром Testo 405-V1 (абсолютні похибки вимірювання температури – $\pm 0,5$ °C; швидкості – $\pm 0,3$ м/с).

Результати проведених експериментів щодо визначення теплотехнічних характеристик теплообмінників типу «грунт-повітря» у холодний і теплий періоди року вибірково представлені на рис. 24–27.

У теплий період року проводилися експериментальні дослідження, які виявили охолодження зовнішнього атмосферного повітря на 11,2 °С нижче вихідного значення 29,8 °С. Значення швидкості руху повітря на вході до багатоходового південного теплообмінника і на виході з нього збігались і становили 3,6 м/с. Температура ґрунтового масиву при цьому дорівнювала 8,8 °С.

Таким чином, у теплий період року ґрунтовий теплообмінник забезпечує охолодження припливного повітря. Зовнішнє повітря надходить через повітряозабірний пристрій у ґрунтовий теплообмінник, де охолоджується завдяки ґрунту. Потім охоложене повітря подається по повітропроводах до припливно-витяжної установки, в якій на літній період замість рекуператора встановлена сезонна вставка. Завдяки такому рішенню відбувається зниження температури повітря в приміщеннях, поліпшується мікроклімат у будинку в цілому, знижуються витрати електроенергії на кондиціонування.

У холодний період року зовнішнє повітря надходить до теплообмінника типу «грунт–повітря», де нагрівається і потім надходить у припливно-витяжну установку для подальшого нагрівання його в рекуператорі. Попереднє нагрівання повітря знижує ймовірність обмерзання рекуператора припливно-витяжної установки, збільшуючи ефективний час використання рекуперації, і мінімізує витрати на додаткове нагрівання повітря у водяному або електричному нагрівачі.

ВИСНОВКИ

1. Для будинків пасивного типу з економічної точки зору доцільно створювати комплексні системи теплозабезпечення, які включають системи опалення, кондиціонування, вентиляції та гарячого водопостачання.

2. Доцільним є використання низькотемпературних опалювальних приладів (теплообмінники типу «тепла підлога», настінні теплообмінники та ін.), оскільки будинки пасивного типу мають низькі теплові втрати через огорожувальні конструкції.

3. Як джерела теплової енергії слід застосовувати теплові насоси, що використовують альтернативні ресурси (такі, як теплота ґрунту, повітря, теплота скидних стоків та ін.), а також геліоустановки. Особливо ефективними в цьому сенсі є технології сезонного акумулювання теплоти в ґрунті.

4. Система теплозабезпечення повинна мати декілька режимів роботи (для літнього, перехідного та зимового періодів) для забезпечення комфортних умов мікроклімату в будинку пасивного типу.

5. В періоди, коли середньодобова температура зовнішнього повітря має температуру до +8 °С, доцільним є опалення будинку пасивного типу тільки за рахунок рекуперативної системи вентиляції без залучення опалювальних приладів. При цьому ефективним є попереднє підігрівання зовнішнього повітря у теплообмінниках типу «грунт–повітря».

ЛІТЕРАТУРА

1. *Долінський А.А.* Енергозбереження та екологічні проблеми енергетики // Вісник НАН України. — 2006. — № 2 (14). — С. 24–32.
2. *Енергозбереження в житловому фонді: проблеми, практика, перспективи: Довідник / «НДІпроектреконструкція», Deutsche Energie-Agentur GmbH(dena), Instituts Wohnen und Umwelt GmbH(IWU), 2006. — 144 с.*
3. *Фауст В.* Основы проектирования пассивных домов. — М.: Изд-во АСВ, 2008. — 140 с.
4. *Басок Б.І., Недбайло О.М., Ткаченко М.В., Божко І.К., Новицька М.П.* Схемні рішення оснащення енергоефективного будинку системою теплозабезпечення // Пром. теплотехніка. — 2013. — Т. 35, № 1. — С. 50–56.
5. *Патент на корисну модель № 82399.* Система теплопостачання будинку на основі геліоустановки та теплового насоса / Басок Б.І., Недбайло О.М., Ткаченко М.В. та ін.; заявл. 25.07.2013 р., Бюл. № 14.

Б.И. Басок, И.К. Божко, Т.Г. Беляева,
С.М. Гончарук, А.Н. Недбайло, М.П. Новицкая,
М.В. Ткаченко, М.А. Хибина

Институт технической теплофизики
НАН Украины, Киев

ПОЛИВАЛЕНТНАЯ СИСТЕМА
ТЕПЛООБЕСПЕЧЕНИЯ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОМА ПАССИВНОГО
ТИПА (ПЛОЩАДЬЮ 300 м²) НА ОСНОВЕ ИС-
ПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ И
АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Представлены результаты разработки и реализации системы теплообеспечения экспериментального дома пассивного типа, исследованы оптимальные рабочие режимы, приведены рекомендации для создания систем теплообеспечения домов пассивного типа.

Ключевые слова: дом пассивного типа, энергосбережение, низкопотенциальная теплота, тепловой насос.

B.I. Basok, I.K. Bozhko, T.G. Belyaeva,
S.M. Goncharuk, O.M. Nedbailo, M.P. Novitska,
M.V. Tkachenko, M.A. Khybyna

Institute of Engineering Thermophysics,
NAS of Ukraine, Kyiv

THE POLYVALENT HEAT SUPPLY SYSTEM
FOR EXPERIMENTAL BUILDING OF THE PASSIVE
TYPE (AREA OF 300 m²) BASED ON RENEWABLE
AND ALTERNATIVE ENERGY SOURCES

Results of the development and implementation of heat supply system for experimental building of the passive type are presented, optimal operating conditions are investigated, guidelines for the creation of heat supply systems for passive type buildings are provided.

Key words: building of the passive type, energy saving, low-grade heat, heat pump.

Стаття надійшла до редакції 24.06.14