

УДК 662.99

Басок Б.І., Недбайло О.М., Ткаченко М.В., Божко І.К., Новіцька М.П.

Інститут технічної теплофізики НАН України

СХЕМНІ РІШЕННЯ ОСНАЦЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО БУДИНКУ СИСТЕМОЮ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

У статті наведена класифікація систем опалення за діапазоном температур поверхні теплообміну, що пропонується авторами для використання ними в подальших роботах. Представлені принципові схемні рішення для теплопостачання сучасних енергоефективних будинків типу "котедж" із використанням відновлюваних джерел енергії.

В статті приведена класифікація систем опалення по діапазону температур поверхні теплообміну, которая предлагается авторами для использования ими в дальнейших работах. Представлены принципиальные схемные решения для теплоснабжения современных энергоэффективных домов типа «коттедж» с использованием возобновляемых источников энергии.

In article classification systems of heating by a range of temperatures a surface heat exchange which is offered authors for use by them in the further works is resulted. Basic circuit decisions for a heat supply modern energy efficiency houses of type "cottage" with use of renewed energy sources are presented.

Ключові слова: енергоефективний будинок, системи теплозабезпечення, теплообмін, схемні рішення, температурний режим, енергоощадність.

Поєднання архітектурних прийомів із технологічними особливостями підтримання комфортних санітарно-гігієнічних умов у приміщеннях різного призначення є невід'ємною складовою сучасного енергоефективного будівництва. Світові тенденції у підвищенні енергетичної ефективності систем теплопостачання в цілому спрямовані на використання природних відновлювальних джерел енергії, скидних вторинних енергоресурсів, децентралізацію постачання теплоти, а також перехід на низькотемпературні опалювальні системи. Новітні системи теплозабезпечення енергоефективних будівель в багатьох випадках є полівалентними (що мають декілька джерел теплоти) із високим ступенем автоматизації керування процесами підтримання норм температурно-вологісного режиму.

Низькотемпературні системи опалення мають температуру поверхні теплообміну, що не перевищує (30...40) °С. Основним механізмом передачі теплоти в таких системах є вільна конвекція повітря (70 %) вздовж нагрітої поверхні з поступовим перемішуванням його в об'ємі приміщення. Радіаційна складова теплообміну тут низька (до 30 %). Як приклад можна привести такі системи опалення, як водяна (в т.ч. капілярна) і електрична (кабельні системи за ДБН В.2.5-24:2003) теплі підлога,

стіна або стеля; повітряна система опалення і кондиціонування за допомогою так званих фанкойлів (повітряно-рідинних теплообмінників із примусовою циркуляцією); плівкові системи опалення; побутові і промислові спліт-системи, чилери і т.д. Низькотемпературні системи опалення надзвичайно енергоефективні з використанням теплонасосних технологій у житлових і адміністративних будівлях.

Середньотемпературні системи опалення мають температуру у діапазоні (40...75) °С. При цьому має місце сукупність конвективного (60 %) і радіаційного (40 %) теплообміну опалювальних приладів, відповідно, із повітрям і предметами в приміщенні. Класичними прикладом є радіаторно-конвекторна система (СНиП 2.08.01 – 89. Отопление и вентиляция жилых зданий), твердотільний електричний акумулятор теплоти, що працює на пільговому тарифі і т.д. Середньотемпературні системи опалення розповсюджені у житлових, адміністративних і промислових будівлях різного призначення. Джерелом теплоти в них зазвичай є теплоносії від централізованого постачання (ТЕЦ, котельні, когенераційні установки). Також є доцільним використання таких систем з тепловими насосами різних типів.

Високотемпературні системи опалення ма-

ють температуру нагрівача, що перевищує 80 °С. Основним механізмом теплообміну є концентроване випромінювання в інфрачервоному спектрі хвиль (від 60 % і більше із зростанням температури та підвищенням ступеня чорноти поверхні приладу). Як прилад можна навести випромінювачі із керамічними, металевими або напівпровідниковими електронагрівальними елементами з рефлекторами. Такі системи вкрай доцільно використовувати в приміщеннях, де потрібен локальний підігрів, з великою висотою стелі або на відкритій території. В основному широке розповсюдження вони отримали у виробничих приміщеннях, сільському господарстві, а також у промислових технологічних цілях.

В Інституті технічної теплофізики НАН України (ІТТФ НАН України) накопичений значний досвід виконання наукових і технологічних досліджень щодо модернізації комунальної теплоенергетики, проведення науководослідних і інженерних робіт з розробки і створення сучасних систем теплопостачання [1]. Створення та апробація таких енергоощадних технологій низько- і середньотемпературних систем теплопостачання приміщень із використанням відновлювальних альтернативних джерел енергії (низькопотенційної теплоти ґрунту, атмосферного повітря, водоймищ, скидної теплоти промислових підприємств) на основі теплових насосів різних типів надає можливість комплексного вирішення проблеми теплозабезпечення будівель, в т.ч. будинку. Крім того, такі технічні рішення забезпечують значне зниження витрат на експлуатацію споруд, є екологічно чистими, призводять до суттєвої економії природного газу і, в окремих випадках, заміщення його використання. Крім того, це дозволяє частково використовувати електричну енергію «нічного провалу» в електроспоживанні.

Використання теплонасосних систем з відновлювальними джерелами енергії це реальна альтернатива використанню органічних палив як джерел енергії. На трансформацію однієї одиниці теплоти теплонасосна установка витрачає в три і менше разів електричної енергії. Об'ємний сезонний акумулятор теплоти є одним з додаткових джерел теплоти у холодний період року, що може забезпечити ефективну роботу теплонасосної

установки для теплопостачання.

Коллективом виконавців проекту розроблені схемні технічні рішення бівалентної системи опалення лабораторного приміщення ІТТФ НАН України площею 18 м² [2], а також виконані попередні техніко-економічні обґрунтування доцільності таких систем із використанням сонячних колекторів у приватно-побутовому секторі [3]. Оригінальні підходи попередніх проектів [4, 5] були використані при розробці комплексних рішень щодо теплозабезпечення енергоефективного будинку загальною площею 300 м², як майбутнього прототипу пасивного будинку типу «0 енергії» (енергоавтономного).

Передбачається спеціальна орієнтація будинку у відповідності до сторін світу, використання відповідних архітектурних прийомів для мінімізації природних теплових втрат, оптимізований вибір будівельних матеріалів для огорожувальних і світлопрозорих конструкцій будинку з метою створення можливості дослідження і порівняння їх параметрів щодо енергозбереження у реальному часі. В експериментальному будинку реалізовані: автономна полівалентна теплонасосна система енергозабезпечення із використанням відновлювальної теплоти ґрунту, інсоляції і рекуперації в системі припливно-витяжної вентиляції, а також використання сонячної енергії (теплові колектори, фотогальваніка). Схема передбачає розміщення сонячних теплових і фотоелектричних колекторів на односкатному даху будинку під оптимальним кутом 33° для даної місцевості із південної сторони будинку; розташування теплового насосу і сезонних об'ємних баків-акумуляторів теплоти (водяний, гліцерино- та парафіновмістний) у цокольному поверсі будинку; водозабір технічної води із свердловини поруч; використання систем водяного опалення типу тепла водяна підлога і стіна; тепла капілярна стіна; електрична тепла підлога (у окремих приміщеннях); повітряна система опалення і кондиціонування на основі фанкойлів; рекуперативна система примусової вентиляції будинку із ґрунтовими повітряними теплообмінниками; використання вітроагрегата на прибудинковій території із акуму-

ляторами для безперебійного електроживлення. Створений будинок буде оснащений 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. Періодично планується проведення тепловізійного обстеження фасадів для локалізації теплотрат та їх мінімізації.

Гідравлічна схема системи тепlopостачання наведена на рис. 1. Основними засадами її розробки є принцип мінімізації довжини трубопроводів із можливістю реверсного руху теплоносія по деяких ділянках, зменшення кількості коштовних прецензійних контрольно-вимірювальних приладів завдяки використанню однієї одиниці останніх у різних технологічних режимах (при відповідній комутації руху теплоносія), а також багатоваріантність технологічних режимів із вибором джерела тепlopостачання і відокремлення опалювальних приладів і систем для порівняння їх енергоефективності. Схема складається з 7 контурів: сонячного колектора, опалення теплою водяною підлогою, опалення теплою водяною стіною, опалення фанкойлами, сезонного бака-акумулятора, ґрунтового теплообмінника, теплового насоса, а також (опціонально, на схемі не наведений) гарячого водопостачання. Чотири контури безпосередньо проходять через бак-акумулятор, що одночасно накопичує теплоту від різних джерел і гідравлічно розв'язує їх поміж собою відповідно із теплообміном.

У контурі сонячного колектора обов'язковим є використання 30 % водного розчину поліпропіленгліколю для запобігання його замерзання у разі зупинки експлуатації системи. В інших контурах теплоносієм є підготовлена вода. Для компенсації об'ємного розширення рідини в кожному контурі передбачені мембранні бачки.

В холодний період року відбувається акумуляція теплоти у баку-акумуляторі завдяки використанню інсоляції і відновлювальної теплоти ґрунтового масиву за допомогою теплового насоса. Опалювальні контури мають теплове навантаження у окремих приміщеннях на різних

поверхнях будинку, що дає змогу регулювати їх тепловий стан. За допомогою регулювання витрати теплоносіїв в контурах і комутації останніх підтримується необхідна температура для тепlopостачання. В залежності від технологічного теплового навантаження для досліджень можливі варіанти спільного або поодиначного використання джерел теплоти. При цьому схема дозволяє досліджувати динаміку розповсюдження теплоти у ґрунтовому масиві, а також компенсувати його тепловий стан в теплий період року із одночасним пасивним кондиціонуванням повітря приміщень фанкойлами. При досягненні теплоносієм зворотної в сонячний колектор температури значення вихідної з нього, циркуляційний насос автоматично повинен вимикатися. Вимірювання кількості теплоти забезпечується встановленням у всіх контурах тепломірів, що реалізують автоматичну реєстрацію показів із різною періодичністю на комп'ютері. Всі датчики температури використовуватимуться із цифровими вторинними приладами, що дозволяють в режимі реального часу вести записи, їх наступну обробку і аналіз за допомогою спеціального програмного забезпечення.

Схема, представлена на рис. 2 була розроблена на основі попередньої гідравлічної схеми (рис. 1).

Структурно принципову схему можна поділити на наступні основні блоки:

- 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;
- блок підживлення.

Блочний принцип побудови схеми полегшує її читання, зменшує вірогідність помилок при монтажі устаткування та приводить принципову схему в естетично гармонійний вигляд. Далі розглянемо більш детально основні блоки схеми.

Блок джерел теплоти для теплового насоса

Тут в розгорнутому вигляді представлені теплообмінні апарати – джерела теплоти для теплового насоса, частина з яких розташована над коробом теплової мережі ІТТФ (три

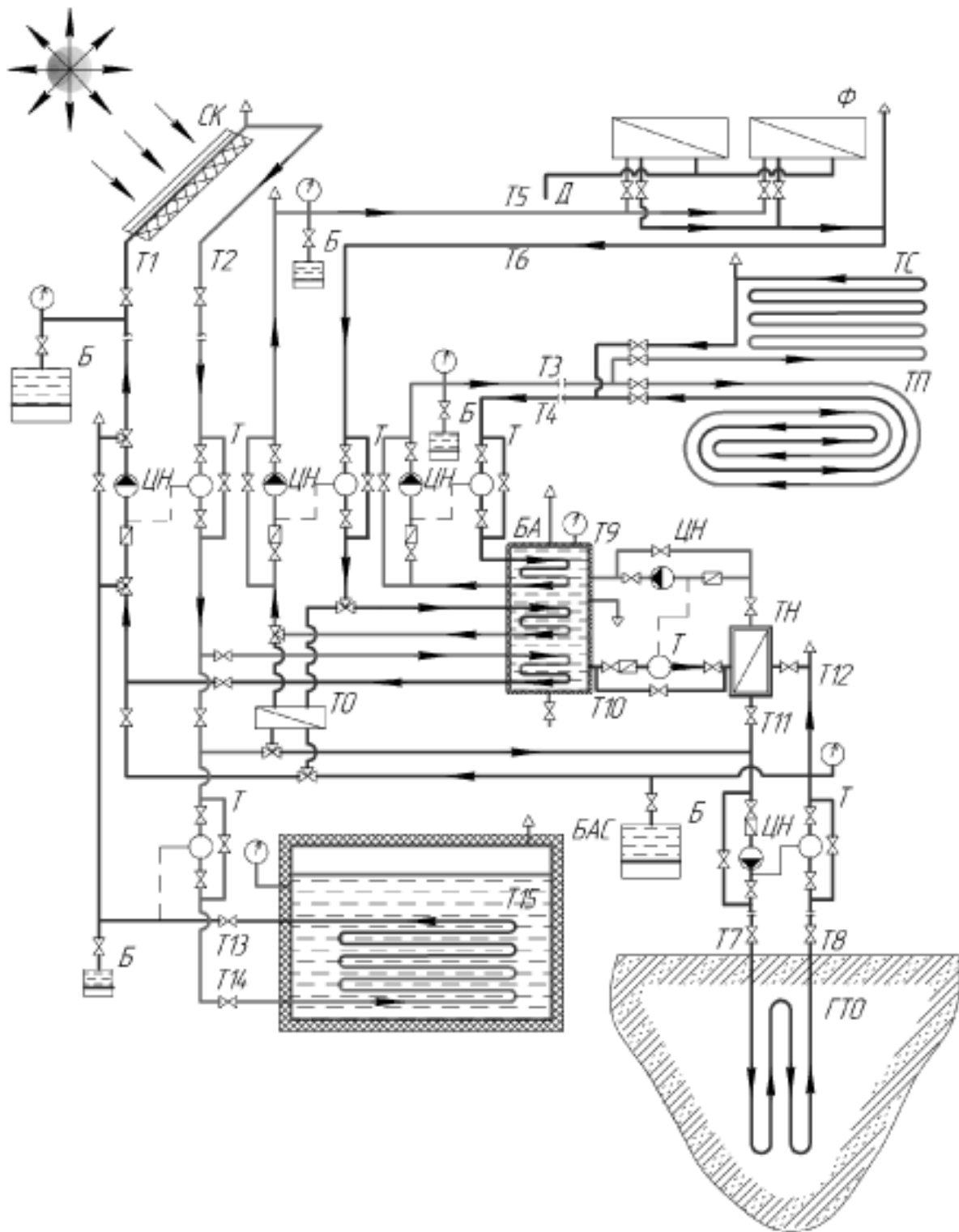


Рис. 1. Принципова гідравлічна схема системи теплопостачання енергоефективного будинку:
 Б – експанзомати, БА – бак-акумулятор, БАС – бак-акумулятор сезонний,
 ГТО – ґрунтовий теплообмінник, Д – дренаж, СК – сонячні колектори, ТН – тепловий насос,
 ТО – теплообмінник пластинчатий, ТП – тепла водяна підлога, ТС – тепла водяна стіна,
 ЦН – циркуляційні насоси, Т – термоміри, Ф – фанкойли (повітряні теплообмінники),
 Т1...Т15 – датчики температури, $T1 \geq T2$ – циркуляційний насос вимкнений.

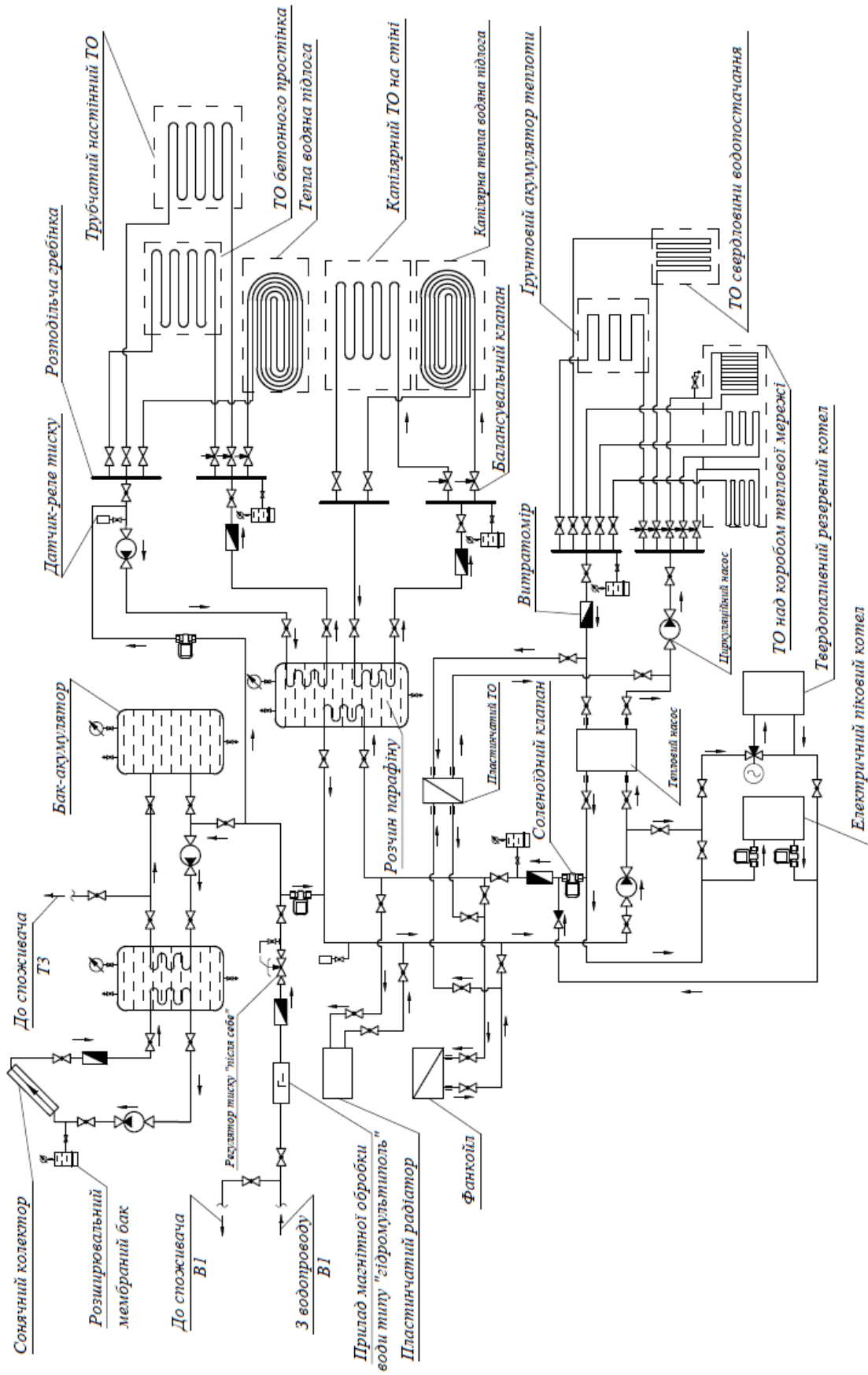


Рис. 2. Розгорнута принципова схема системи опалення і гарячого водопостачання енергоефективного будинку.

теплообмінника різної конструкції та діаметра умовного проходу), теплообмінний апарат свердловини водопостачання та ґрунтовий акумулятор теплоти. Теплоносієм для цих теплообмінників слугує розчин пропіленгліколя. Витрата теплоносія через кожен апарат регулюється за допомогою балансувального клапана, який розташований на розподільчій гребінці в підвалі будинку.

Балансувальні клапани дозволяють працювати кожному теплообміннику при розрахункових параметрах тиску та витрати теплоносія, а також, в разі необхідності, коригувати ці параметри для ефективної роботи апаратів. При цьому використовуватись можуть як всі теплообмінники одночасно, так і деякі з них. Це досягається встановленням циркуляційного насоса з частотним регулюванням. В неопалювальний період року передбачена можливість кондиціонування повітря за допомогою фанкойлів. В цьому випадку теплоносій циркулює не через тепловий насос, а через пластинчатий паяний теплообмінник і охолоджує воду контуру фанкойлів.

Встановлений витратомір та датчики температури (на схемі умовно не показані) дозволяють отримувати дані по отриманій тепловій енергії та дають широкий простір проведення науководослідних заходів з оцінки роботи кожного теплообмінного апарату.

Блок перетворення і резервування теплової енергії

В якості основного джерела тепла для системи опалення енергоефективного будинку планується використання теплового насоса. Також в даній схемі передбачений піковий електричний котел для додаткового підігріву теплоносія (води) при зниженні температури навколишнього повітря за розрахункове значення. При цьому реалізується повністю автоматична система увімкнення пікового котла за допомогою відкривання (або закривання) відповідних соленоїдних клапанів. Схемою передбачено встановлення зворотнього клапана на виході з контуру пікового електричного котла для унеможливлення руху теплоносія в зворотному напрямку. Також передбачено резервний твердопаливний котел на біомасі на випадок виходу з ладу теплового насоса, або електричного котла.

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. Даний 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, за допомогою встановлення теплообмінних апаратів здійснюється приготування теплоносія для приладів системи опалення (окрім радіаторів та фанкойлів).

З моменту розробки схеми на рис. 1 перелік опалювальних приладів дещо змінився і розширився. Зараз він включає наступні прилади:

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

При цьому для капілярних приладів опалення не потрібно встановлення циркуляційних насосів. У зв'язку з цим виникла потреба гідравлічно розв'язати контури капілярних теплообмінних апаратів та звичайної теплої підлоги і настінних теплообмінників. Реалізується це встановленням спіральних теплообмінників в корпус бака-акумулятора.

Робочим середовищем бака слугує розчин парафіну для отримання додаткової теплоти при фазових переходах парафіну. Як і в блоці джерел теплоти для теплового насоса, на вході в кожний теплообмінний апарат (окрім радіаторів та фанкойлів) встановлено балансувальний клапан.

Блок приготування води для потреб гарячого водопостачання та блок підживлення

Також була вдосконалена система гарячого водопостачання та розроблена система підживлення водяних контурів. Джерелом теплоти для гарячого водопостачання була прийнята система сонячних колекторів. Розчин пропіленгліколя,

який нагрівається за рахунок сонячної радіації в колекторі, циркулює через спіральний теплообмінник в баці-акумуляторі. З іншої сторони, холодна вода з водопроводу ІТТФ через прилад магнітної обробки «гідромультіполь» та регулятор тиску «після себе» надходить до циркуляційного контуру.

Далі за допомогою циркуляційного насоса надходить до теплообмінника в бак-акумулятор, нагрівається до заданої температури і поступає до споживачів. В періоди, коли немає водорозбору гарячої води, відбувається заповнення сезонного бака-акумулятора. Встановлення регулятора тиску «після себе» дозволяє унеможливити плив коливань тиску у водопроводі В1 на роботу системи.

Система підживлення працює наступним чином: 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 підживлюючого трубопроводу. Це дозволить коректно працювати даним датчикам.

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

Для компенсації температурного розширення теплоносіїв передбачено установку мембранних розширювальних баків в кожному контурі. Системи видалення повітря, аварійного зливу та фільтрації теплоносія на даній схемі умовно не показані.

Питоме теплове навантаження на опалювальні прилади енергоефективного будинку (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 %.

Сонячні колектори передбачаються виробництва фірми «Афрос» (м. Севастополь), тепловий насос фірми «ВДЕ» (м. Бровари).

Експериментальний енергоефективний будинок стане зручним полігоном для тестування, апробації та дослідження будівельних матеріалів і конструкцій, сучасних технологій енерго- та теплопостачання із використанням відновлювальних джерел енергії.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Басок Б.І.* Научно-технический центр теплонасосных технологий ИТТФ НАН Украины / Б.И. Басок, А.Н. Недбайло, А.И. Накорчевский, Т.Г. Беляева, А.Р. Коба, М.В. Ткаченко, А.А. Лунина, А.И. Тесля, М.А. Хибина // Тезисы докладов 7-й международной конференции «Проблемы промышленной теплотехники», Киев, 2011. – С. 76 – 77.

2. *Недбайло А.Н.* Использование солнечного коллектора для отопления помещения / А.Н. Недбайло, Н.Є. Ляшенко // Пром. теплотехника. – 2010. – Т. 35, № 4. – С. 66 – 70.

3. *Недбайло А.Н.* Анализ экономической эффективности работы комбинированной геотермальной аккумуляционной системы теплообеспечения / Н.Є. Ляшенко, А.А. Рутенко // Пром. теплотехника. – 2011. – Т. 37, № 3. – С. 62 – 68.

4. *Басок Б.І.* Створення ґрунтових-водо-водяних теплообмінників для теплонасосних технологій теплопостачання приміщень / Б.І. Басок, А.Р. Коба, О.М. Недбайло, Т.Г. Беляєва, А.И. Тесля, М.А. Хибина, М.В. Ткаченко, А.О. Лунина // Наука та інновації. – 2012. – Т. 8. – № 1. – С. 67 – 76.

5. *Басок Б.І.* Моделювання теплового стану приміщення з системою водяного підлогового опалення / Б.І. Басок, О.М. Недбайло, М.П. Новіцька, М.В. Ткаченко // Пром. теплотехника. – 2012. – Т. 34, № 7. – С. 65 – 73.

Получено 03.12.2012 г.