

Наука — виробництву

УДК 620.9

DOI: 10.31471/1993-9973-2018-4(69)-57-69

МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ТУРБОКАМІНУ ТА ІНТЕГРАТОРА

І.Р. Ващишак, О.В. Лаврик

*ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 504708,
e-mail: savchyn.ira@gmail.com*

Актуальність роботи зумовлена необхідністю створення енергоефективних систем опалення в умовах стрімкого підвищення цін на енергоносії. Проведено аналіз систем опалення будинків і видів палива для них та встановлено, що найбільш енергоефективною є комбінована система опалення з кількома джерелами теплової енергії, одним з яких є турбокамін. Розглянуто процеси, що протікають у камінах із водяним контуром. Удосконалено конструкцію турбокаміну шляхом застосування в ньому термоелектричної батареї. Вибрано елементи термоелектричної батареї та розраховано її потужність. Розраховано потужність системи інтегрованого опалення будинку. Розглянуто структурну схему системи інтегрованого опалення. Підібрано інтегратор для системи опалення. Розроблено алгоритм роботи мікроконтролера управління удосконаленим турбокаміном з термоелектричною батареєю та підібрано мікроконтролер управління. На основі алгоритму роботи системи інтегрованого опалення розроблено алгоритм роботи її мікроконтролера.

Ключові слова: енергоефективність, енергозбереження, системи опалення, елементи Пельтьє, турбокамін, інтегратор

Актуальность работы обусловлена необходимостью создания энергоэффективных систем отопления в условиях резкого повышения цен на энергоносители. Проведен анализ систем отопления зданий и видов топлива для них и установлено, что наиболее энергоэффективной является комбинированная система отопления с несколькими источниками тепловой энергии, одним из которых является турбокамин. Рассмотрены процессы, протекающие в каминных с водяным контуром. Усовершенствована конструкция турбокамина путем применения в нем термоэлектрической батареи. Выбраны элементы термоэлектрической батареи и рассчитана ее мощность. Рассчитана мощность системы интегрированного отопления дома. Рассмотрена структурная схема системы интегрированного отопления. Подобран интегратор для системы отопления. Разработан алгоритм работы микроконтролера управления усовершенствованным турбокаминном с термоэлектрической батареей и подобран микроконтроллер управления. На основе алгоритма работы системы интегрированного отопления разработан алгоритм работы ее микроконтролера.

Ключевые слова: энергоэффективность, энергосбережение, системы отопления, элементы Пельтье, турбокамин, интегратор

The importance of the work is based on the necessity of developing energy-efficient heating systems in the conditions of rapid increase of energy prices. Heating systems for buildings and fuels for them are analyzed. It is established that a combined heating system with several sources of thermal energy, one of which is turbo fireplace is the most energy-efficient. The processes in fireplaces with a water loop are considered. The design of turbo fireplace is improved by applying a thermoelectric battery. The elements of the thermoelectric battery are selected and its power is determined. The power of the integrated heating system of the building is calculated. The block scheme of the integrated heating system is considered. The heating system integrator is selected. The algorithm of microcontroller operation with advanced turbo fireplace with a thermoelectric battery is developed and a microcontroller

operation is chosen. The algorithm of the integrated heating system developed an algorithm for the operation of its microcontroller.

Key words: energy efficiency, energy saving, heating systems, Peltier elements, turbo fireplace, integrator.

Вступ

Проблемою енергетичної безпеки держави є зменшення до мінімуму споживання природного газу. В цьому випадку для забезпечення необхідного рівня комфорту людей в опалювальний період потрібно використовувати альтернативні енергоносії. Внаслідок коливання цін на ринку одні енергоносії можуть дорожчати, а інші – дешевшати, проте споживач у більшості випадків не має змоги змінювати один енергоносії на інший. Вирішенню цієї проблеми сприяє поява комбінованих систем опалення, однак ефективне управління такими системами є доволі складним процесом.

У зв'язку з цим питання підвищення енергоефективності систем комбінованого опалення та зменшення споживання енергоносіїв є доволі актуальним. Від того, з яких елементів складається інтегрована система опалення будинку та як складено алгоритм її роботи, безпосередньо залежать температура та щомісячні витрати на оплату енергоносіїв.

Шляхами підвищення рівня енергоефективності систем опалення будинків є застосування сучасних технологій і приладів для генерування і розподілу теплової енергії та алгоритмів оптимального використання палива.

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень і публікацій

Завдяки розвитку сучасних технологій для опалення будинків і великих замських приміщень є чималий вибір видів систем опалення, як наприклад, газове, мастильне, електричне, тепловий насос, вугільний котел, піч, камін, сонячні колектори, чи камін з водяним рукавом. Основними критеріями вибору системи опалення є ціна палива та пристроїв, що входять до складу системи, а також її надійність.

Згідно з проведеним аналізом систем опалення і видів енергоносіїв для них найвигіднішим для опалювання приватних будинків є системи комбінованого опалення. В такому випадку власник приватного будинку на свій розсуд може вибирати систему опалення в залежності від її ефективності, складності, вартості та вигляду. Однак, найголовнішим при цьому залишається вибір палива, на якому працюватиме система опалення.

Умови вибору палива для системи опалення будинку є наступними: ціна на паливо; ціна опалювальної системи і вартість її монтажу; вартість обслуговування опалювальної системи; температура повітря холодної пори року в даному регіоні; наявність комунікацій подачі енергоносіїв; призначення будинку (місце постійного проживання або тимчасового перебування чи роботи); наявність тепловитрат і ступеня теплоізолювання; зручність експлуатації системи опалення й палива; наявність певного виду палива в даному регіоні.

Комбіновані системи опалення бувають трьох основних типів:

- комбінована система опалення з застосуванням різних видів палива;
- комбінована система опалення з використанням одного виду палива і різних опалювальних приладів;
- інші види комбінованих систем опалення.

На ринку наявний великий асортимент комбінованих котлів з двома типами пальників, один з яких розрахований на використання рідкого газу, а інший на використання рідкого палива. Існують і більш складні комбінації, коли котел може працювати додатково і на твердому паливі. Деякі котли можуть працювати на рідкому і твердому паливі, балонному і магістральному газі, та ще застосовуються в комбінації з електричним тенем. Заміна виду палива найбільш актуальна при підвищенні цін на певний вид палива, запланованій газифікації або при перебоях в постачанні палива.

Однак, вартість і складність комбінованої системи опалення із застосуванням різних видів палива є значно вищими за вартість котлів чи турбокамінів аналогічної потужності.

Комбінована система опалення з використанням одного виду палива і різних опалювальних приладів – це система, де застосовуються настінні радіатори (водяні або електричні) і тепла підлога.

Використання теплої підлоги як пристрою опалення за рахунок того, що тепло надходить знизу і піднімається вгору, забезпечує дуже високий рівень комфорту. Проте повністю відмовлятися від радіаторів опалення не варто. Професіонали зі створення опалювальних систем для замського будинку рекомендують найчастіше саме комбінований варіант. Оптимальна пропорція, відповідно до їх рекомендацій, це

коли 70 % тепла надходить від теплої підлоги, а 30 % – від радіаторного опалення. При цьому теплоносії для радіаторів розігрівається до 75 °С, а для теплої підлоги – до 60 °С. Рентабельність такого комбінування можна підвищити, якщо в різні періоди підключати різні групи опалювальних приладів.

Існує велика кількість варіантів створення комбінованих систем. Вибір комбінації залежить від можливостей і потреб домовласника. Наприклад, якщо є опалювальна система з котлом, який працює на рідкому паливі, і теплоносієм, який нагріває радіатори, то в міжсезоння економічно не вигідно запускати таку систему. В таку пору року доцільніше просто розпалити камін. У зимовий же час основне навантаження ляже на котел, а камін буде використовуватися тільки для створення затишку.

У південних регіонах країни все більшого поширення набуває комбінація сонячного колектора і газового котла, які з'єднані в одну опалювальну мережу. Це дуже складна система, яка має бути забезпечена надійними елементами автоматики. Влітку вона працює без увімкнення газового котла для отримання гарячої води, а в осінньо-весняний період дозволяє економити ресурс котельного устаткування і паливо.

Однак у північних регіонах така система менш ефективна. Тут доцільніше буде застосувати в системі опалення тепловий насос. Цей агрегат використовує природне тепло землі, яке є невичерпним джерелом енергії. Існує один недолік такого приладу — висока ціна, яка значно підвищує витрати на створення системи опалення.

В даний час у власників приватних будинків, дач та великих квартир все більшої популярності набуває інтегроване опалення – комплексна система опалення, що є економічним рішенням для опалення будинку та приготування гарячої води на побутові потреби.

Застосування інтегрованого опалення забезпечує енергетичну безпеку споживача завдяки взаємодії кількох незалежних джерел тепла: турбокаміну, геліоколекторів і нагрівального котла будь-якого типу. Інтегроване опалення з функцією буферизації енергії і захистом системи від перегрівання дозволяє використовувати для опалювання будинків сонячні колектори.

Висвітлення невирішених раніше частин загальної проблеми, якій присвячується стаття

Для забезпечення енергоефективного теплопостачання будинку доцільно використати систему інтегрованого опалення з турбокаміном та інтегратором. Крім того, для забезпечення економії енергоносіїв необхідно провести удосконалення конструкції турбокаміну шляхом застосування термоелектричної батареї.

Висвітлення основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням одержаних наукових результатів

Каміни з водяним контуром – важлива частина системи комбінованого опалення. Їх робота кардинально відрізняється від роботи звичайних печей та камінів. Такі каміни дають змогу максимально використовувати енергію горіння палива для нагрівання води, яка накопичується в теплоаккумуляторі, а потім застосовується в системі опалення. ККД камінів з водяним контуром, в залежності від їх конструкції та виду і якості палива, може досягати 80% і вище. Як правило, такі каміни оснащують повітропроводами, які подають у приміщення тепле повітря.

Розглянемо базові конструкції камінів з водяним контуром [1].

На рисунку 1 зображено конструкцію каміна, навколо топки якого розміщено ємність з водою – водяну сорочку. Водяна сорочка разом з трубопроводами утворює перший контур системи опалення. Цей контур замкнутий. Рух води у ньому відбувається природнім шляхом в процесі нагрівання. Другий контур утворений трубопроводами лінії подачі і зворотної лінії та радіаторами опалення. Тепло від першого контуру до другого передається за допомогою пластинчастого теплообмінника.

Недоліками каміна з водяною сорочкою є повільний рух теплоносія, значні втрати тепла у пластинчастому теплообміннику, поступове засмічення прохідного перерізу пластинчастого теплообмінника твердими рештками, можливість розриву водяної сорочки при сильному перегріві.

Набагато ефективнішим за камін з водяною сорочкою є турбокамін з теплообмінником (рисунком 2). В такій конструкції у водяну сорочку каміна вмонтовано трубчастий теплообмінник, завдяки чому вдалося отримати одноконтурну систему опалення. ККД такої системи

суттєво вищий, бо тепло від каміна через водяну сорочку відразу передається теплообміннику, який з'єднаний з радіаторами опалення. Для швидкого розігріву радіаторів застосовується циркуляційний насос, що створює примусову циркуляцію води в опалювальній системі. Надлишок води в сорочці турбокаміну, що виникає внаслідок її розширення від розігріву, виводиться в розширювальний бак. Звідки вона, охоловши, подається назад у водяну сорочку. Для ефективної роботи турбокаміну потрібна система автоматичного регулювання.

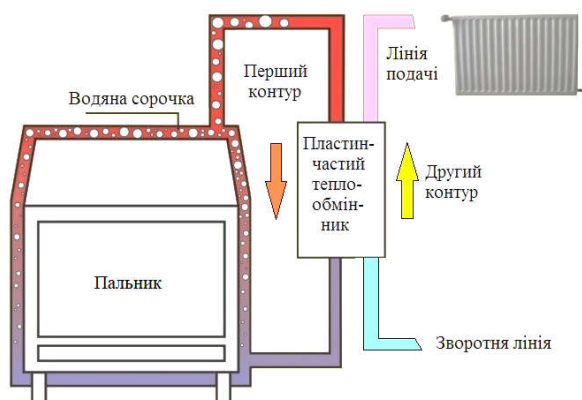


Рисунок 1 – Камінь з водяною сорочкою

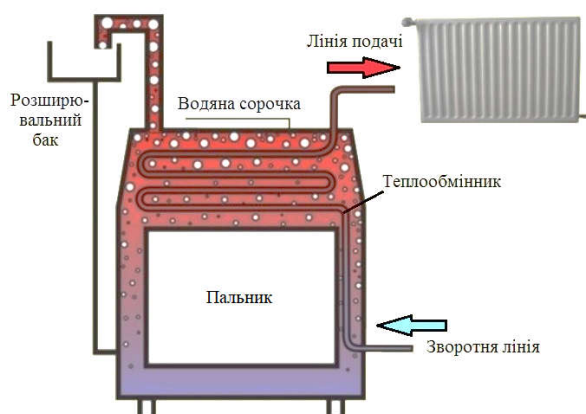


Рисунок 2 – Турбокамінь з теплообмінником

Циркуляційний насос з системою автоматики та виконавчими механізмами, а також освітлення кімнати, де знаходиться турбокамінь, та інших кімнат у будинку вимагають значних затрат електроенергії. Їх можна уникнути, якщо забезпечити турбокамінь автономним живленням. Автономне живлення можна організувати, наприклад, від сонячних батарей. Однак, застосування акумуляторів для накопичення електроенергії здорожчує систему і робить її громіздкою. Та й вартість сонячних панелей також є дуже високою (може перевищити вартість турбокаміну).

Аналогічна ситуація виникає при застосуванні як джерела електроенергії вітрогенераторів. До того ж, сонячні панелі та вітрогенератори повинні знаходитись за межами будинку і займати значну площу. А це у багатьох випадках є неприйнятним.

На нашу думку, найпростішим джерелом електроенергії може служити термоелектрична батарея, розміщена безпосередньо у турбокаміні. Такий спосіб отримання електроенергії дозволить виробляти і використовувати її тільки у той час, коли турбокамінь працює. А сама батарея електрогенеруючих елементів не займатиме місця у приміщенні та не вимагатиме наявності довгих мереж і складних систем для зв'язку зі споживачами.

Застосування термоелектричних генераторів у турбокаміні дозволить забезпечити безперебійне електроживлення системи опалення (автоматики, циркуляційних насосів), що зробить її повністю незалежною від зовнішньої електромережі. Крім того, батарея термоелектричних генераторів, інтегрована в турбокамінь, може бути резервним джерелом електроживлення для широкого спектра побутових приладів і приладів освітлення.

Як термоелектричні генератори доцільно використати елементи Пельтьє. Для запропонованої термоелектричної батареї вибрано елемент Пельтьє TEC1-12706 [2] (максимально допустима температура елемента $T_{max} = 138\text{ }^{\circ}\text{C}$; максимальний ККД елемента Пельтьє TEC1-12706 настає за різниці температур між його сторонами $27\text{ }^{\circ}\text{C}$; розміри елемента: довжина – 40 мм, ширина – 40 мм, висота – 3,8 мм; експлуатаційний термін служби елемента – 200000 год.).

Для нормальної роботи термоелектричної батареї необхідно, щоб вона з однієї сторони нагрівалась, а з іншої – охолоджувалась. При цьому потрібен постійний теплообмін на гарячій стороні елемента Пельтьє для запобігання його перегріву і виходу з ладу. Слід взяти до уваги, що досягти необхідної температури холодної сторони елемента Пельтьє дуже важко, оскільки він понижуює температуру відносно гарячої поверхні.

В промислових виробках для роботи елементів Пельтьє застосовують радіатори на кожній з його сторін та охолодження (як правило, повітряне) нагрітої сторони.

У випадку з турбокамінем таке рішення є нераціональним, тому що це сильно збільшує розміри термоелектричної батареї і суттєво понижуює її надійність.

Досягти нормальної роботи елементів термоелектричної батареї можна, якщо в турбокаміні застосувати подвійну водяну сорочку – одну холодну, іншу – гарячу. Холодна водяна сорочка повинна бути розміщена ближче до зовнішніх стінок каміна, а гаряча – ближче до пальника. Між цими сорочками і потрібно розмістити елементи термоелектричної батареї. При такому розміщенні можна стабілізувати температуру елементів Пельтьє шляхом перемішування води в гарячій водяній сорочці. Для цього можна використати малопотужний циркуляційний насос. Також, необхідно передбачити можливість поповнення води у гарячій водяній сорочці. Це можна зробити шляхом застосування розширювального бачка. Нагріту воду з холодної водяної сорочки можна просто виливати в каналізацію, час від часу поповнюючи її холодною водою з трубопроводної мережі.

Щоб тепло не передавалось з гарячої водяної сорочки холодній через вузький проміжок повітря між ними, де розміщено елементи Пельтьє, всі порожнини доцільно заповнити теплоізолюючим матеріалом. Теплоізолюючі характеристики матеріалу повинні бути набагато кращі, ніж у повітря.

Кількість води і температура у водяних сорочках турбокаміну будуть регулюватися циркуляційним насосом, розширювальним баком та системою автоматики.

Структурна схема турбокаміну з подвійною водяною сорочкою наведена на рисунку 3.

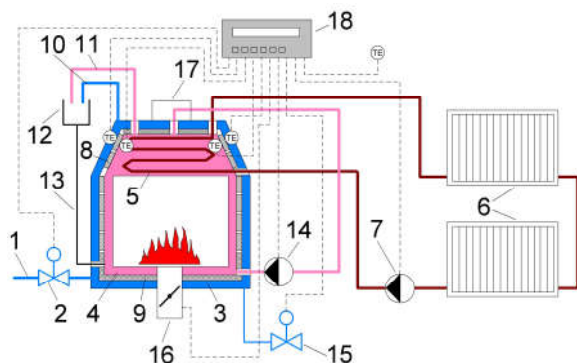


Рисунок 3 – Структурна схема турбокаміну з подвійною водяною сорочкою

Холодна вода з трубопроводу 1 через кран з електроприводом 2 подається в холодну водяну сорочку 3. У гарячій водяній сорочці 4 розміщено теплообмінник 5 водяної системи опалення будинку. Теплообмінник 5 приєднано до радіаторів системи опалення 6 та циркуляційного насосу 7, який здійснює рух нагрітої води замкнутою системою: теплообмінник 5 – радіа-

тори 6 – циркуляційний насос 7 – теплообмінник 5.

Між контурами подвійної водяної сорочки турбокаміну розміщено елементи Пельтьє термоелектричної батареї 8. Вільний простір між водяними сорочками для запобігання теплопередачі між ними заповнено теплоізолюючим матеріалом 9. Надлишки води, що виникають при нагріванні першого і другого контурів, видаляються з них через патрубки 10, 11 і подаються у розширювальний бак 12. Охолоджена вода з баку 12 по трубопроводу 13 надходить у гарячу водяну сорочку 4.

Циркуляційний насос 14 служить для примусового перекачування води з верху гарячої водяної сорочки 4, де вона має найвищу температуру, до низу цієї сорочки, де температура нижча. Таким чином, існує можливість регулювати температуру стінок гарячої водяної камери 4, до іншого боку яких приєднано елементи термоелектричної батареї.

Коли температура води в холодній водяній сорочці 3 підніметься вище за допустимий рівень, ввімкнеться кран з електроприводом 15, який зіллє нагріту воду в каналізацію.

Для керування часом розігріву води у гарячій водяній сорочці 4 застосовується повітряна засувка з електроприводом 16, через яку подається повітря в топку турбокаміну для регулювання ступеня горіння палива. Горючі гази виходять з турбокаміну через димозбірник 17 та подаються в димар.

Керування електроприводами кранів 2 та 15, засувкою 16, циркуляційними насосами 7 та 14 здійснюється від системи автоматики керування турбокаміном 18. Також на систему автоматики надходять дані від давачів температури ТЕ, розміщених у гарячій і холодній водяних сорочках каміну біля верхніх елементів термоелектричної батареї та у кімнаті [3]. Ці давачі стежать за перепадом температур на елементах термоелектричної батареї та подають сигнали на систему автоматики для вмикання циркуляційних насосів, кранів чи повітряної засувки.

Подача холодної води з водопровідної мережі здійснюється краном 2 в нижню частину холодної водяної сорочки 3. В нижній частині холодної водяної сорочки температура води буде найнижчою. Однак, і в нижній частині гарячої водяної сорочки 4 температура води також буде найнижчою. Це створить певний перепад температур, необхідний для роботи елементів Пельтьє термоелектричної батареї. Із зростанням висоти стовпів рідин в обох сорочках температура води в них також зростатиме.

Однак необхідний перепад температур збережеться, що дасть можливість елементам Пельтьє працювати оптимально в будь-якій точці турбокаміну.

Запропонований турбокамін, інтегрований в систему опалення, дозволить опалювати будинки протягом тривалого часу, створювати комфорт і затишок у домі, застосовувати широкий вибір деревного палива та отримати повністю автономну систему підготовки гарячої води для опалення, робота якої практично не залежить від зовнішніх джерел живлення.

Для розрахунку потужності турбокаміну і термоелектричної батареї необхідно спроектувати всю систему опалення, в яку він буде інтегрований.

До складу такої системи інтегрованого опалення входять: геліоколектор, електричний котел, турбокамін, інтегратор, смінь для підігріву води на побутові потреби, тепла підлога та радіатори водяного опалення.

Для правильного проектування системи опалення потрібно визначити, яка кількість тепла необхідна для оптимального температурного режиму в будинку. Вибираючи джерело нагрівання теплоносія (котел, камін чи геліоколектор), слід брати до уваги, що його потужність повинна бути вищою за розрахункову на 10-20 % для компенсації теплових втрат у трубопроводах [4].

Отримана максимальна потужність існуючої системи опалення приміщень будинку об'ємом 400 м³ за допомогою електричного котла та геліоколектора становить 24 кВт.

Основним джерелом енергії для роботи системи інтегрованого опалення в опалювальний період, виходячи з ціни і доступності палива, буде турбокамін з подвійною водяною сорочкою. В неопалювальний період основним джерелом нагрівання води у теплоаккумуляторі буде геліоколектор. Електричний котел виконуватиме допоміжну роль в опаленні та нагріванні води (як резервне чи додаткове джерело енергії) протягом року.

Потужність турбокаміну повинна бути рівною максимальній потужності системи опалення та гарячого водопостачання будинку, тобто 24 кВт. Потужність геліоколектора – 8,6 кВт. Потужність електричного котла опалення як допоміжного приладу слід вибрати на рівні 15 кВт (наприклад ТЕНКО економ KE-15-380 [5]). Тоді при умові, що турбокамін не працює, котел разом з геліоколектором зможе забезпе-

чити: $\frac{\left(\frac{1}{3}Q_{ЗАГНОП} + 15\right)}{24} \cdot 100 \approx 75\%$ від макси-

мальної потреби опалення та гарячого водопостачання. Оскільки в максимальному режимі система теплопостачання працює досить рідко, то такий показник можна вважати цілком допустимим.

Наступним кроком є розрахунок потужності термоелектричної батареї. Термоелектрична батарея застосовуватиметься для компенсації споживання електроенергії приладами системи інтегрованого опалення та приладами освітлення. Для цього необхідно задатись розмірами турбокаміну. З метою зменшення вартості доцільно вибрати вже існуючу конструкцію каміну, яка б мала необхідні розміри. Це потрібно, по-перше, для можливості переобладнання каміна, оскільки після встановлення подвійної водяної сорочки та термоелектричної батареї внутрішній об'єм каміна зменшиться; по друге, чим більша площа водяних сорочок турбокаміну, тим більше елементів Пельтьє між ними можна розмістити.

Виходячи з цього, вибираємо турбокамін типу Akant польської фірми Makroterm потужністю 34 кВт [6]. Така потужність турбокаміну вибрана з врахуванням теплової потужності, яку споживатиме термоелектрична батарея для перетворення в електроенергію.

Згідно з конструктивними даними внутрішні розміри топки турбокаміну по зовнішньому краю водяної сорочки такі: ширина – 550 мм; глибина – 440 мм; висота – 490 мм. У відповідності до цього розрахуємо кількість елементів Пельтьє для термоелектричної батареї.

Розміри елемента Пельтьє TEC1-12706: 40×40×3,8 мм. Слід до цього врахувати розміри рамки з термоізолюючого матеріалу, наприклад Фторопласт-4 [7], в комірки якого будуть вставлені елементи Пельтьє. Виберемо відстань між елементами 20 мм. Тоді на кожній боковій стінці турбокаміну можна розмістити:

$((440-20)/(40+20)) \cdot ((490-20)/(40+20)) = 49$ елементів Пельтьє. Оскільки на задній стінці турбокаміну елементи Пельтьє розміщувати недоцільно через близьке її розташування до полум'я, їхня кількість у турбокаміні становитиме: 49×2=98 штук.

Виходячи з характеристик елемента TEC1-12706 [2], для нормальної роботи потрібно створити на його поверхнях певний перепад температур. Цей перепад температур повинен підтримуватись з високою точністю: чим вища точність його підтримання, тим вищий ККД елемента. Однак, турбокамін є пристроєм, на якому точний перепад температур підтримувати доволі важко, оскільки ступінь горіння твердого палива не можна швидко змінити, як у га-

зового чи електричного котла. Також слід зауважити, що гарячі сторони елементів термоелектричної батареї матимуть температуру нагрітої води, що подається в систему опалення (від +30 до +90 °C) [8]. Все це не дасть елементу Пельтьє працювати з максимальною ефективністю. Тому прийmemo, що середня електрична потужність одного елемента термоелектричної батареї не перевищуватиме 50 %, тобто 25 Вт. Таким чином, загальна потужність термоелектричної батареї турбокаміну становитиме: $98 \cdot 25 = 2450$ Вт. Беручи до уваги, що ККД вибраних елементів Пельтьє становить не більше 30 %, для їх нормальної роботи потрібно $2450 \cdot 100 / 30 = 8167$ Вт теплової потужності. Враховуючи додаткові втрати тепла на переходах між елементами термоелектричної батареї та на кріпленнях подвійної водяної сорочки, турбокамін втрачатиме ще до 1 кВт потужності. Крім того, зменшення внутрішнього об'єму пальника призведе до зменшення потужності турбокаміну ще приблизно на 1 кВт.

Отже, сумарна потужність, що необхідна для роботи термоелектричної батареї, складе близько 10 кВт. Віднявши від потужності турбокаміну (34 кВт) цю потужність, отримаємо кінцеву теплову потужність турбокаміну на рівні 24 кВт, чого цілком достатньо для опалення і гарячого водопостачання заданого будинку.

Тобто при потужності турбокаміна 34 кВт матимемо 24 кВт на роботу системи опалення і підігрів води, та майже 2,5 кВт електроенергії для роботи циркуляційних насосів, системи автоматики та освітлення.

Турбокамін, котел і сонячні колектори утворюють сучасну інтегровану систему. Ці пристрої поєднані між собою і працюють на систему опалення (радіатори і тепла підлога) та на підігрів води. Нескладне їх поєднання і ефективна робота можуть відбуватися завдяки новинці – модулю, який керує енергією в інтегрованій системі – інтегратору. Він створює можливість швидкого і легкого поєднання усіх складових системи опалення.

З точки зору функціональності та зручності, зупинимся на новинці – інтеграторах типу SH польської фірми Makroterm [9].

Інтегратори SH дозволяють поєднати в одну систему кілька джерел і споживачів тепла, що працюють в замкнутому циклі: електричний котел, турбокамін, сонячні колектори, радіатори опалення, теплу підлогу, гаряче водопостачання. Така установка проста в підключенні, а її робота повністю автоматизована і не вимагає безперервного втручання і обслуговування. Під

час роботи турбокаміну блокується робота електричного котла. Вбудований зональний клапан забезпечує роботу установки в режимі пріоритету гарячого водопостачання. Використання інтегратора SH в такій установці також забезпечує накопичення сонячної енергії у водному контурі турбокаміну.

Для даного турбокаміну з максимальною потужністю до 25 кВт і електричного котла, який немає вбудованого триходового клапана, вибираємо інтегратор типу I SH потужністю 25 кВт з нержавіючої сталі.

Для управління турбокаміном Akant фірми Makroterm використовується мікроконтролер, який керує одним циркуляційним насосом та повітряною засувкою за даними з двох датчиків температури (температура води у водяній сорочці та температура повітря в приміщенні).

Як видно з рисунка 3, турбокамін з подвійною водяною сорочкою також має свій мікроконтролер управління. Особливістю роботи цього мікроконтролера є те, що за даними з 5-ти датчиків температури (по 2 з гарячої і холодної водяних сорочок турбокаміну і одного з оточуючого середовища у приміщенні) він повинен керувати двома циркуляційними насосами, двома кранами з електроприводом та повітряною засувкою. Керування цими пристроями повинно здійснюватися за спеціальним алгоритмом, який би враховував при роботі турбокаміну особливості роботи елементів Пельтьє.

У зв'язку з цим застосувати стандартний мікроконтролер турбокаміну Akant для управління турбокаміном з подвійною водяною сорочкою та термоелектричною батареєю неможливо.

Для роботи мікроконтролера нашого турбокаміну розроблений спеціальний алгоритм (рисунок 4), який полягає в наступному.

Попередньо водою заповнюється система опалення, а перед запуском турбокаміну споживачеві необхідно заповнити водою його холодну та гарячу водяні сорочки. Для цього на клавіатурі мікроконтролера споживачем вмикається клавіша, яка призводить до відкриття крану з електроприводом 2, через який у холодну водяну сорочку подається вода з трубопроводу. Далі організовується часова затримка для заповнення обох водяних сорочок, після чого вмикається циркуляційний насос 14, що служить для примусового перекачування води з верхньої частини гарячої водяної сорочки до нижньої.

Поки заповнюються водяні сорочки, в мікроконтролер з клавіатури споживачем вводиться значення температури у приміщенні, яку по-

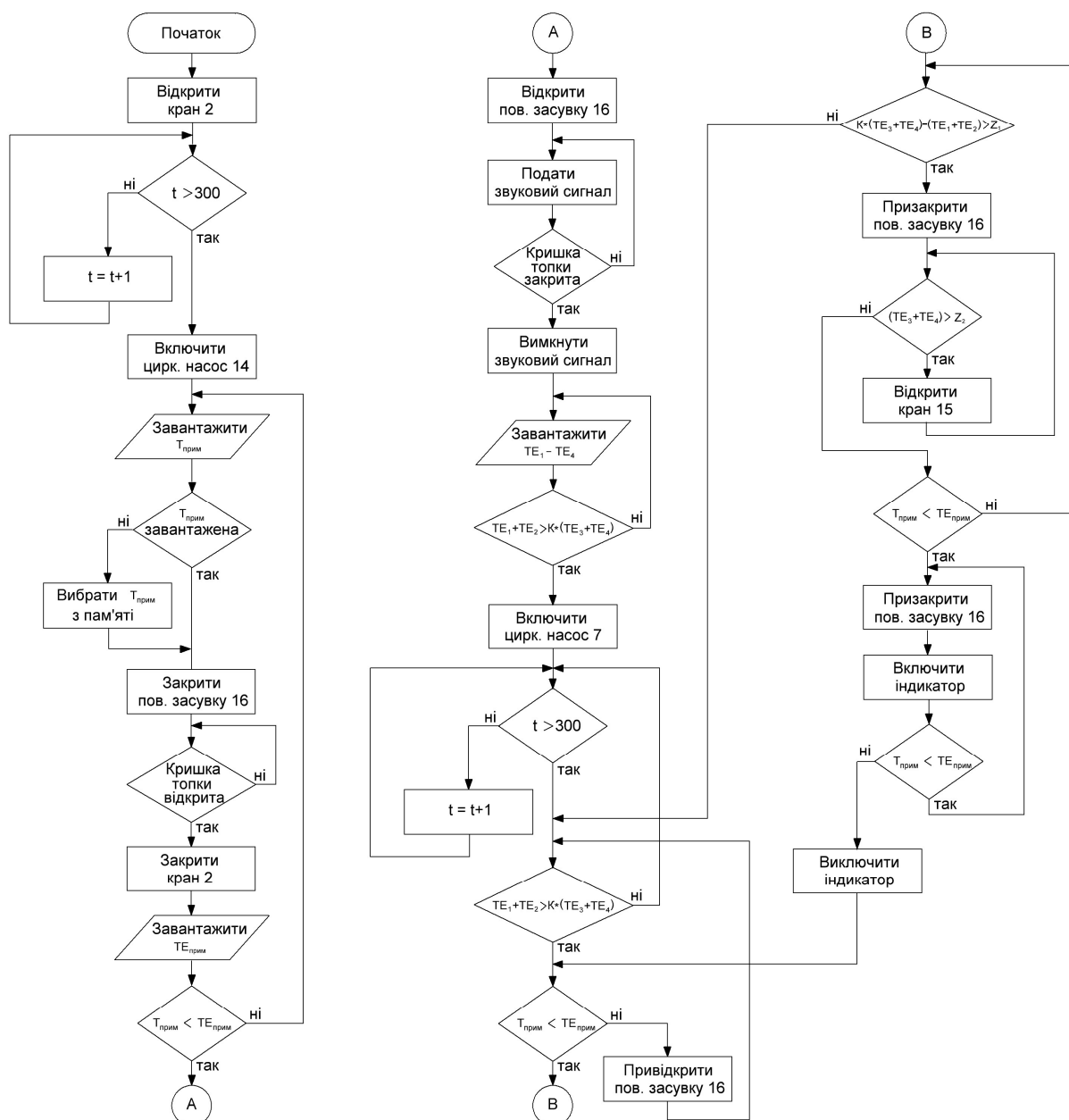


Рисунок 4 – Алгоритм роботи мікроконтролера управління турбокаміном

винна забезпечити система опалення. Якщо температура з клавіатури не введена, мікроконтролер використовує останнє записане у пам'яті її значення.

Після введення температури у приміщенні повітряна засувка з електроприводом 16 ставиться у повністю закрите положення, коли притік зовнішнього повітря у палиник турбокаміну припиняється. При цьому кришка топки повинна бути відкрита.

Витікання води з патрубку 11 інформує про повне заповнення двох водяних сорочок. При цьому споживач натискає клавішу для закриття крану 2.

Наявність споживача при заповненні водяних сорочок є бажаною, оскільки можна візуально відстежити їх розгерметизацію чи підтікання води.

Після цього мікроконтролер завантажує дані від датчика TE, розміщеного у опалюваному приміщенні.

Програма визначає різницю температур між заданою і існуючою та у випадку $T_{прим} < TE_{прим}$ відкриває повітряну засувку 16, подаючи повітря в палиник турбокаміну, після чого подає команду на запалення полум'я у топці. Подача команди на запалення полум'я супроводжується переривчастим звуковим сигналом.

Споживач запалює полум'я і закриває кришку топки турбокаміну. Після закриття кришки мікроконтролер вимикає звуковий сигнал. Далі у мікроконтролер завантажуються

дані від давачів температури TE_1 - TE_4 , розміщених у верхній та нижній частинах холодної і гарячої водяної сорочки. Таке розміщення давачів температури запобігає місцевому перегріванню водяних сорочок. Після досягнення певної різниці температур між сорочками турбокаміна $TE_1+TE_2 > K \cdot (TE_3+TE_4)$ увімкнеться циркуляційний насос 7, який створить рух нагрітої у гарячій водяній сорочці води елементами системи опалення. Після цього на 5 хв. увімкнеться часова затримка, щоб гаряча вода пройшла елементами системи опалення. В подальшому мікроконтролер підтримуватиме задану різницю температур між водяними сорочками турбокаміна $TE_1+TE_2 > K \cdot (TE_3+TE_4)$ для забезпечення оптимальної роботи термоелектричної батареї. Символ K у виразі – це коефіцієнт, при якому ККД елементів Пельтьє максимальний.

Одночасно з цим мікроконтролер контролює температуру у приміщенні і порівнює її з заданою ($T_{\text{прим}} < TE_{\text{прим}}$). Якщо задана температура не досягнута, то контролер привідкриває повітряну засувку 16 для підвищення температури в топці і знову контролює задану різницю температур.

Якщо необхідна температура у приміщенні досягнута, перевіряється чи різниця температур між водяними сорочками не виходить за задані межі ($K \cdot (TE_3+TE_4) - (TE_1+TE_2) > Z_1$). Тоді мікроконтролер приказує повітряну засувку 16, зменшуючи притік свіжого повітря у топку, і, відповідно, зменшує інтенсивність полум'я.

Якщо температура води в холодній водяній сорочці підніметься вище за допустимий рівень ($(TE_3+TE_4) > Z_2$), введений у пам'ять мікроконтролера, увімкнеться кран з електроприводом 15, який зіллє нагріту воду в каналізацію.

При досягненні необхідної температури у приміщенні ($T_{\text{прим}} < TE_{\text{прим}}$) мікроконтролер приказує повітряну засувку 16 до рівня, який забезпечує мінімальну інтенсивність горіння палива, і вмикає відповідний світловий індикатор.

При зменшенні температури у приміщенні індикатор гасне, повітряна засувка 16 привідкривається, потужність полум'я зростає, і процес повторюється. Так триває доти, поки є паливо у топці турбокаміна.

За відсутності процесу горіння у топці турбокаміна програма буде повертатись до часової затримки на 5 хв. після увімкнення циркуляційного насоса 7 доти, поки не зникне живлення, або мікроконтролер не буде вимкнений вручну. Циркуляційний насос спеціально не вимикається, щоб якнайдовше подавати гарячий теплоносієм системою опалення.

Після увімкнення живлення програма мікроконтролера автоматично перейде на свій початок.

Оскільки необхідна кількість аналогових входів процесора управління турбокаміном – 6 (5 – температурні, 1 – індикація стану кришки топки), а виходів – 5, то можна використати простий мікроконтролер сімейства Arduino, наприклад Arduino Uno. Цей мікроконтролер має 6 аналогових входів та 14 цифрових входів-виходів (6 з них можуть використовуватись як ШІМ-виходи), 32 КБ флеш-пам'яті, 2 КБ постійної пам'яті та 1 КБ енергонезалежної пам'яті, напругу живлення 7-12 В, максимальний струм одного виходу – 40 мА, робочу частоту 16 МГц [10].

Для безпосереднього управління повітряною засувкою, циркуляційними насосами та кранами, струми споживання яких сягають ампера і вище, необхідно використати електромагнітні реле з потужними польовими транзисторами.

Для того, щоб правильно скласти алгоритм роботи системи інтегрованого опалення, потрібно розглянути основні типи пристроїв опалення, що входять до складу цієї системи, та варіанти їх роботи.

Основні пристрої, що входять до складу системи інтегрованого опалення будинку, зображено на рисунку 5. Особливостями цієї схеми є можливість опалення приміщення від одного з трьох джерел тепла та роздільного регулювання температури теплої підлоги і радіаторів опалення при одночасній подачі теплоносія на них. Це досягається застосуванням інтегратора, триходового клапана та двох циркуляційних насосів.

Електричний котел опалення, геліоколектор та турбокамін цієї схеми мають свої мікроконтролери управління.

Електричний котел має можливість дистанційного увімкнення. Після цього його роботою та роботою вбудованого циркуляційного насоса керує внутрішній мікроконтролер в автоматичному режимі. Оскільки електричний котел – пристрій всепогодний, то працювати він може в будь-яку пору доби і року. Завдяки цьому він може підключатись безпосередньо до приладів опалення будинку.

Геліоколектор також має свій мікроконтролер і циркуляційний насос. Однак, через те, що геліоколектор – пристрій, який працює тільки в світлу пору доби, і, в основному, у весняно-осінній період, то його до приладів опалення безпосередньо приєднувати не можна. Нагрітий геліоколектором теплоносієм цирку-

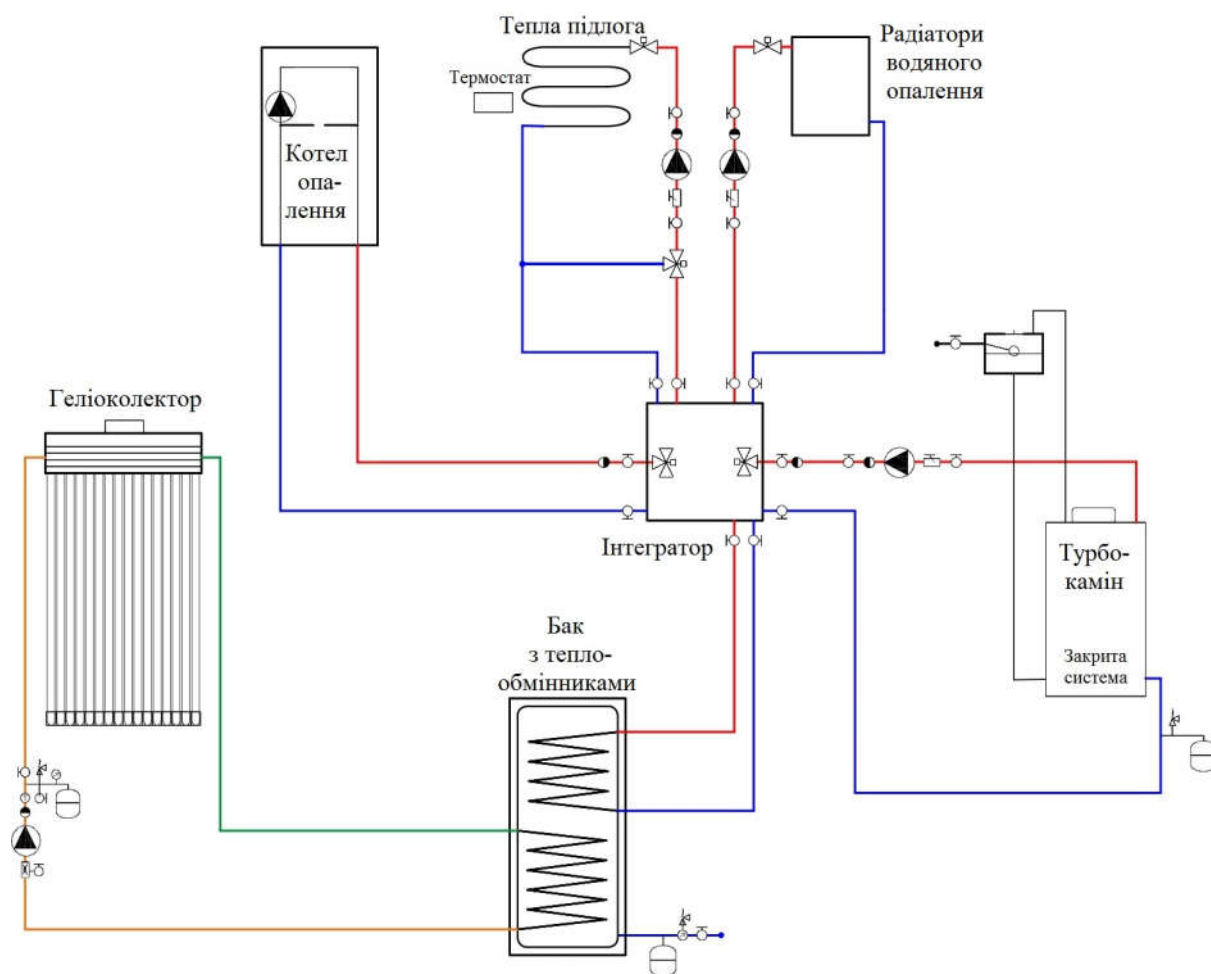


Рисунок 5 – Принципова схема системи інтегрованого опалення з трьома джерелами тепла

лює по замкнутій системі і постійно віддає своє тепло баку з теплообмінниками. Вода у баку поступово нагрівається по всьому його об'єму. Бак з нагрітою водою служить хорошим акумулятором тепла, що може тривалий час забезпечувати прилади опалення гарячим теплоносієм. Завдяки цьому бак з теплообмінниками відіграє роль джерела тепла, яке можна приєднувати до приладів опалення в будь-яку пору доби.

Мікроконтролер геліоколектора є автономним пристроєм.

Хоч турбокамін призначений для роботи в осінньо-зимовий період, удосконалений турбокамін з термоелектричною батареєю може працювати в будь-яку пору року. Однак увімкнення його повинно здійснюватися людиною. Тому запуск турбокаміну потрібно робити в денну пору доби. Застосований у турбокаміні мікроконтролер Arduino Uno має можливість дистанційного увімкнення.

У схемі на рисунку 5 турбокамін з термоелектричною батареєю є основним джерелом тепла для системи опалення, а геліоколектор та електричний котел – допоміжними.

В схемі на рисунку 5 потрібен загальний мікроконтролер, який би керував роботою опалювальних пристроїв в автоматичному режимі.

Оскільки загальна кількість виконавчих пристроїв даної інтегрованої системи опалення – 13 (котел опалення, турбокамін, циркуляційні насоси теплої підлоги та радіаторів системи опалення, тривходовий клапан теплої підлоги та два тривходових клапана інтегратора), то необхідно вибрати контролер для забезпечення нормальної її роботи, який би мав не меншу кількість цифрових виходів. Також на контролер повинна заводитись температура в опалюваних приміщеннях та в баку з теплообмінниками. Для цієї мети, як і для управління турбокаміном, також може підійти мікроконтролер типу Arduino Uno.

Нами розроблений алгоритм роботи системи інтегрованого опалення, суть якого полягає в тому, що спочатку визначається дата і час доби та вартість палива. В залежності від цього інтегратором вмикається і приєднується до радіаторів опалення або турбокамін, або бак з теплообмінниками, або електричний котел опалення (рисунок 5).

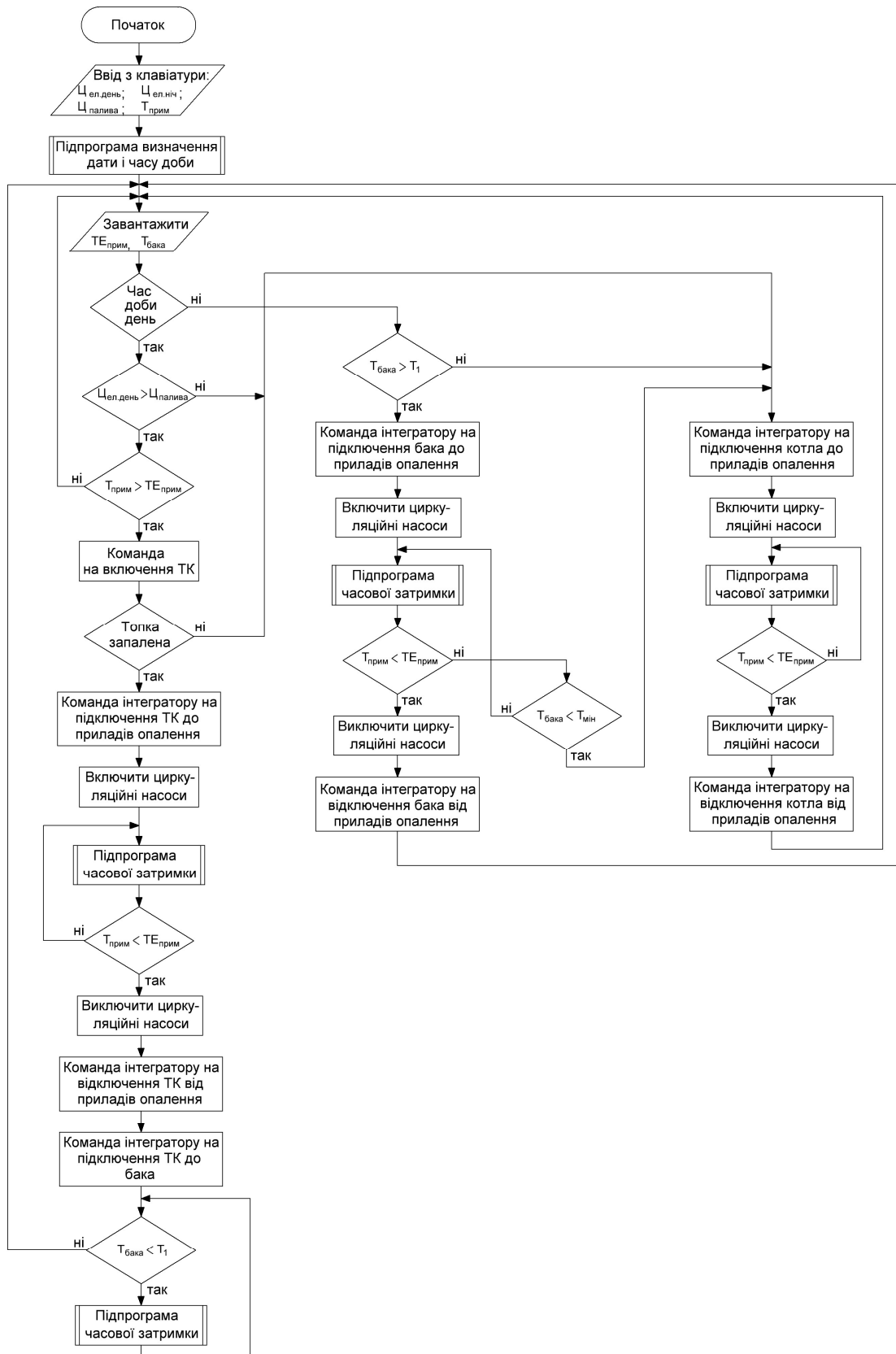


Рисунок 6 – Алгоритм роботи мікроконтролера управління системою інтегрованого опалення

Коли температура в опалюваному приміщенні досягне заданого значення, турбокамін перемкнеться на нагрівання води у баку з теплообмінниками.

На основі цього алгоритму розроблено алгоритм роботи мікроконтролера управління системою інтегрованого опалення будинку, наведений на рисунку 6.

Спочатку споживач вводить у пам'ять загального мікроконтролера денну і нічну ціну електроенергії $C_{ел.день}$ та $C_{ел.ніч}$ (для роботи електричного котла), вартість деревного чи вугільного палива $C_{палива}$ (для роботи турбокаміне), температуру $T_{прим}$, до якої необхідно прогріти приміщення, і запускає програму.

В загальному мікроконтролері реалізовано таймер, який визначає місяць, день і час доби. Після запуску програми цей таймер активується. Загальний мікроконтролер завантажує від давачів дані про температуру у приміщеннях $T_{E_{прим}}$ і у баці з теплообмінниками $T_{бака}$.

Якщо встановлена пора доби (вечір чи ніч), а температура води у баці є вищою від заданої T_1 ($T_{бака} > T_1$), то подається команда на обидва тривходові клапани інтегратора для їх відкриття за схемою, що приєднує виходи бака з теплообмінниками до входів приладів опалення (теплої підлоги та радіаторів). Відразу після цього подається команда на увімкнення циркуляційних насосів подачі теплоносія до теплої підлоги та радіаторів опалення. Далі мікроконтролер запускає підпрограму часової затримки, яка дає змогу теплоносію певний час циркулювати системою опалення, нагріваючи приміщення. Теплоносій подається доти, поки температура у приміщенні не зрівнялась з заданою ($T_{прим} < T_{E_{прим}}$). Після цього загальний мікроконтролер зупиняє циркуляційні насоси і закриває тривходові клапани інтегратора, що від'єднує бак з теплообмінниками від приладів опалення.

Якщо ж температура води у баці з теплообмінниками низька, або знизилась нижче за допустимий рівень ($T_{бака} < T_{мін}$), то у нічну пору доби загальний мікроконтролер подасть команду на ввімкнення електричного котла опалення. Це вигідно тим, що нічний тариф на електроенергію нижчий за денний.

Після цього подаються команди на обидва тривходові клапани інтегратора для їх відкриття за схемою, що приєднує виходи електричного котла опалення до входів приладів опалення. Як і в попередньому випадку, відразу після цього подається команда на увімкнення циркуляційних насосів подачі теплоносія до теплої підлоги та радіаторів опалення. В подальшому програма працює аналогічно описаному вище.

У денну ж пору доби, з економічної точки зору, вигідніше застосовувати турбокамін. Хоча, якщо денний тариф на електроенергію буде нижчий за вартість деревного палива, вигіднішим буде застосування котла опалення. В цьому випадку алгоритм програми загального мікроконтролера буде налаштований на максима-

льну економію коштів споживачів, вмикаючи ті джерела тепла, вартість енергоносіїв для яких в даний час найменша.

У випадку, коли деревне паливо дешевше за електроенергію, загальний мікроконтролер подає команду на увімкнення турбокаміну (ТК), контролер якого, в свою чергу, подасть звуковий сигнал споживачеві для запалення полум'я. При дистанційному управлінні з загального мікроконтролера споживачеві не потрібно вводити температуру у контролер ТК.

Після запалювання полум'я контролер турбокаміну працюватиме за алгоритмом, описаним вище, та подасть команду на загальний мікроконтролер, що топка запалена. Якщо ж люди в приміщенні відсутні і запалити камінікому, то загальний мікроконтролер подасть команду інтегратору на підключення електричного котла до приладів опалення за наведеним вище алгоритмом.

Після отримання команди про запалення у топці ТК загальний мікроконтролер подасть команди на обидва тривходові клапани інтегратора для їх відкриття за схемою, що приєднує виходи ТК до входів приладів опалення. Теплоносій від ТК подаватиметься доти, поки температура у приміщенні не зрівняється з заданою ($T_{прим} < T_{E_{прим}}$). Після цього загальний мікроконтролер зупинить циркуляційні насоси та закрити тривходові клапани інтегратора, що від'єднає ТК від приладів опалення. Циркуляційний насос ТК зупинить програма його контролера.

Програми загального мікроконтролера та контролера ТК постійно порівнюватимуть температуру у приміщенні з заданою. І коли температура у приміщенні знизиться за заданий поріг ($T_{прим} < T_{E_{прим}}$), то знову подадуться команди на тривходові клапани інтегратора та на циркуляційні насоси.

При необхідності знизити температуру у приміщенні загальний мікроконтролер вмикає тривходовий клапан в контурі теплої підлоги, який забезпечить циркуляцію теплоносія по замкнутому циклу: тепла підлога—клапан—циркуляційний насос—тепла підлога. При цьому підігрітий теплоносій від джерела тепла не використовується. А той, що циркулює по теплій підлозі, постійно віддаючи тепло, охолоджує теплу підлогу, і, відповідно, понижує температуру у приміщенні.

Застосування розроблених алгоритмів дає змогу застосовувати все теплогенеруюче обладнання системи інтегрованого опалення по черзі у певні проміжки часу, що знімає з нього максимальні навантаження та суттєво продов-

жує терміни експлуатації. У зв'язку з цим, система опалення з застосуванням інтегратора має високу експлуатаційну надійність, яка є суттєво вищою за надійність звичайних систем опалення.

ВИСНОВКИ

Запропонована енергоефективна інтегрована система опалення за рахунок модернізації турбокаміну шляхом застосування у ньому двох водяних сорочок та розміщення між ними термоелектричної батареї. На основі загального алгоритму роботи системи інтегрованого опалення розроблено алгоритм роботи мікроконтролера її управління, який дає змогу в залежності від пори року і пори доби під'єднувати до радіаторів опалення те джерело тепла, вартість енергоносіїв для якого є найнижчою. Застосування системи інтегрованого опалення знімає довготривалі навантаження з енергогенеруючих пристроїв, що суттєво підвищує надійність їхньої роботи.

Література

- 1 Каміни з водяним контуром – турбокаміни [електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://makroterm.by/akademia-znaniy/Kaminy.html>.
- 2 Элемент Пельтье TEC1-12706. Характеристики, применение, условия эксплуатации [электронный ресурс]. – Режим доступу: <http://mypractic.ru/element-pelte-tec1-12706-karakteristiki-primenenie-usloviya-ekspluatacii.html>.
- 3 Проективальникам і механікам. Позначення на принципових схемах запірно-регулюючої арматури і засобів автоматизації, прийнятих у зарубіжній і вітчизняній документації [електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.holodilshchik.ru/index_holodilshchik_issue_7_2008_Indications.htm.
- 4 Котельников С.А. Отопление дома в вопросах и ответах / С.А. Котельников. – М.: Издательство Оникс, 2012. – 192 с.
- 5 Электричний котел Tenko Економ KE 15-380 - 15 кВт [електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://termopara.net.ua/shop/otopitelnye-kotly/elektricheskie-kotly/elektricheskie-nastennye-kotly/kotel-elektricheskij-tenko-ekonom-ke-15-380>.
- 6 Топка каминная с водяным контуром (турбокамин) Akant [электронный ресурс]. – Режим доступу: <http://makroterm.by/catalog/Kaminy-turbokaminy/turbokamin-akant.html>.
- 7 Фторопласт [електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://plastpolymer-prom.ru/page/fluoroplastic/>.
- 8 Температура теплоносія в системі опалення – норми, максимальна і мінімальна температура [електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://stroyka-gid.com.ua/idei-dla-doma/10531-temperatyra-teplonosia.html>.
- 9 Интегратор со встроенным гидравлическим сцеплением [электронный ресурс]. – Режим доступу: <http://makroterm.by/akademia-znaniy/stati/integrator-so-vstroennyim-gidravlicheskim-sczepleniem.html>.
- 10 Плата Arduino Uno R3: схема, описание, подключение устройств [электронный ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino-master.ru/platy-arduino/plata-arduino-uno/>.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
30.10.18*

*Рекомендована до друку
професором Карнашем М.О.
(ФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)
канд. техн. наук Доценком Є.Р.
(НВФ «Зонд», м. Івано-Франківськ)*