

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ТЕХНІЧНОЇ ТЕПЛОФІЗИКИ

на правах рукопису

НАЗАРЕНКО АНДРІЙ ОЛЕГОВИЧ



УДК 681.552.6

**СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТЕПЛОСПОЖИВАННЯМ БУДІВЕЛЬ З
КОМБІНОВАНИМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯМ І ВИКОРИСТАННЯМ
СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ**

Спеціальність 05.14.01
«Енергетичні системи та комплекси»

ДИСЕРТАЦІЯ
на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник:
член-кореспондент НАН України,
доктор технічних наук, професор,
Бабак Віталій Павлович

Київ – 2016

ЗМІСТ

	Ст.
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	5
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СПОСОБІВ ПОБУДОВИ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ТЕПЛОСПОЖИВАННЯМ БУДІВЕЛЬ	14
1.1 Порівняльний аналіз пунктів керування теплоспоживанням і систем їх автоматизації	14
1.2 Режими роботи та основні закони регулювання систем	26
1.3 Методи регулювання теплових навантажень	34
1.4 Використання сонячної енергії в системах опалення.....	36
1.5 Постановка завдання	41
Висновки до розділу 1	42
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛООБМІНУ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ ТЕПЛОСПОЖИВАННЯМ	44
2.1 Стаціонарна математична модель системи керування теплоспоживанням будівель при використанні традиційного та комбінованого джерел енергії в теплопостачанні	44
2.1.1 Розроблення математичної моделі системи керування теплоспоживанням будівель при використанні традиційних джерел енергії.....	44
2.1.2 Особливості математичної моделі системи керування теплоспоживанням будівлі при використанні комбінованих джерел енергії ...	52
2.2 Динамічна математична модель системи керування теплоспоживанням будівель	54
2.2.1 Розроблення імітаційної моделі системи керування теплоспоживанням будівель	54
2.2.2 Оцінювання стійкості та якості системи.....	58
2.3 Експериментальне дослідження теплового стану офісної будівлі,	

верифікація та апробація математичної та імітаційної моделей системи керування теплоспоживанням будівель	63
2.3.1 Задачі, методика та результати експериментального дослідження системи.....	63
2.3.2 Верифікація та апробація запропонованих стаціонарних та динамічних моделей системи керування теплоспоживанням будівель	68
Висновки до розділу 2	82
РОЗДІЛ 3 БЛОК КЕРУВАННЯ СИСТЕМИ З СОНЯЧНИМИ КОЛЕКТОРАМИ ТА АКУМУЛЯТОРОМ ТЕПЛА	84
3.1 Вибір методу регулювання відпуску теплової енергії в системах теплоспоживання	84
3.2 Розробка алгоритму роботи системи	89
3.3 Принцип роботи реалізованого пропорційно-інтегрально-диференційного регулювання системи	98
3.4 Принцип роботи реалізованого дискретно імпульсного регулювання системи	100
3.5 Структура програмного забезпечення роботи системи	101
3.6 Алгоритм роботи системи за мінімаксімним критерієм оптимізації.....	115
Висновки до розділу 3	121
РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНИХ СИСТЕМ	122
4.1 Система із пластинчастим теплообмінником	123
4.2 Система із гідророзподільником	125
4.3 Система із кожухотрубним теплообмінником	128
4.4 Система житлового будинку з газовими та електрокотлами	131
4.5 Система із сонячними колекторами та акумулятором тепла	133
4.5.1 Розрахунок геліоустановки для підтримки опалення будівлі ...	135
4.5.2 Вибір кута нахилу колектора і розрахунок сонячної енергії, що надходить на колектор.....	137
4.5.3 Розрахунок теплопродуктивності сонячного колектора	140

	4
4.5.4 Розрахунок параметрів акумулятора тепла	141
4.6 Оцінка вартості теплової енергії, отриманої за допомогою сонячних колекторів і акумулятора тепла	143
Висновки до розділу 4	146
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	148
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	150
Додаток А Програмне забезпечення блоку керування	160
Додаток Б Акти впровадження результатів дисертаційної роботи	181

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

Скорочення:

АТП – автоматизований тепловий пункт;

БЖ – блок живлення;

БІ RS-485 – блок інтерфейсу;

БК – блоку керування;

ВП – відображаючий пристрій;

ГВП – гаряче водопостачання;

ГРЧ – годинник реального часу;

Д – диференційний;

ЗЗП – зовнішній запам'ятовуючий пристрій;

ІТП – індивідуальний тепловий пункт;

К – клавіатура;

КК – ключі керування;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

М – манометр;

П- пропорційний;

ПД – пропорційно-диференційний;

ПІ – пропорційно-інтегральний;

ПІД – пропорційно-інтегрально-диференційний;

РДЖ – резервне джерело живлення;

САК – система автоматичного керування;

СКТ – система керування теплоспоживанням;

СПЗ - структура програмного забезпечення

СТ – система теплоспоживання;

ТО – теплообмінник;

ТП – тепловий пункт;

ЦП – центральний процесор;

ЦТП – центральне тепlopостачання.

Позначення:

T – температура, °C;

τ – час, с;

Q, q – питомий тепловий потік; Вт/м²

λ – теплопровідність, Вт/(м·K);

α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·K);

R – питомий тепловий опір, (м²·K)/Вт;

G – витрата теплоносія, кг/с;

C – теплоємність, Дж/(кг·K);

S – площа, м².

m – кратність повітрообміну в будівлі за одиницю часу, 1/год;

ρ – щільність, кг/м³;

V – об'єм, м³;

δ – товщина, м;

Bi – критерій Біо

W – передаточна функція

Π – параметр зворотного зв'язку;

k – коефіцієнт теплопередачі

Z – зовнішнє збурення, закладене в закон керування.

Індекси:

вх – вхідний ;

вих – вихідний;

вн – внутрішній;

зовн – зовнішній;

ст – стіна;

Σ – сумарний;

вент – вентиляція;

п – повітря;

в – вода;
ат – акумулятор тепла;
ск – сонячний колектор;
ок – огорожувальна конструкція;
р – рама;
с – склопакет;
зас – засклення;
кер – керуючий;
збур – збурений;
сист – система;
ком – компенсуючий;
т – теплоємні;
нт – не теплоємні;
зад – заданий;
р – пропорційний;
і – інтегральний;
d – диференційний;
імп – імпульс;
н – нечутливості;
доб – добовий;
макс – максимальний;
пот – потенційний.

ВСТУП

Актуальність теми.

Теплова енергетика України у XXI столітті опинилася перед необхідністю вирішення проблеми ресурсного забезпечення. Колись найдешевше паливо – природний газ – перейшло до розряду дефіцитних, за песимістичними прогнозами вичерпання його світових запасів прогнозується вже в 2040-2050 роках. Внаслідок цього має місце стійка тенденція зростання вартості природного газу, а, відповідно, теплової та електричної енергії. Зменшення дефіциту природного газу за рахунок використання традиційних викопних палив також має свої обмеження через зростання вимог до зменшення викидів в атмосферу парникових газів.

Тому одним з перспективних напрямів розвитку світової енергетики на даний час є використання відновлюваних джерел енергії, що знімає ряд обмежень, пов'язаних з використанням традиційних палив.

Відновлювана енергетика сьогодні – одна з галузей світової енергетики, яка найбільш стрімко розвивається. Згідно Директив Європейської комісії до 2020 року частка відновлюваних джерел енергії в ЄС має підвищитись до 20%. При цьому кількість викидів парникових газів має зменшитись щонайменше на 20% (в порівнянні з рівнем 1990 року), а ефективність використання енергії має збільшитись на 20%.

Ще однією проблемою теплоенергетики є неефективне керування теплопостачанням та теплоспоживанням, що призводить до понад 40% втрат теплової енергії. Для підвищення енергоефективності насамперед необхідне впровадження сучасних систем керування теплоспоживанням, диверсифікація джерел постачання енергоносіїв, в тому числі і використання відновлюваних джерел енергії.

Тому розроблення і вдосконалення методів та засобів оптимізації керування теплоспоживанням з частковим використанням відновлюваних джерел енергії є актуальним науково-прикладним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційну роботу виконано у відділі теплотри, діагностики та оптимізації в енергетиці Інституту технічної теплофізики НАН України та пов'язано з інноваційним проектом НАН України за договором №22 від 02.04.2012 р. (№ДР 0112U001755): „Розробка та впровадження автоматизованого теплового пункту керування теплоспоживанням з сонячними колекторами та акумулятором тепла”.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення енергоефективності будівель за рахунок удосконалення системи керування теплоспоживанням з використанням додаткового джерела відновлюваної енергії (на прикладі сонячної енергії).

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- провести порівняльний аналіз існуючих теплових систем та видів регулювання, доцільності використання альтернативних джерел енергії, блоків керування та теплообмінників для обґрунтування способу побудови та структури системи керування теплоспоживанням;
- розробити математичну та імітаційну моделі, які описують процес теплообміну в будівлі за умови комбінованого тепlopостачання з використанням зовнішнього теплоносія та сонячної енергії як в стаціонарному, так і в динамічному режимах;
- експериментально визначити тепловий опір огорожувальних конструкцій та коефіцієнт інфільтрації будівлі для верифікації запропонованої моделі;
- обґрунтувати структуру та дослідити функціонування блоку керування для оптимізації процесу керування теплоспоживанням з урахуванням теплової інерційності будівлі;
- створити експериментальний стенд системи керування теплоспоживанням будівель при комбінованому тепlopостачанні з

використанням традиційних енергоресурсів і сонячної енергії та провести його дослідження.

Об'єкт дослідження – процес керування теплоспоживанням будівель з комбінованим теплопостачанням та використанням традиційних енергоресурсів і сонячної енергії.

Предмет дослідження – моделі, метод та система керування теплоспоживанням з додатковим теплопостачанням від відновлюваного джерела енергії.

Методи дослідження ґрунтуються на використанні: методів теорії теплообміну, термодинаміки, теплофізики, математичного моделювання, обчислювального та інженерно-фізичного експерименту, теорії вимірювань, теорії ймовірностей та математичної статистики, теорії автоматичного управління.

Наукова новизна одержаних результатів. В роботі вперше:

– розроблено метод керування теплоспоживанням з оптимізацією за мінімальним критерієм, що дає можливість підтримувати задану температуру в будівлі та зменшити витрати теплоти за комбінованого теплопостачання з використанням сонячної енергії;

– розроблено математичну модель системи керування теплоспоживанням будівлі за комбінованого теплопостачання з використанням сонячної енергії, що дозволило провести імітаційне моделювання;

– вирішено обернену задачу визначення теплових характеристик будівлі за результатами експериментальних даних роботи системи та проведено верифікацію її моделі на експериментальному стенді, що в сукупності дозволяє оцінювати теплові характеристики будівель за даними системи;

– запропоновано метод використання сонячної енергії для теплозабезпечення будівель шляхом підмішування теплоносія від

акумулятора тепла сонячного колектора у зворотний трубопровід, що дало можливість підвищити ефективність використання енергоресурсів.

Практичне значення отриманих результатів полягає у створенні та практичному застосуванні системи керування теплоспоживанням будівель з сонячними колекторами та акумулятором тепла:

- розроблено імітаційну модель системи, на якій проведено дослідження теплообміну в будівлі за умови комбінованого теплопостачання;
- експериментально отримані значення теплового опору огорожувальних конструкцій будівлі в реальних умовах експлуатації;
- створено експериментальний стенд системи керування теплоспоживанням будівель при комбінованому теплопостачанні з використанням традиційних енергоресурсів і сонячної енергії та проведено його дослідження.

Напрацьовані проектні рішення систем керування теплоспоживанням для адміністративних, виробничих та житлових приміщень використано для розроблення, виготовлення та впровадження в:

- корпусі №1 ІТТФ НАН України (акт впровадження від 01.10.2011 р.);
- корпусі №7 ІТТФ НАН України при комбінованому теплопостачанні з використанням традиційних енергоресурсів і сонячної енергії (акт впровадження від 10.12.2012 р.);
- будівлі з гідророзподілювачем в ДП ВО «Київприлад» (акт впровадження від 02.02.2013 р.);
- житловому будинку в с. Тарасівка Київської обл. при комбінованому теплопостачанні з використанням природного газу та електроенергії (акт впровадження від 01.10.2012 р.);
- будівлі ДП «НТЦ новітніх технологій НАН України» (акт впровадження від 01.12.2013 р.).

Особистий внесок здобувача.

Всі наукові положення та результати роботи, які винесено на захист, належать автору особисто. В опублікованих колективних працях здобувачеві особисто належить: [80] – удосконалено метод використання сонячної енергії в системі опалення будівель; [69, 81, 82, 86] – проведено аналіз експериментальних даних впроваджених систем; [55, 56] – розроблено математичну модель системи керування теплоспоживанням будівлі при комбінованому теплопостачанні з використанням сонячної енергії; [83] – встановлено закономірності регулювання температури теплоносія у системах теплоспоживання в залежності від температури зовнішнього середовища з урахуванням мінімаксного критерію; [56] – вирішено обернену задачу визначення середньоінтегрального теплового опору будівлі та досліджено динаміку зміни коефіцієнтів теплопередачі та середньоінтегрального теплового опору огорожувальної конструкції в залежності від параметрів зовнішнього середовища.

Апробація результатів дисертації. Основні результати за тематикою дисертаційної роботи обговорювались і отримали схвалення на IX Міжнародній конференції «Проблеми промислової теплотехніки», 20-22 жовтня 2015 р., м. Київ; Міжнародній науково-практичній конференції «NDT DAYS 2013», м. Созополь, Болгарія, 17-21 червня 2013 р.; II Міжнародній науково-технічній конференції «Метрологія, інформаційно-вимірювальні технології та системи», м. Одеса, 30 травня 2013 р.; VII Національній науково-технічній конференції «Неруйнівний контроль і технічна діагностика», м. Київ, 20-23 листопада 2012 р.; XX Міжнародній конференції «Сучасні методи та засоби неруйнівного контролю та технічної діагностики», м. Гурзуф, 1-5 жовтня 2012 р.; The Fifth World Congress «Aviation in the XXI-st Century», «Safety in Aviation and Space Technologies», Kyiv, 25-27 September 2012.

Публікації. Основні положення та результати дисертаційної роботи викладено в 12 наукових працях, у тому числі: 4 публікацій в наукових

журналах, що входять до переліку фахових видань, 2 статті у виданнях, які включено до міжнародних наукометричних баз, 5 статей у збірниках матеріалів і тез конференцій, отримано 1 патент України на корисну модель.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 92 найменувань та додатків. Загальний обсяг роботи становить 185 сторінок, у тому числі 145 сторінок основного тексту, 106 рисунків, 8 таблиць.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СПОСОБІВ ПОБУДОВИ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ТЕПЛОСПОЖИВАННЯМ БУДІВЕЛЬ

1.1 Порівняльний аналіз пунктів керування теплоспоживанням і систем їх автоматизації

Одним з основних елементів системи централізованого тепlopостачання будівлі є тепловий пункт, який забезпечує функцію стійкої циркуляції і перетворення теплоносія, розподілу його по споживачах [1-10]. Задачею теплового пункту є надійний та ефективний теплообмін між водою теплової мережі і водою, що циркулює в мережі споживача.

Теплові пункти поділяють на:

- індивідуальні теплові пункти (ІТП), що слугують для підключення систем опалення, вентиляції, гарячого водopостачання та технологічних тепловикористовуючих установок однієї будівлі або її частини;
- центральні теплові пункти (ЦТП), що виконують ті ж функції, що і ІТП для двох будівель або більше.

Індивідуальний тепловий пункт повинен підтримувати необхідні параметри теплоносія (температуру, швидкість, тиск) для забезпечення в опалювальних приміщеннях заданого комфортного температурного режиму, а також стабільний гідравлічний режим. Крім цього, ІТП повинен забезпечувати можливість контролю технологічних параметрів системи і комерційний облік спожитої теплової енергії і води та містити необхідні для його експлуатації і обслуговування елементи.

Схеми ІТП поєднують головні технологічні вузли (вузол забезпечення гідравлічних режимів, вузли приєднання систем опалення, вузол підживлення без модуля розширювальних баків) у різній кількості та комбінації.

Для зменшення температури теплоносія тепловий пункт (ТП) приєднуються до центральної тепломережі за допомогою однієї із схем:

- залежної (ТП гідравлічно залежний від теплопостачання),
- незалежної (ТП гідравлічно не залежний від теплопостачання).

Приєднання ТП до центральної тепломережі по залежній схемі здійснюється за допомогою елеваторного вузла (рис. 1.1) або гідравлічного клапана [2, 4, 7].

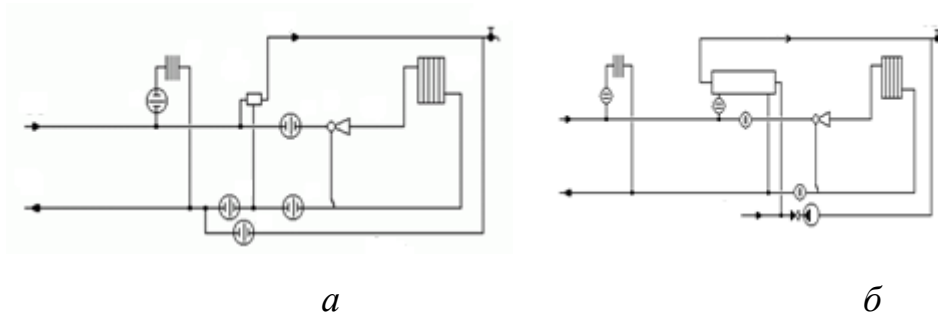


Рис. 1.1. Схема залежного приєднання систем опалення:

- a* – з відкритою не автоматизованою системою гарячого водопостачання;
- б* – з закритою не автоматизованою системою ГВП

Елеваторний вузол складається з регуляційної та запірної апаратури, контрольних манометрів та термометрів, фільтрів та елеватора.

Основа елеваторного вузла – водоструминний елеватор, який необхідний для того, щоб мережеву воду, підігріту котельною, охолодити до заданої температури і подати в прилади опалення будинку [6-8].

Водоструминний елеватор (рис. 1.2) являє собою струминний насос, який складається з сопла 1, приймальної камери 2, камери змішування 3, дифузора 4. Дія водоструминного елеватора основана на захопленні нагнітаючої речовини струменем рідини, що підмішує.

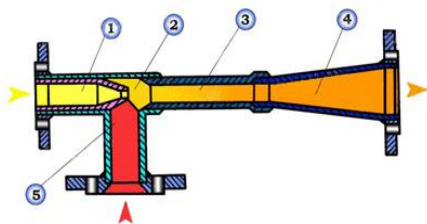


Рис. 1.2. Схема водоструминного елеватора:

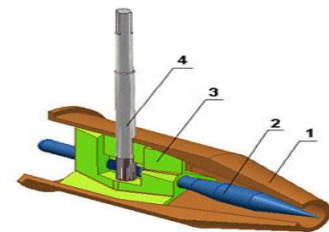


Рис. 1.3. Схема регулюючого елеватора

Переваги елеватора: надійність і простота, даній схемі не потрібно електроживлення, ціна.

Основні недоліки: для нормальної роботи перепад тиску між подаючим і зворотним трубопроводом повинен знаходитися в діапазоні 0,8-2 Бар, неможливість регулювання вихідної температури, необхідний точний розрахунок елементів елеватора.

Температура теплоносія, що подається в ТП з елеваторним вузлом, регулюється згідно з тепловим графіком. Однак восени, коли ще тепло, або навесні, коли вже тепло, виникають перетопи. Для уникнення перетопів застосовують регульовані елеватори, основне призначення яких – це мінімізація перетопів і зниження температури в адміністративних будівлях.

Регульований елеватор (рис. 1.3) складається з конусного сопла 1, регулюючої дросельної голки 2, направляючого апарата 3, зубчастого валика 4. Принцип роботи такого приладу полягає в зміні площі перерізу сопла [7].

Направляючий апарат виконаний таким чином, що його нерухомі лопатки закручують струмінь води, що в свою чергу дозволяє поліпшити інжекційні характеристики елеватора. Зубчастий валик 4 входить в зачеплення з заднім кінцем голки, що являє собою зубчасту рейку. При обертанні валика голка переміщається подовжньо змінюючи переріз сопла, завдяки чому відбувається регулювання витрати теплоносія.

Переваги регульованого елеватора: мінімізація перетопів (економія до 20 %), зниження температури зворотного теплоносія, простота конструкції, модульність – дуже легко замінюються елементи елеватора (сопло і голка).

Недоліки регульованого елеваторного вузла: погано працює на брудній воді, при зменшенні перерізу сопла зменшується ступінь ежекції і перепад тиску після елеватора.

Приєднання ТП до центральної тепломережі по незалежній схемі здійснюється за допомогою поверхневих теплообмінників (рис. 1.4) [3].

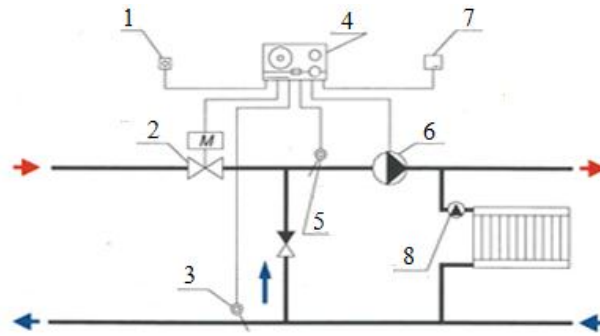


Рис. 1.4. Схема незалежного приєднання систем опалення

1, 7 – датчик зовнішньої та внутрішньої температури повітря, 2 – клапан з приводом, 3, 5 – датчик температури вихідного та вхідного теплоносія, 4 – погодний компенсатор, 6 – насос, 8 – радіаторний терморегулятор

Класифікують теплообмінники за рядом ознак:

1. За функціональним призначенням розрізняють нагрівачі, кип'ятильники, випарники, холодильники, конденсатори, пастеризатори, стерилізатори.

2. За агрегатним станом робочих середовищ: рідинно-рідинні, парорідинні і парогазові, газорідинні і газо-газові.

3. За способом передачі теплової енергії теплообмінники поділяються на поверхневі і теплообмінники змішування. В свою чергу поверхневі теплообмінники підрозділяються на рекуперативні та регенеративні. В такого виду апаратів теплообмін між середовищами здійснюється через поверхню, що їх розділяє. У теплообмінниках змішування теплообмін відбувається за рахунок безпосереднього змішування теплоносіїв.

4. За тепловим режимом апарати бувають періодичної та безперервної дії.

5. За напрямком руху робочих середовищ: прямоточні, протиточні, з перехресним потоком течій та комбіновані.

6. За конструкцією теплообмінні апарати бувають трубчасті, оболонкові, пластинчасті, спіральні, зрошувальні.

В комунальній енергетиці в системах опалення найбільш розповсюдженими являються пластинчасті та кожухотрубні теплообмінники.

На рис. 1.5 зображено кожухотрубний теплообмінний апарат, який складається з пучка труб, закріплених в трубних решітках та обмежених кожухом, кришками тощо. Трубний та міжтрубний простори, в яких рухаються гарячий та холодний теплоносії, відокремлені один від одного поверхнею теплообміну, причому кожен із цих просторів може бути розділено перегородками на декілька ходів. Отже, теплообмінний апарат складається з кожуху 1, в якому розміщена трубчатка 2, яка в свою чергу складається з двох трубних решіток 3 та пучка труб 4, що з'єднуються з трубними решітками за допомогою розвальцювання чи зварювання. Для підведення та відведення теплоносіїв (насичена пара, конденсат, водний розчин) апарат оснащено патрубками чи штуцерами 5, 6, 7. З торців апарат обмежено кришками 8. З метою підтримання потрібної швидкості теплоносіїв (для забезпечення високих коефіцієнтів тепловіддачі) та для зменшення вібрації трубного пучка в теплообмінному апараті встановлено перегородки 11 і 12, які розділяють трубний та міжтрубний простори на секції. Для приєднання частин трубопроводів, арматури до патрубків вводу-виводу теплоносіїв та для з'єднання окремих вузлів апарата використовують фланці 9, 10 [11,12].

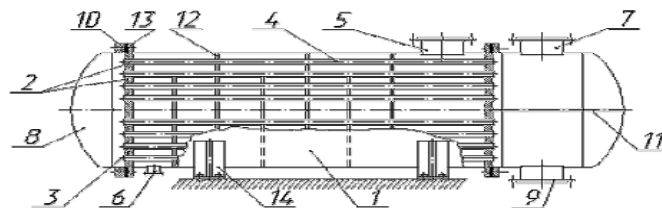


Рис. 1.5. Горизонтальний багатогодовий кожухотрубний теплообмінний апарат жорсткої конструкції: 1 – кожух; 2 – трубчатка; 3 – трубна решітка; 4 – трубки; 5, 6, 7 – патрубки для вводу та виводу насиченої пари, конденсату та речовини, відповідно; 8 – кришка еліптична; 9, 10 – фланець для патрубків та частин апарата, відповідно; 11, 12 – перегородки трубного та міжтрубного простору, відповідно; 13 – прокладка.

Пластинчастий теплообмінник – це прилад, в якому здійснюється передача теплової енергії від гарячого теплоносія до холодного середовища

через гофровані пластини з нержавіючої сталі, які встановлені в раму і стягнуті в пакет (рис. 1.6) [13, 14]. Теплоносіями можуть бути рідини, пари, гази.

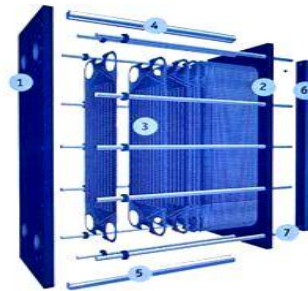


Рис. 1.6. Конструкція пластинчастого теплообмінника: 1 – нерухома плита з приєднувальними патрубками; 2 – задня притискна плита; 3 – пластини теплообмінника з ущільнюючими прокладками; 4, 5 – верхня та нижня направляючі; 6 – задня стійка; 7 – комплект різьбових шпильок.

Така конструкція теплообмінника забезпечує ефективну компоновку поверхні теплообміну і, відповідно, малі габаритні розміри самого апарату.

Пакет пластин складається з однакових за розмірами пластин, які тільки розвернуті одна за іншою на 180° , завдяки чому при стягуванні пакету пластин утворюються канали, по яким і протікають рідини, що приймають участь в процесі теплообміну. Таке встановлення пластин забезпечує чергування гарячих і холодних каналів.

В процесі теплообміну рідини рухаються в зустрічному напрямі (протитечії). В місцях їх можливого перетікання знаходиться або стальна пластина, або подвійне гумове ущільнення, це практично виключає змішування рідин.

Основні переваги пластинчастого теплообмінника перед кожухотрубним:

- економічність і простота обслуговування. При забрудненні пластинчастий теплообмінник може бути розібраний, промитий і зібраний двома робітниками без спеціальної кваліфікації;

- низька забрудненість поверхні теплообмінника як наслідок високої турбулентності потоку рідини;

– строк експлуатації першої одиниці, що виходить з ладу – ущільнюючої прокладки – у ведучих європейських виробників сягає 10 років. Строк роботи теплообмінних пластин – 20-25 років;

– індивідуальний розрахунок кожного пластинчатого теплообмінника за оригінальною програмою заводу – виробника дозволяє підібрати його конфігурацію у відповідності з гідравлічними і температурними режимами по обох контурах;

– гнучкість: площа поверхні теплообміну в пластинчастому теплообміннику може бути змінена шляхом додавання або вилучення пластин;

– менші обмеження в роботі: замерзання води в пакеті пластин не призводить до фактичного пошкодження апарата;

– стійкість до вібрації: пластинчасті теплообмінники стійкі до наведеної двохплощинної вібрації;

На сьогодні провідними зарубіжними та вітчизняними підприємствами по розробці та виготовленню ІТП являються SEMPAL (Україна), LPM (Фінляндія), SWEP (Швеція), AlfaLaval (Швеція), DANFOSS (Данія), SAMSON (Німеччина), HONEYWELL (США), RENAU (Німеччина), KAN (Польща), BROEN (Данія), EFAR (Польща), WILO (Німеччина), та ін. Розглянемо та проаналізуємо схеми ІТП, які на сьогодні реалізовано та є найбільш розповсюдженими [15-28].

ІТП приєднаний за залежною схемою [15]. Структурна схема зображена на рис. 1.7а, а зовнішній вид на рис. 1.7б. Засувки 1 і 2 дозволяють відключити тепловий пункт від теплової мережі, а засувки 3 і 4 – від системи опалення, що буває необхідно для проведення ремонту обладнання. Фільтр грубої очистки 5 призначений для захисту системи опалення від попадання забруднень з теплової мережі, а грязьовик 6 - для захисту витратоміра 7. Витратоміром здійснюється контроль витрат мережної води, а також облік відпуску теплоти.

Водоструминний елеватор 8 здійснює зниження температури мережної води перед системою опалення шляхом підмішування зворотної води після опалювальної системи.

Регулятор тиску «до себе» 9 встановлюється в тих випадках, коли напір у зворотному теплопроводі теплового пункту нижче статичного напору системи опалення і можливо спорожнення її верхньої частини. Регулятор витрати 10 встановлюється для забезпечення сталості витрати мережної води. Схема використовується, коли перепад тиску між подаючим та зворотним трубопроводами не менше 0,2 МПа. Недоліком даного пункту є неможливість регулювання вихідної температури та необхідність точного розрахунку елементів елеватора.

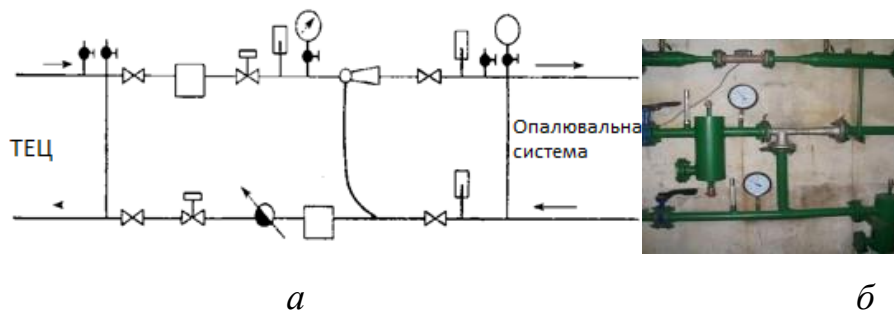


Рис. 1.7. Тепловий пункт приєднаний за залежною схемою:
а структурна схема, б зовнішній вигляд

Даний недолік був вирішений в автоматизованому тепловому пункті (АТП), що зображений на рис. 1.8 а, б [16]. Він приєднаний за залежною схемою до центральної тепломережі. Замість звичайного водоструминного елеватора був встановлений регульований елеватор. Схема використовується при постачанні перегрітого теплоносія від тепломережі при достатньому для функціонування гідроелеватора перепаді тиску між подаючим та зворотним трубопроводами: не менше 0,06 МПа і не більше 0,4 МПа. Недолік таких елеваторних вузлів, а, відповідно, і теплового пункту – погано працює на брудній воді, а при зменшенні перерізу сопла зменшується ступінь ежекції та перепад тиску після елеватора.

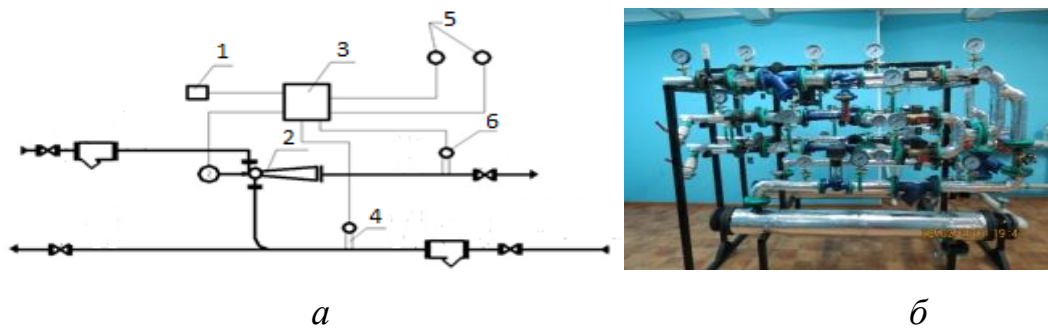


Рис. 1.8. АТП приєднаний за залежною схемою з регульованим елеватором:
a – структурна схема: 1, 5 – датчик зовнішньої та внутрішньої температури повітря, 2 – клапан з приводом, 3 – погодний компенсатор, 4, 6 – датчик температури вихідного та вхідного теплоносія; *б* – зовнішній вигляд

В АТП [17], який приєднаний за залежною схемою, в якості регулюючого приладу використовується клапан регулюючий двоходовий 3 (Рис. 1.9). Теплоносій з теплової мережі проходить через магнітний фільтр 20 у регулятор перепаду тиску 9 через трубопровід. Після регулятора перепаду тиску теплоносій надходить в регулюючий клапан 3 і потрапляє в систему опалення споживача. Повертаючись, теплоносій проходить магнітний фільтр 19 і один з циркуляційних насосів 10. Далі частина теплоносія проходить через зворотний клапан 21, змішується з теплоносієм із вхідного трубопроводу, охолоджуючи його, і направляється в систему опалення споживача. Інша частина через кульовий кран 14 надходить у зворотний трубопровід теплової мережі. В основу регулювання покладено температурний графік. Залежно від температури зовнішнього повітря за заданим температурним графіком контролер 5 обчислює температуру, з якою необхідно подавати воду на вхід системи опалення. Зміна температури води, що надходить у систему опалення, досягається за рахунок управління регулюючим клапаном 3, в результаті чого відбувається підмішування води, охолодженої в системі опалення, до мережної води.

В холодні періоди року бувають випадки, коли теплоносій надходить з недостатнім тиском і температурою. В таких випадках підмішування зворотної води є зайвим.

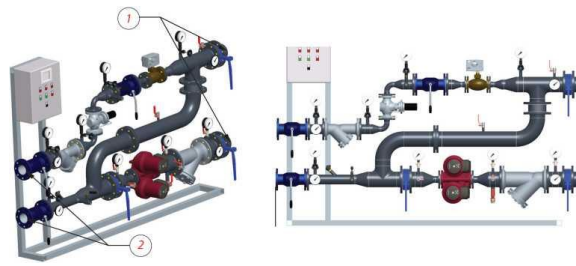


Рис. 1.9. АТП приєднаний за залежною схемою з регулюючим двоходовим клапаном: 1, 2 – первинний та вторинний контури

В системі розглянутій в [18] усунуто цей недолік, виконавши регулювання температури системи опалення шляхом зміни пропускної здатності трьохходового змішувального клапана 2 та підмішування мережної води за допомогою циркуляційного насосу 10 (рис. 1.10), це дозволяє при необхідності повністю перекривати підмішування зворотного теплоносія.

У процесі роботи на контролер 1 періодично надходять сигнали датчиків температури: теплоносія 3, повітря всередині приміщення 5 (якщо він є) і зовнішнього повітря 4. Контролер обробляє отриману інформацію і формує вихідні сигнали, що дають команду виконавчому механізму на відкриття або закриття. Регулюючий клапан шляхом змінення величини прохідного перетину регулює температуру теплоносія. За відсутності датчика температури повітря всередині приміщення головним пріоритетом регулювання є підтримання температурного графіка.

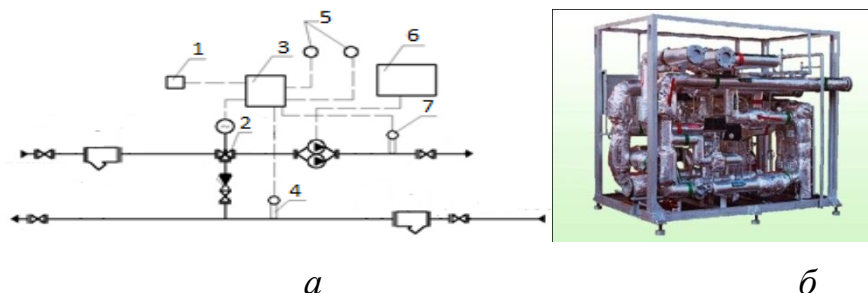


Рис. 1.10. АТП приєднаний за залежною схемою з регулюючим трьохходовим клапаном: *а* – структурна схема: 1, 5 – датчик зовнішньої та внутрішньої температури повітря, 2 – клапан з приводом, 3 – погодний компенсатор, 4, 7 – датчик температури вихідного та вхідного теплоносія, 6 – регулятор циркуляційних насосів; *б* – зовнішній вигляд.

Незалежне підключення має ряд переваг:

- гідравлічний режим в системі опалення не залежить від тиску в тепловій мережі;
- висока надійність;
- можливість покращити експлуатаційні та технічні якості теплоносія, тим самим підвищити захист котельних установок від забруднень.

Незалежне підключення ІТП до центрального теплопостачання [19] зображено на рис. 1.11. Тепловий пункт складається з розбірних пластинчастих теплообмінників, які прості в обслуговуванні і довговічні. Для регулювання температури теплоносія в системі опалення, а також для підтримання заданої температури в системі гарячого водопостачання, застосовується двоконтурний регулятор. Управління роботою насосів, збір даних з теплотічильника, управління регулятором, контроль за загальним станом ТП, зв'язок з верхнім рівнем управління (диспетчеризація) бере на себе контролер, який з'єднаний з персональним комп'ютером.

Регулятор має два незалежних контури регулювання температури теплоносіїв. Один забезпечує регулювання температури в системі опалення залежно від графіка, що враховує температуру зовнішнього повітря, час доби, день тижня та ін. Інший підтримує встановлену температуру в системі гарячого водопостачання.

Контролер має кілька дискретних входів і виходів. На дискретні входи подаються сигнали від датчиків. Вся ця інформація доставляється на верхній диспетчерський рівень. Через дискретні виходи контролера здійснюється управління роботою насосів та регуляторів за будь-якими алгоритмами користувача, що задаються на етапі проектування.

Контролер може бути запрограмований для роботи з теплотічильником, видаючи дані щодо теплоспоживання в диспетчерський пункт. Через нього ж здійснюється зв'язок з регулятором.

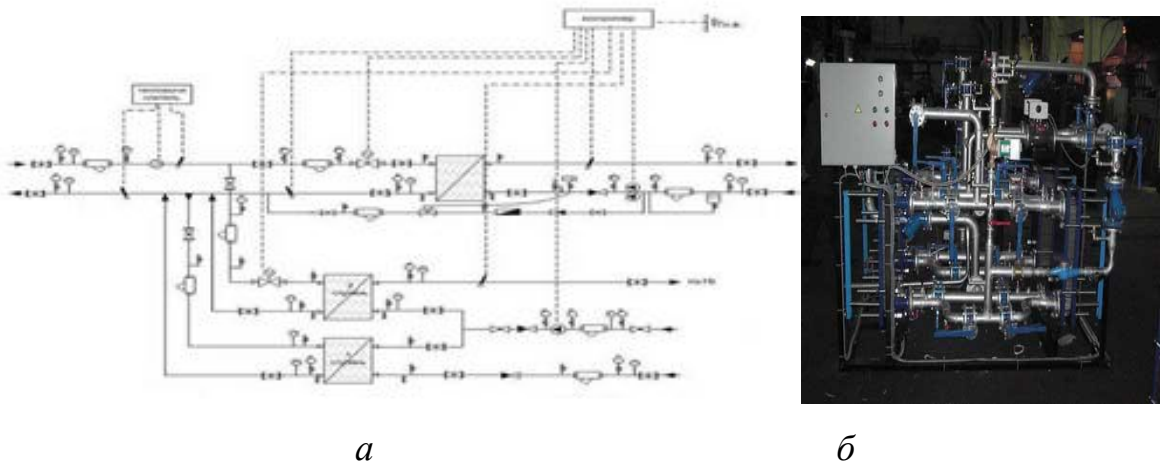


Рис. 1.11. АТП приєднаний за незалежною схемою:
а структурна схема; *б* зовнішній вид

Розглянуті ТП використовують традиційні джерела енергії, яких з кожним роком стає все менше.

ТП з комбінованим джерелом енергії [20], в якому традиційні джерела енергії поєднано з сонячними колекторами показано на рис. 1.12.

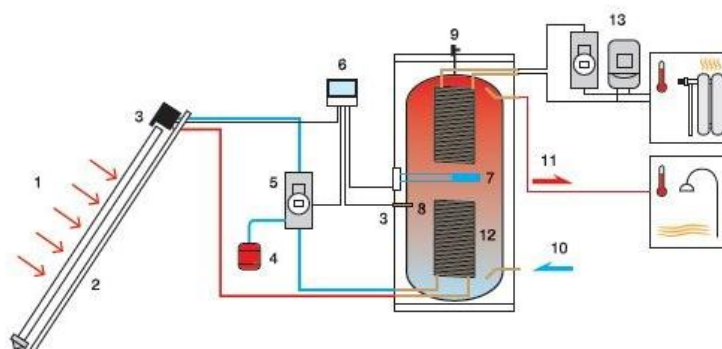


Рис. 1.12. АТП з комбінованим джерелом енергії

Нагрітий в колекторі 2 теплоносій, протікаючи по нижньому теплообміннику бойлера 12, віддає теплову енергію воді. Так бойлер спеціальної конструкції працює акумулятором теплової енергії, який може одночасно нагрівати воду від двох джерел енергії. Його під'єднують до сонячних колекторів і газового котла 13. Коли недостатньо сонячного випромінювання і вода в бойлері не може нагрітись до потрібної температури, тоді вмикається котел і догріває воду через верхній теплообмінник до заданої величини. Влітку котел не вмикається, вбудований

в бойлер ТЕН 7 догріває воду до потрібного рівня. Але в даній системі сонячна енергія використовується для опалення приміщень лише у випадках, коли температура теплоносія в колекторі перевищує $60-70^{\circ}\text{C}$, що взимку буває вкрай рідко. В багатьох адміністративних будівлях потреба в гарячому водопостачанні мала або взагалі відсутня. Якщо ж геліосистема буде розрахована лише на підігрів первинного теплоносія в системі опалення, то в похмурі дні, коли теплоносій буде нагріватися до низькоампертурної температури $45-55^{\circ}\text{C}$, цього не буде достатньо для системи і відповідно сонячна енергія не буде використовуватися в повній мірі.

1.2 Режими роботи та основні закони регулювання систем

Як розглянуто в [29-34] якість роботи систем керування визначається величиною похибки регулювання, тобто різницею між потрібним і дійсним значенням регульованої величини. Знання миттєвих значень помилки регулювання у процесі роботи визначає якість роботи системи керування. Через випадковий характер збурюючих дій на систему, через найрізноманітніші зміни керуючої дії та ряд складних залежностей між діючими і вихідною величинами помилка керування постійно змінюється і визначити її як характеристику якості системи не можна. Тому системи характеризують певними критеріями залежно від режимів її роботи. Як правило, цими критеріями виступають помилки керування в типових режимах роботи. В усталеному режимі роботи системи автоматизованого керування (САК) критерієм якості є точність керування. Остання визначається величиною помилки системи у встановленому режимі роботи. Найбільш типові режими роботи САК – встановлений та перехідний. Встановлені режими роботи бувають статичними та динамічними.

Динамічних режимів може бути багато, залежно від характеру зміни керуючої дії. Найчастіше визначають точність систем керування в динамічних режимах роботи з постійною швидкістю чи з постійним прискоренням зміни керуючої величини.

Встановлений режим роботи – це такий режим, при якому помилка керування є постійною. Він виникає при постійній дії на систему після завершення перехідних процесів. Після завершення перехідних процесів встановлюється статичний або динамічний режим роботи.

Перехідний режим – це режим роботи, при якому система переходить з одного встановленого режиму до іншого. Цей режим характеризується швидкою зміною в часі керованої величини і помилок керування. Як правило, в перехідних режимах САК працює досить часто, а сумарна тривалість перехідних режимів роботи займає значну частину часу роботи системи.

Статичний встановлений режим – це режим, при якому система знаходиться у стані стабільної роботи внаслідок того, що керуюча і збурююча дії на систему постійні і параметри системи не змінюються в часі. Якщо розглядати рівняння динаміки, то в статичному режимі роботи всі похідні за часом дорівнюють нулю.

Динамічний встановлений режим – це режим встановлених вимушених коливань системи, який настає тоді, коли діючі на систему збурення чи керуюча дія змінюються за деяким встановленим у часі законом, в результаті чого помилка керування лишається незмінною. Найбільш важливими є встановлені режими при гармонічній зміні керуючої величини, при зміні керуючої величини з постійною швидкістю та постійним прискоренням.

Відповідно до режимів роботи розрізняють статичні і динамічні помилки керування. Часто вживають терміни: помилка за значенням величини, за швидкістю зміни, за прискоренням. Відносно режиму вимушених гармонічних коливань розглядають помилку керування за амплітудою і за фазою.

Крім інтегруючих ланок в систему керування вводять диференційні ланки [29]. Залежно від того, які елементи містить регулятор, розрізняють пропорційні, інтегруючі і диференційні регулятори, або пропорційні, інтегральні і диференційні закони регулювання.

Пропорційний закон регулювання (П – регулятор) забезпечується регулятором, який виконує тільки функцію підсилення. Цей регулятор не забезпечує достатньої точності регулювання в статичному режимі роботи. Для усунення статичної похибки в систему вводять інтегруючі ланки.

Інтегральний закон регулювання забезпечує нульову статичну похибку регулювання за величиною, за швидкістю її зміни, за прискоренням, залежно від порядку астатизму. Недоліком інтегральних регуляторів є їх інертність і втрати стійкості системи. Самостійно інтегральні регулятори не використовують, а застосовують разом з пропорційними регуляторами, такі регулятори називають пропорційно – інтегральними і позначають ПІ – регулятори.

Диференційний закон регулювання (Д – регулятор) забезпечують диференційні ланки. Диференційний закон регулювання здійснюється шляхом подання на об'єкт керування керуючої дії пропорційної швидкості зміни вихідної величини. Цим забезпечується швидкодія регулювання. Регулювання здійснюється уже в момент, коли величина тільки починає змінюватись. Диференційні регулятори використовують разом з пропорційними регуляторами. Такі регулятори мають назву пропорційно – диференційні регулятори і позначають їх ПД – регулятори.

Більш складними є пропорційно – інтегрально – диференційні (ПІД) регулятори. Вони здатні забезпечити достатню точність регулювання у різноманітних режимах роботи САК. Недоліком їх є велика складність не тільки будови регулятора, але і їх розрахунку.

На сьогодні в більшості ТП керування забезпечується автоматикою, серцем якої є регулятор температури. В [35] розглянуто регулятор температури електронний ЕРТ (рис. 1.13), який призначений для автоматичного регулювання відпуску теплової енергії в ТП теплопостачання громадських, житлових і виробничих будівель. Корекція відпуску теплової енергії на опалення здійснюється за заданою програмою з використанням програмного реле часу.

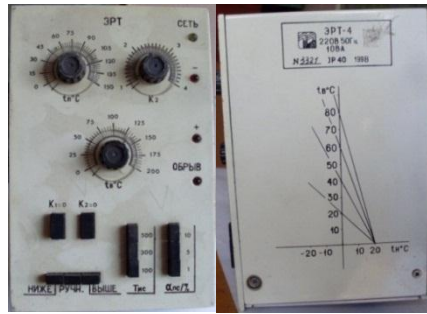


Рис.1.13. Зовнішній вигляд регулятора температури ЕРТ

В регуляторі реалізовано ПІ закон регулювання. Регулятор працює в комплекті з термоперетворювачем типу ТСМ з номінальною статичною характеристикою перетворення 50М, програмним реле часу РВП-Н1 з тижневою (добовою) програмою.

Основні недоліки регулятора ЕРТ:

- аналогова схема, чутлива до завад та збоїв;
- відсутність представлення значень вимірюваних температур;
- відсутність можливості роботи в складі системи диспетчеризації;
- регулювання теплової енергії за часом доби здійснюється за допомогою додаткового реле часу;
- важко налаштовується опалювальний температурний графік;
- відсутність захисту обладнання при аварійних ситуаціях.

Дані недоліки частково були усунуті в електронному регуляторі КІАРМ ТС7 [36] (рис. 1.14). Прилад спільно із стандартними термоперетворювачами опору призначений для контролю параметрів теплоносія і температури зовнішнього повітря в системах теплопостачання та управління виконавчим пристроєм з метою підтримання встановленої температури в приміщеннях будівель та споруд.



Рис. 1.14. Зовнішній вигляд регулятора КІАРМ ТС7

Прилад дозволяє здійснювати наступні функції:

- вимірювання та відображення температури по двох каналах;
- регулювання температури по двохпозиційному закону регулювання;
- світлову індикацію режиму роботи приладу;
- регулювання температури в автоматичному режимі за тижневим графіком на базі енергонезалежного таймера;
- індикацію несправності датчика або виходу температури за встановлені межі.

Основні недоліки регулятора КІАРМ ТС7:

- відсутність можливості роботи в складі системи диспетчеризації;
- регулювання температури за двохпозиційним законом регулювання;
- відсутність запису архіву на зовнішню флеш-пам'ять;
- відсутність захисту обладнання при аварійних ситуаціях.

В [37] розглянуто регулятор ТРМ32, який призначений для контролю і регулювання температури в контурах опалення та гарячого водопостачання (рис. 1.15). До входів в залежності від їх типу підключаються датчики ТСМ50М, ТСП50П або ТСМ100М, ТСП100П, Pt100. Температуру підтримують два ПД-регулятора:

- перший ПД-регулятор управляє запірно-регулюючим клапаном для підтримання температури в контурі опалення та захисту від перевищення температури зворотної води;
- другий ПД-регулятор забезпечує підтримання температури в контурі гарячого водопостачання.



Рис.1.15. Зовнішній вигляд ТРМ32

Регулювання температури в контурі опалення здійснюється за опалювальним графіком, а захист системи від перевищення температури зворотної води – за графіком температури зворотної води. Побудова графіків здійснюється приладом автоматично за заданими користувачем координатами точок перегину, що залежать від характеристик системи опалення. Для досягнення максимально економічної роботи в контролері передбачені наступні функції:

- можливість перемикання з денного на нічний режим роботи;
- контроль температури зворотної води.

Перемикання контролера в нічний режим роботи відбувається при замиканні зовнішніх контактів приладу «день/ніч». При цьому опалювальний графік зсувається на задану користувачем величину, значення якої вказується при програмуванні. Комутація може здійснюватися будь-яким виконавчим пристроєм з «сухими» контактами (тумблер, перемикач або таймер).

Переваги регулятора ТРМ 32 перед вище розглянутими:

- регулювання температури в контурі опалення по опалювальному графіку;
- висока точність підтримання температури, забезпечена ПІД-регуляторами;
- захист системи опалення від перевищення температури зворотної води;
- перемикання режимів «день/ніч»;
- реєстрація даних на ЕОМ по інтерфейсу RS-485.

Основні недоліки контролера ТРМ32:

- для запуску та експлуатації потрібен персонал відповідної кваліфікації;
- відсутня можливість розширення апаратної частини;
- відсутня функція відключення опалення;
- відсутній годинник реального часу з автоматичною зміною часу;
- відсутня функція захисту електроприводу;

– відсутнє управління і захист циркуляційного насоса.

Всі вище наведені недоліки були усунуті в ECL COMFORT 300 [38] (рис. 1.16). Регулятор ECL COMFORT 300 призначений для двоконтурних систем опалення і є одним з найпоширеніших регуляторів температури, що застосовуються в теплових вузлах систем теплопостачання будівель.



Рис.1.16. Зовнішній вигляд регулятора ECL COMFORT 300

Переваги регулятора ECL COMFORT 300:

- зручна система цифрової настройки, яка дозволяє підлаштовувати регулятор під роботу в різних технологічних схемах систем опалення;
- можливість дистанційного контролю та управління регулятором;
- виходи для підключення релейного і комунікаційного модулів;
- тиристорні виходи для управління регулюючим клапаном;
- можливість перемикання на інші завдання за допомогою чіп-карт;
- для запуску та експлуатації не вимагається від персоналу спеціальних знань у програмуванні;
- обмеження температури в зворотному трубопроводі відповідно до температури зовнішнього повітря;
- функція відключення опалення;
- годинник реального часу з автоматичною зміною часу з літнього на зимовий і навпаки;
- функція захисту електроприводу.

Основні недоліки даного регулятора:

- висока вартість (карта з електронним чіпом купується окремо);
- регулювання температури по ПІ - закону регулювання;

– опалювальний температурний графік у вигляді жорстко запрограмованих кривих, які не дозволяють провести більш гнучке налаштування температури систем опалення.

Компанією Honeywell були розроблені контролери Smile SDC та ASC02-01WM [39], які у поєднанні можуть контролювати комбіноване теплоспоживання традиційних джерел та сонячної енергії. Контролер Smile SDC версії 3.2 (рис. 3.17) призначено для управління системами опалення та гарячого водопостачання з одним або декількома котлами (SDC режим) або теплообмінниками системи централізованого тепlopостачання (DHC режим). Конттури опалення та ГВП управляються незалежно, 7-ми денні тимчасові програми пропонують до 2-х комфортних і 3-х економічних періодів на добу. Для кожного контуру опалення можна задати індивідуальну температурно-часову програму з урахуванням погодної компенсації або з урахуванням підтримки постійної температури теплоносія в контурі. Така особливість дозволять застосовувати два контури в одній опалювальній зоні. Наприклад, один контур застосовується для теплої підлоги з постійною температурою потоку, а інший для радіаторного опалення з урахуванням погодної компенсації.



Рис 1.17. Зовнішній вигляд регуляторів Smile SDC



Рис 1.18. Зовнішній вигляд регуляторів ASC02-01WM

Контролер для сонячних колекторів ASC02-01WM (рис. 1.18) призначений для автоматичної підтримки різниці між температурою води в сонячній панелі та температурою води в буфері шляхом управління насосом в колекторі через вбудоване реле за принципом Увімкнути / Вимкнути. Як тільки під впливом сонячних променів різниця температур в сонячній панелі

та буфері перевищить 8К, то включиться насос. Насос вимкнеться, якщо різниця температур опуститься нижче 4К.

Контролери ASC сумісні з датчиками температури Pt1000 з розширеним температурним діапазоном для вимірювання температури води (до +230° С).

Проаналізувавши основні закони регулювання та існуючі регулятори температури, стало зрозумілим, що було б доцільним створення нового блоку керування теплоспоживанням, який би поєднував у собі як і більш складний (ПД), так і більш простий (П, ДІ) закон регулювання, що дозволило б використовувати його для регулювання теплоспоживання різних об'єктів, з використанням всіх необхідних функцій автоматизації керування теплових пунктів.

1.3 Методи регулювання теплових навантажень

У системах теплопостачання, що є взаємозв'язаним комплексом теплоспоживачів, режими витрати тепла численними абонентами неоднакові. Зокрема, теплове навантаження опалювальних установок змінюється залежно від температури зовнішнього повітря, залишаючись практично постійною протягом доби. Регулювання підвищує якість теплопостачання, скорочує перевитрату теплової енергії і палива.

Проведено порівняльний аналіз методів централізованого регулювання теплового навантаження, а саме: якісного, кількісного та якісно-кількісного методів[40-44].

Якісний метод. Його перевагою є стабільний гідравлічний режим теплових мереж. До недоліків методу відносяться:

- низька надійність джерел пікової теплової потужності;
- необхідність вживання дорогих методів обробки підживлюючої води тепломережі за високих температур теплоносія;
- підвищений температурний графік для компенсації відбору води на ГВП і пов'язане з цим зниження вироблення енергії на теплове споживання;

- велике транспортне запізнювання (теплова інерційність) регулювання теплового навантаження системи тепlopостачання;
- висока інтенсивність корозії трубопроводів через роботу системи тепlopостачання значну частину опалювального періоду з температурами теплоносія 60-85 °С;
- коливання температури внутрішнього повітря, обумовлені впливом навантаження ГВП на роботу систем опалення і різним співвідношенням навантажень ГВП і опалювання у абонентів;
- зниження якості тепlopостачання у разі регулювання температури теплоносія по середній за декілька годин температурі зовнішнього повітря, що приводить до коливань температури внутрішнього повітря;
- при змінній температурі мережної води істотно ускладнюється експлуатація компенсаторів.

Перевагами кількісного та якісно-кількісного методу є:

- збільшення використання теплової енергії за рахунок зниження температури зворотної мережної води;
- можливість вживання недорогих методів обробки підживлючої води тепломережі при $T_{\text{вх}} \leq 110$ °С;
- робота системи тепlopостачання із зниженими витратами мережної води і значною економією електроенергії на транспорт теплоносія;
- менша інерційність регулювання теплового навантаження, оскільки система тепlopостачання швидше реагує на зміну тиску, ніж на зміну температури мережної води;
- найкращі теплові і гідравлічні показники по режиму систем опалення за рахунок зменшення впливу гравітаційного тиску і зниження перегріву опалювальних приладів;
- можливість вживання при $T_{\text{вх}} \leq 110$ °С в місцевих системах і квартальних мережах довговічних трубопроводів з неметалічних матеріалів;

До недоліків методу відносяться:

- змінний гідравлічний режим роботи теплових мереж;
- великі, в порівнянні з якісним регулюванням, капітальні витрати в тепломережі.

За способом здійснення регулювання може бути автоматичним і ручним, проте ефективне регулювання може бути досягнуте тільки за допомогою САК.

1.4 Використання сонячної енергії в системах опалення

Низькотемпературними називаються системи опалення, температура теплоносія на вході яких не перевищує 70 °С [45-46]. У таких системах можна використовувати як традиційні, так і нетрадиційні джерела теплоти, до яких відносяться сонячна радіація, теплота вихідних газів і повітря, низькопотенційних середовищ (води, повітря).

Системи низькотемпературного опалення розрізняють залежно від способу нагрівання теплоносія на однокомпонентні, що мають однотипні теплопридатні установки, і комбіновані, що мають різнотипні теплопідготовчі установки (наприклад, сонячна теплонасосна установка і електричний теплообмінник).

При використанні альтернативних джерел теплоти періодичної дії, таких як сонячна енергія, скидна теплота технологічного процесу, системи низькотемпературного водяного опалення оснащують акумуляторами теплоти з рідкими або твердими заповнювачами, теплоакумуляторами, що використовують теплоту фазових перетворень, або термохімічними теплоакумуляторами. У теплоакумуляторах з рідкими і твердими заповнювачами (вода, незамерзаючі рідини, глизаптин, гравій і ін.) теплота накопичується за рахунок теплоємності матеріалу заповнювача.

У низькотемпературних системах опалення будинку так само, як і в традиційних, необхідний цілеспрямований розподіл потоків теплової енергії. Це досягається різним видом енергетичних сполучень. У випадку, коли температура джерела теплової енергії нижче температури приміщення, що

обслуговується, а також для зниження витрати металу на нагрівальні поверхні, у низькотемпературні системи опалення включають різні теплові насоси.

Системи, що використовують як теплову енергію сонячну радіацію, називаються системами сонячного опалення. Основним елементом таких низькотемпературних систем опалення є геліоприймач, призначений для вловлювання сонячної радіації і її перетворення в теплову енергію.

За способом використання сонячної радіації системи сонячного низькотемпературного опалення розділяють на пасивні й активні. Пасивними називаються системи сонячного опалення, у яких як елемент, що сприймає сонячну радіацію і перетворює її в теплоту, слугує сама будівля або його окремі огороження (будівля-колектор, стіна-колектор, покрівля-колектор тощо) [11, 45]. У таких системах використовується природня циркуляція нагрітого повітря, тобто гравітаційні сили (рис. 1.19)

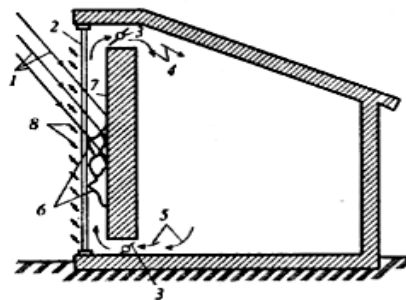


Рис. 1.19. Пасивна низькотемпературна система сонячного опалення

В активних системах сонячного низькотемпературного опалення геліоприймач є самостійним окремим приладом, що не відноситься до будівлі. У такі системи входять також акумулятор теплоти, додаткове джерело або трансформатор теплоти (тепловий насос), її споживач (системи опалення). Теплота сонячного випромінювання надходить на геліоприймач, де частково акумулюється і передається проміжному теплоносієві, який насосами транспортується і розподіляється по приміщеннях. Вибір і компонування елементів у кожному конкретному випадку визначаються кліматичними факторами, призначенням об'єкта, режимом теплоспоживання,

економічними показниками. Нині в активних системах сонячного опалення найчастіше застосовуються плоскі та вакуумні трубчасті сонячні колектори. Плоский колектор (рис. 1.20, *а*) може нагрівати теплоносії до температури 90–95 °С [46]. Такі колектори мають непогану ефективність і досить низьку вартість.

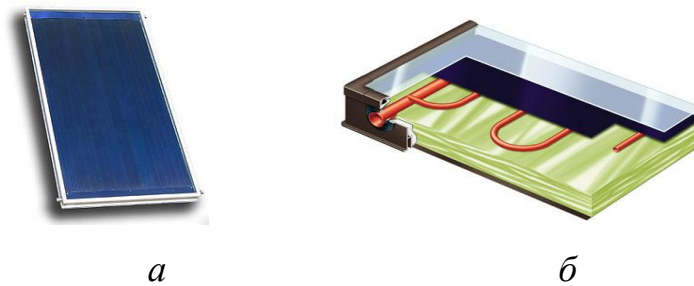


Рис. 1.20. Плоский колектор:
а – зовнішній вигляд; *б* – внутрішні складові

Будь-який плоский колектор складається з корпусу, абсорбера, каналів для теплоносія, теплової ізоляції та скління (рис. 1.20, *б*). В абсорбері сонячне випромінювання перетворюється в теплоту. Теплота передається з поверхні абсорбера, що має селективне покриття, рідкому теплоносію через припаяні, запресовані або приварені трубки. Абсорбер в більшості випадків виготовлений з листової міді, алюмінію або зі скла. Нанесене покриття є високоселективним, тобто забезпечує максимально можливе перетворення випромінювання, що надходить, в теплову енергію.

Відмінною особливістю вакуумованого колектора (рис. 1.21, *а*) є те, що він складається з комплексу двостінних скляних колб, в міжстінному просторі яких створено вакуум [45]. Така конструкція дозволяє зменшити теплові втрати, а також підвищити його ефективність, отримати теплоносії з температурою 115–120 °С.

Перетворення сонячної енергії в теплову в вакуумованих трубчастих колекторах відбувається ідентично плоским. Відмінності полягають в тепловій ізоляції (рис. 1.21, *б*): в трубчастому колекторі абсорбер вбудований

в вакуумовану скляну трубку, тому теплові втрати в таких колекторах трохи нижче, ніж у плоских.



Рис. 1.21. Вакуумний колектор:

a – зовнішній вигляд; *б* – внутрішні складові вакуумного колектора

Абсорбер вакуумованого колектора пластинчастого типу складається з плоских пластин з припаяними до них трубками. У внутрішній трубці за принципом протитечії протікає теплоносій, що подається в трубу, по зовнішній, привареної до абсорбера трубці, протікає відведене середовище, при цьому відбувається його нагрівання. В абсорберах з тепловою трубою використовується запаяна трубка, в якій знаходиться легкокипляча рідина. У абсорберах круглого скляного типу дві вставлені один в одну трубки з'єднуються і вакуумуються. Абсорбер напильюється на внутрішню скляну трубку. Через теплопровідні металеві пластини і встановлені в них трубки абсорбера сонячне тепло передається теплоносію. Але у такого колектора оптичний коефіцієнт корисної дії на 20 % менше, ніж у колектора з плоскими абсорберами.

Одним з факторів для вибору типу колектора є, окрім умов монтажу, очікувана різниця температур ΔT між температурою колектора і температурою зовнішнього повітря.

На рис. 1.22 видно, що середня різниця температур ΔT , наприклад, в сонячних системах гарячого водопостачання з низькою часткою заміщення теплового навантаження менше, ніж в сонячних системах з високою часткою заміщення або в установках, що покривають частину навантаження на опалювання.

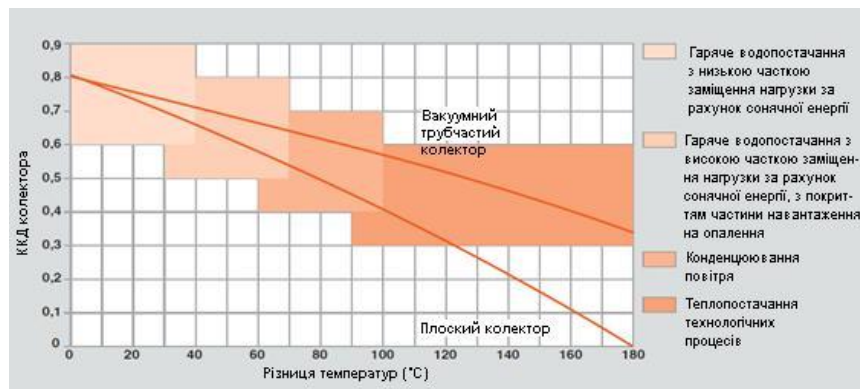


Рис. 1.22. Графік співвідношення ККД різних типів колекторів відносно різниці температур

В табл. 1.1 – 1.3 наведені технічні характеристики сонячних колекторів різних типів та різних виробників [47-49].

Таблиця 1.1

Сонячні колектори фірми VAILLANT

Виробник і марка колектора	VAILLANT		
	VFK 145 V	VFK 150 V	VTK 570/2
Площа апертури, м ²	2,51	2,51	1,16
Площа поглинач, м ²	2,35	2,35	1,0
Габаритні розміри, мм	2033x1233x80	2033x1233x80	1652x702x111
Оптичний ККД, %	До 80	До 84	До 64,2
Коеф. поглинання абсорбера, %	94	94	93,5
Коеф. розсіювання абсорбера, %	5	5	6
Об'єм теплоносія, л	1,8	1,8	0,9
Температура стагнації, °C	171	172	272
Ціна, грн.	8024	9540	9000

Таблиця 1.2

Сонячні колектори фірми ARISTON

Виробник і марка колектора	ARISTON		
	KAIROS CF 2.0	KAIROS XP 2.5-1V	KAIROS VT15
Площа апертури, м ²	1,82/	2,26	1,58
Площа поглинач, м ²	1,74	2,23	1,51
Габаритні розміри, мм	1020x2002x100	1128x2241x98	1910x1840
ККД в літній час, %	0,738	0,812	0,816
Коеф. поглинання абсорбера, %	95	95	94

Коеф. розсіювання абсорбера, %	5	5	6
Об'єм теплоносія, л	1,02	2,5	4,3
Температура стагнації, °С	161,6	193	206
Ціна, грн.	3645	3726	4050

Таблиця 1.3

Сонячні колектори фірми VIESSMANN

Виробник і марка колектора	VIESSMANN		
	Vitosol 200-F	Vitosol 300-F	Vitosol 200-T
Площа апертури, м ²	2,33	2,33	1,06
Площа поглинача, м ²	2,32	2,32	1,03
Габаритні розміри, мм	1056x2380x90	1056x2380x90	709x2031x143
Оптичний ККД, %	79,3	83,4	82,0
Коефіцієнт теплових втрат k_1 , Вт/(м ² ·К)	4,04	3,66	1,62
Коефіцієнт теплових втрат k_2 , Вт/(м ² ·К)	0,0182	0,0169	0,0068
Об'єм теплоносія, л	1,83	1,83	2,2
Температура стагнації, °С	186	206	295
Ціна, грн.	8740	9500	19500

При виборі колектора важливо також знати співвідношення ціна–продуктивність. Плоскі колектори привабливіше вакуумованих за ціною і дають хороше співвідношення ціна–продуктивність (особливо при використанні низькоампертурного теплоносія). Тим більше що на практиці ККД вакуумованого колектора і плоского в зимовий період майже однакові у зв'язку зі значним налипанням снігу на вакуумовані колектори.

1.5 Постановка завдання

На підставі аналізу стану систем теплопостачання та теплоспоживання, наявних апаратних можливостей їх проектування і впровадження можна зробити такі висновки, що підвищення енергоефективності будівель за рахунок удосконалення системи керування теплоспоживанням з

використанням додаткового джерела відновлюваної енергії є актуальним на сьогодні.

Для досягнення цього необхідно вирішити наступні завдання:

– провести порівняльний аналіз існуючих теплових систем та видів регулювання, доцільності використання альтернативних джерел енергії, блоків керування та теплообмінників для обґрунтування способу побудови та структури системи керування теплоспоживанням;

– розробити математичну та імітаційну моделі, які описують процес теплообміну в будівлі за умови комбінованого тепlopостачання з використання зовнішнього теплоносія та сонячної енергії як в стаціонарному, так і в динамічному режимах;

– експериментально визначити тепловий опір огорожувальних конструкцій та коефіцієнт інфільтрації будівлі для верифікації запропонованої моделі;

– обґрунтувати структуру та дослідити функціонування блоку керування для оптимізації процесу керування теплоспоживанням з урахуванням теплової інерційності будівлі;

– створити експериментальний стенд системи керування теплоспоживанням будівель при комбінованому тепlopостачанні з використанням традиційних енергоресурсів і сонячної енергії та провести його дослідження.

Висновки до розділу 1

1. На основі порівняльного аналізу методів та засобів керування теплоспоживанням визначено, що схемотехнічні рішення при проектуванні систем керування теплоспоживанням залежать від характеристик об'єкта, технічних умов теплозабезпечення, метеофакторів тощо.

2. За результатами аналізу існуючих засобів керування теплоспоживанням виявлено низку недоліків та обмежень, на підставі чого

було запропоновано розширений перелік функцій, які забезпечать ефективне керування теплоспоживанням, а саме:

- використання різних законів регулювання в залежності від об'єктів теплоспоживання;

- використання не тільки типових метеозалежних графіків, а й можливість їх коригування з урахуванням особливостей об'єктів теплоспоживання;

- розширення можливостей корекції теплового графіку залежно від часу доби, дня тижня, вихідних тощо;

- можливість введення додатково функції лічильника теплової енергії;

- використання критерію оптимізації регулювання теплоспоживанням для підтримання заданої температури в приміщеннях за умови мінімізації споживання теплової енергії від мережі централізованого тепlopостачання, підтримання мінімально допустимої температури під час відсутності людей у приміщеннях тощо;

3. Проаналізовано методи підвищення ефективності систем за рахунок регулювання теплових навантажень та використання альтернативних джерел енергії.

4. На основі розглянутих принципів та методів використання сонячної енергії в системах опалення, порівняльного аналізу сучасних сонячних колекторів обґрунтовано вибір основних параметрів геліоустановки для широти м. Києва.

5. За результатами проведеного аналізу сформульовано мету та завдання дослідження, намічено шляхи розробки та оптимізації систем керування теплоспоживанням будівель, напрями подальшого вдосконалення засобів керування режимами теплоспоживання.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛООБМІНУ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ ТЕПЛОСПОЖИВАННЯМ БУДІВЕЛЬ

2.1 Стаціонарна математична модель системи керування теплоспоживанням будівель при використанні традиційного та комбінованого джерел енергії в теплопостачанні

2.1.1 Розроблення математичної моделі системи керування теплоспоживанням будівель при використанні традиційних джерел енергії

Основними рівняннями, що формують вид моделі, є рівняння теплопровідності і теплових балансів теплоносіїв, а також граничні умови, що визначають теплообмін між середовищами, які беруть участь в процесі передачі теплоти. У випадку, що розглядається, задача теплопровідності як одновимірної, так і просторової [7, 50-54], принципово може розглядатися як в стаціонарній або квазістаціонарній, так і в нестаціонарній постановках. Враховуючи ускладнення задачі, а також неістотний вплив цього чинника на її рішення у зв'язку з високими показниками теплової інерції будівель на цьому етапі задача розглядається як стаціонарна. Частина задачі, пов'язана з особливостями роботи системи при переході з режиму на режим, розглядається як квазістаціонарна і відповідає рівнянню:

$$dq = -\lambda grad \frac{dT}{dx}, \quad (2.1)$$

де q – питомий тепловий потік через огороження; λ – теплопровідність огорожувальної конструкції.

У переважній більшості випадків для отримання керуючого рівняння для СКТ використовується одновимірне стаціонарне рівняння теплопровідності. Це виправдано і доцільно при модернізації системи теплоспоживанням існуючих будівель, теплові характеристики елементів

яких і самої будівлі в цілому істотно відрізняються порівняно з розрахунковими проектними, а розрахунок і облік їх зміни практично вельми ускладнений. Тому розгляд задачі в дво- і тривимірній постановці, враховуючи складність опису математичної моделі і обліку всіх чинників, може бути доцільним і виправданим практично тільки під час проектування нової будівлі і системи його теплоспоживання [7, 52]. З цих причин запропонована тепла математична модель базується на стаціонарному одновимірному рівнянні теплопровідності еквівалентної плоскої стінки з граничними умовами 3-го роду на внутрішніх і зовнішніх поверхнях будівлі. Питомі теплові потоки до внутрішньої і від зовнішньої поверхонь будівлі (огороження) дорівнюють:

$$q = \alpha_{\text{вн}} \cdot (T_{\text{вн}} - T_{\text{ст}_{\text{вн}}}) = \alpha_{\text{зовн}} \cdot (T_{\text{ст}_{\text{зовн}}} - T_{\text{зовн}}), \quad (2.2)$$

де $\alpha_{\text{вн}}, \alpha_{\text{зовн}}$ – коефіцієнти тепловіддачі від повітря в будівлі до внутрішньої поверхні огороження і від зовнішньої поверхні огороження до зовнішнього повітря; $T_{\text{ст}_{\text{вн}}}, T_{\text{ст}_{\text{зовн}}}$ – температура на внутрішній і зовнішній поверхнях огороження; $T_{\text{вн}}, T_{\text{зовн}}$ – температура повітря всередині і зовні будівлі;

Вводячи коефіцієнт теплопередачі або повний тепловий опір огороження, цей питомий тепловий потік для одновимірної стаціонарної задачі теплопровідності можна виразити як:

$$q = k \cdot (T_{\text{вн}} - T_{\text{зовн}}) = (T_{\text{вн}} - T_{\text{зовн}})/R_0, \quad (2.3)$$

де k – коефіцієнт теплопередачі через огороження;

$$k = \frac{1}{R_0} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{\text{зовн}}}}, \quad (2.4)$$

$R_0 = 1/k$ – питомий тепловий опір огороження;

Наведені вище рівняння одержані для плоскої одновимірної задачі теплопровідності [55, 56]. Основним допущенням побудови теплової моделі є положення еквівалентності приведених середньоінтегральних теплових характеристик фізичної і розрахункової моделей об'єкту – теплових потоків, що підводяться і відводяться, коефіцієнтів тепловіддачі, коефіцієнтів теплопровідності, температур на внутрішніх і зовнішніх поверхнях огороження, і, таким чином, середньоінтегральних питомих теплових опорів огороження об'єкту і приведених питомих теплових опорів моделі. При цьому в моделі здійснюється приведення теплових характеристик таких елементів будівлі як застелення, дах через відповідний перерахунок їх площ до однорідних по теплопровідності стін будівлі. Наступними основними рівняннями, що визначають вид моделі, є рівняння теплових балансів теплоносіїв в системі теплоспоживання будівлі і СКТ (див. рис.2.1). Тепловий потік теплоносія з котельної (первинного контуру):

$$Q = G \cdot c_B \cdot (T_{\text{вх}} - T_{\text{вих}}), \quad (2.5)$$

де Q – тепловий потік в первинному контурі; G – витрата теплоносія в первинному контурі; c_B – теплоємність води; $T_{\text{вх}}, T_{\text{вих}}$ – температури теплоносія в первинному контурі на вході і виході з теплообмінника; а для теплоносія у внутрішньому контурі СТ будівлі (вторинного контуру):

$$Q' = G' \cdot c_B \cdot (T'_{\text{вх}} - T'_{\text{вих}}), \quad (2.6)$$

де Q' – тепловий потік у вторинному контурі; G' – витрати теплоносія у вторинному контурі; $T'_{\text{вх}}, T'_{\text{вих}}$ – температури теплоносія в вторинному контурі на вході і виході з теплообмінника;

Приймається умова рівності цих теплових потоків, хоча вони дещо відрізнятимуться на величину теплових втрат від зовнішніх поверхонь теплообмінника до навколишнього повітря. Величина цих втрат не повинна бути суттєвою.

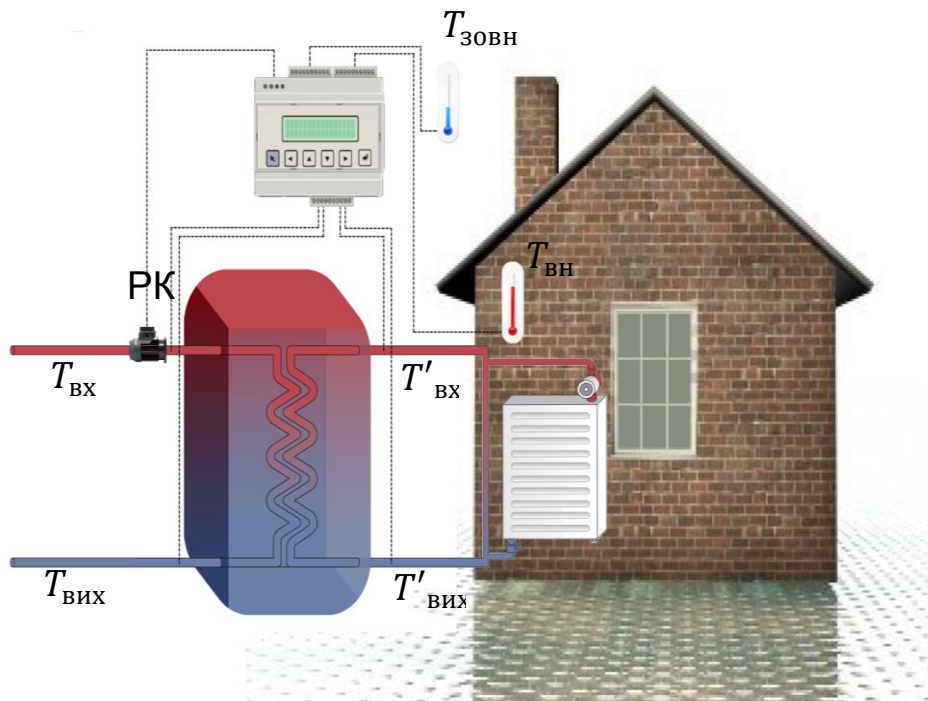


Рис 2.1. Теплова схема функціонування СКТ:
РК – регулюючий електромагнітний клапан.

Беручи до уваги рівняння передачі теплоти від повітря всередині будівлі до зовнішнього повітря через огороження (2.2) і виражаючи величину теплового потоку через тепловий опір огороження (2.3) та прирівнюючи рівняння теплового потоку теплоносія і теплового потоку, що проходить через огороження, і, вводячи в праву частину рівняння величину теплового потоку, одержану від теплоносія на компенсацію тепловтрат від вентиляції і інфільтрації, отримаємо початкове рівняння регулювання роботи СКТ системи тепlopостачання будівлі:

$$G \cdot c_B \cdot (T_{\text{ВХ}} - T_{\text{ВИХ}}) / S_{\Sigma} = T_{\text{ВН}} - T_{\text{ЗОВН}} / R_0 + Q_{\text{ВЕНТ}} / S_{\Sigma}, \quad (2.7)$$

де S_{Σ} – сумарна приведена зовнішня площа огороження; $Q_{\text{ВЕНТ}}$ – тепловий потік на компенсацію тепловтрат, пов'язаних з повітрообміном при вентиляції і інфільтрації приміщень будівлі.

Тепловий потік на компенсацію тепловтрат, пов'язаних з повітрообміном:

$$Q_{\text{вент}} = m \cdot \rho \cdot c_{\text{п}} \cdot V \cdot (T_{\text{вн}} - T_{\text{зовн}}), \quad (2.8)$$

де m – коефіцієнт кратності вентиляції будівлі; ρ – густина повітря; $c_{\text{п}}$ – теплоємність повітря; V – об'єм приміщень будівлі.

Величина кратності повітрообміну в будівлі залежить від багатьох чинників, точний облік яких практично неможливий. Найбільш вірогідний діапазон зміни цього параметру від 0,15 до 0,7 [4].

Якщо вибрати як регульований параметр, що забезпечує заданий тепловий режим в будівлі, величину витрати теплоносія, то основне рівняння СКТ матиме вигляд:

$$G = [(T_{\text{вн}} - T_{\text{зовн}}) \cdot S_{\Sigma} / R_0 + Q_{\text{вент}}] / [c_{\text{в}} \cdot (T_{\text{вх}} - T_{\text{вих}})], \quad (2.9)$$

Виражаючи $Q_{\text{вент}}$ через залежність (2.8) і позначаючи добуток $\rho \cdot c_{\text{п}} \cdot V = n$ як константу, одержимо рівняння наступного вигляду:

$$G = [(T_{\text{вн}} - T_{\text{зовн}}) \cdot S_{\Sigma} / R_0 + n \cdot m] / [c_{\text{в}} \cdot (T_{\text{вх}} - T_{\text{вих}})],$$

яке після перетворень набуває кінцевого вигляду:

$$G = \frac{T_{\text{вн}} - T_{\text{зовн}}}{c_{\text{в}} \cdot (T_{\text{вх}} - T_{\text{вих}})} \cdot (S_{\Sigma} / R_0 + n \cdot m) \quad (2.10)$$

Розглянемо тепер використання прямої і зворотної задачі теплопровідності в розробці і дослідженнях СКТ.

Дана система рівнянь дозволяє також одержати рівняння для здійснення якісного регулювання роботи СКТ за рахунок зміни температури на виході з системи. В основі викладеного підходу рішення задачі, по суті, лежить рішення прямої задачі теплопровідності, коли за заданих граничних умов 3-го роду, що входять в приведений питомий опір будівлі, і заданих

температур середовищ, а також втрат теплоти на компенсацію інфільтрації і вентиляції повітря в будівлі, визначається необхідна витрата і тепловий потік первинного теплоносія. Достовірність і точність визначення основного параметра керування системою регулювання СКТ – витрати теплоносія залежать, в першу чергу, від достовірності і точності визначення приведенного питомого теплового опору огороження. Наступною компонентою по рівню впливу на ці чинники є кратність повітрообміну приміщень.

Слід зазначити, що достовірність і точність розрахункового визначення величини R_0 при модернізації системи теплоспоживанням (СТ) існуючих будівель, особливо давно побудованих, а таких більшість, пов'язані з серйозними ускладненнями, викликаними як станом самих конструкцій огороження, зокрема, застосування, дахів, із зміною теплофізичних властивостей матеріалів огороження, їх вологовмістом, нерівномірністю розподілу тепловтрат по поверхнях огороження і ін. Аналогічна ситуація складається і з розрахунком кратності повітрообміну, що враховує інфільтрацію і вентиляцію повітря в будівлі. Тому похибка розрахунку величин R_0 і m , залежних від названих вище чинників, багато з яких практично визначити вельми важко, може виявитися достатньо великою. Проте як перший етап під час розрахунків і розробці СКТ СТ будівлі такий підхід цілком прийнятний. Після здійснення модернізації СТ і створення СКТ, як правило, проводиться етап випробувань і наладки СКТ і СТ в цілому, супроводжуваний установкою систем вимірювання і проведенням експериментів щодо визначення основних теплових і гідравлічних характеристик і параметрів системи. Це створює можливість не тільки довести до розрахункових значень основні параметри теплопостачання і СКТ, але і одержати початкові дані для уточнення розрахункової моделі СКТ, зокрема, таких параметрів як R_0 , коефіцієнтів тепловіддачі до і від огороження, а також температур середовищ і теплоносіїв. Цей етап уточнення параметрів моделі, по суті, є рішенням зворотної задачі теплопровідності, коли за одержаними в експерименті вихідними даними про

сумарний тепловий потік, що підводиться в будівлю, температурам повітря всередині і зовні будівлі, а також температурам внутрішніх і зовнішніх поверхонь огороження визначається середньоінтегральний тепловий опір огороження. Середньоінтегральні величини коефіцієнтів тепловіддачі повітря всередині і зовні огороження еквівалентні аналогічним величинам натурального об'єкту. Таким чином, використовуючи рівняння (2.7) і (2.8), одержуємо:

$$\frac{G \cdot c_B \cdot (T_{\text{ВХ}} - T_{\text{ВИХ}})}{S_{\Sigma}} = \frac{T_{\text{ВН}} - T_{\text{ЗОВН}}}{R_0} + \frac{n \cdot m \cdot (T_{\text{ВН}} - T_{\text{ЗОВН}})}{S_{\Sigma}}, \quad (2.11)$$

з якого визначається R_0 :

$$R_0 = \frac{S_{\Sigma}}{G \cdot c_B \cdot \frac{(T_{\text{ВХ}} - T_{\text{ВИХ}})}{(T_{\text{ВН}} - T_{\text{ЗОВН}})} - n \cdot m} \quad (2.12)$$

Коефіцієнт тепловіддачі від повітря в будівлі до внутрішньої поверхні огороження може бути визначений з рівняння:

$$\alpha_{\text{ВН}} = \frac{G \cdot c_B \cdot (T_{\text{ВХ}} - T_{\text{ВИХ}})}{S_{\Sigma} \cdot (T_{\text{ВН}} - T_{\text{ЗОВН}})} \quad (2.13)$$

Аналогічним чином може бути визначений коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні огороження. На початковому етапі розробки системи регулювання роботою СКТ необхідне розрахункове визначення приведенного теплового опору огороження будівлі. Достовірність і точність його розрахунку визначається і коректується далі в процесі наладки і випробувань СКТ і всієї системи теплопостачання будівлі.

Як зазначено вище, достовірність і похибки розрахункового визначення основних параметрів, що входять в рівняння керування роботою системи регулювання СКТ, залежать, в першу чергу, від достовірності і точності

визначення приведенного питомого теплового опору огороження, а також кратності повітрообміну приміщень будівлі. Досягти необхідної достовірності і точності розрахункового їх визначення достатньо важко. Особливо, коли це торкається модернізації побудованих СТ і давно побудованих будівель. Проте на першому етапі при розробці СКТ СТ будівлі використання розрахункових величин R_0 можна визнати за прийнятне і, практично, безальтернативне. Ще складніша ситуація з визначенням кратності вентиляції будівлі m , оскільки вона визначає величину важливої складової рівняння теплового балансу, а саме, кількість теплоти, що витрачається на підігрів холодного повітря, що вентилюється в будівлі. Розрахувати величину m з урахуванням змін і стану будівлі, що відбулися, вельми складно, тому доводиться орієнтуватися на закладені в проект значення, або вибирати її по рекомендаціях ДБН В.2.6-31:2006.

При наладці і дослідному доведенні СКТ і СТ будівлі визначають основні теплові і гідравлічні характеристики і параметри СТ і СКТ. Використовуючи підходи, які вживаються при вирішенні зворотних задач теплопровідності, можна уточнити експериментальні значення величини питомого теплового опору – рівняння (2.12) і величини коефіцієнтів тепловіддачі від і до повітря від поверхонь огороження – рівняння (2.13). Для цього необхідно відповідна підготовка експерименту. Це, перш за все, вимірювання кількості підведеної теплоти, температур повітря всередині і зовні будівлі, температур поверхонь стін і вікон всередині і зовні будівлі. В рамках даного підходу до вирішення задачі уточнення основних параметрів рівняння теплового балансу також слід проводити уточнення величини кратності повітрообміну. Для цього необхідно провести варіантні розрахунки області можливих змін витрати води за рівнянням (2.10) при різних вибраних значеннях кратності повітрообміну в будівлі. За дослідними величинами температур гарячої води з котельної на вході і виході з СТ будівлі і її витрати, температур повітря всередині і зовні будівлі, отриманих за результатами проведених експериментів, при розрахунковому значенні

середньоінтегрального питомого теплового опору огороження будівлі і зміні кратності повітрообміну (в межах від 0,15 до 0,5), можна побудувати криві, що визначають діапазон можливих змін витрати теплоносія.

Розраховані криві побудовані при різних ступенях кратності повітрообміну між 0,5 та 0,25 і визначають діапазон можливих значень кратності повітрообміну в будівлі.

Більш чітке та точне вирішення питань верифікації та апробації розглянутої математичної моделі СКТ будівлі можуть бути отримані тільки при проведенні спеціального експериментального дослідження теплового стану будівлі та робочих характеристик СКТ. Таке дослідження було проведено та його результати будуть розглянуті далі.

2.1.2 Особливості математичної моделі системи керування теплоспоживанням будівель при використанні комбінованих джерел енергії

З урахуванням вже наявних розробок з СКТ [21], була створена теплова схема функціонування СКТ з сонячними колекторами і акумулятором тепла, яка наведена на рисунку 2.2.

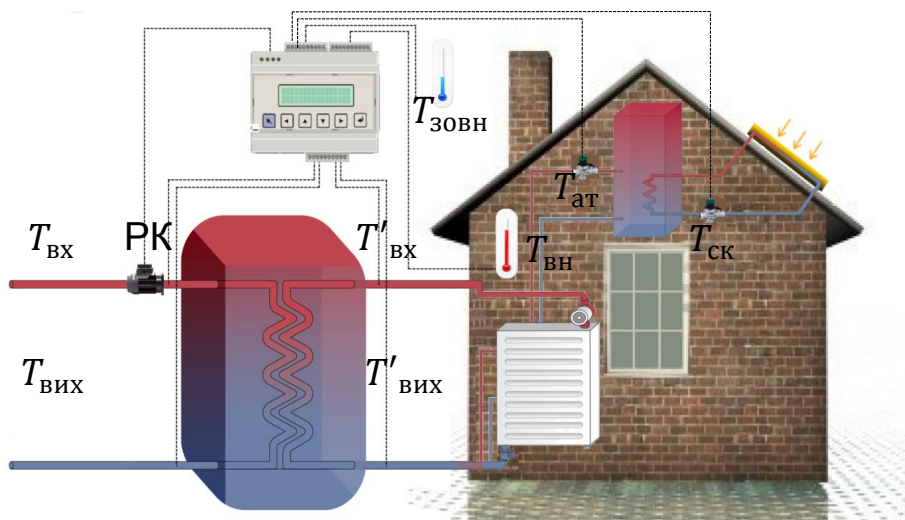


Рис. 2.2. Теплова схема функціонування СКТ з сонячними колекторами і акумулятором тепла, де $T_{ат}$, $T_{ск}$ - температура теплоносія в акумуляторі тепла та сонячному колекторі

Система комбінованого теплоспоживання будівлі відрізняється від інших тим, що в ній реалізовано регулювання теплоспоживанням за мінімаксним критерієм в підтриманні заданої температури та витрати теплоти, залучено та удосконалено спосіб використання сонячної енергії в опалені будівель шляхом підмішування теплоносія з колектора у зворотний теплоносій [55, 57].

Основними рівняннями, які визначають вигляд моделі, є рівняння теплових балансів теплоносія в первинному контурі (тепловий потік теплоносія з котельні) рівняння (2.5) та у вторинному (тепловий потік теплоносія у внутрішньому контурі системи теплоспоживання будівлі):

$$Q' = G' \cdot c_v \cdot (T'_{\text{вх}} - T'_{\text{вих}}) - q_{\text{СК}} \cdot S_{\text{СК}}, \quad (2.14)$$

де $q_{\text{СК}}$ – середній добовий сонячний тепловий потік за опалювальний сезон;
 $S_{\text{СК}}$ – площа сонячних колекторів.

Ці теплові потоки відрізняються на величину теплових втрат з зовнішніх поверхонь теплообмінника в навколишнє середовище. Але величина цих втрат незначна. Тому приймається умова рівності цих теплових потоків.

Враховуючи рівняння передачі теплоти від повітря всередині будинку назовні через огорожу, питомі теплові потоки можна записати як (2.2).

Якщо виразити величину теплового потоку через тепловий опір огороження, маємо вираз (2.3).

Зрівнявши формули теплових потоків нагріваючого теплоносія і того що проходить через огорожу і врахувавши величину теплового потоку, отриману від нагріваючого теплоносія на компенсацію тепловтрат при вентиляції і інфільтрації повітря, можемо записати наступне первинне рівняння якісного регулювання роботи СКТ з сонячними колекторами і акумулятором тепла системи тепlopостачання будівлі:

$$G \cdot c_B \cdot (T_{\text{ВХ}} - T_{\text{ВИХ}}) / S_{\Sigma} = T_{\text{ВН}} - T_{\text{ЗОВН}} / R_0 + Q_{\text{ВЕНТ}} / S_{\Sigma} - q_{\text{СК}} \cdot S_{\text{СК}} / S_{\Sigma}, \quad (2.15)$$

У свою чергу, тепловий потік на компенсацію тепловтрат при повітрообміні виражається через (2.8).

Після перетворень рівняння кількісно-якісного керування системою приймає такий вигляд:

$$G = [(T_{\text{ВН}} - T_{\text{ЗОВН}}) \cdot S_{\Sigma} / R_0 + n \cdot m - q_{\text{СК}} \cdot S_{\text{СК}}] / [c_B \cdot (T_{\text{ВХ}} - T_{\text{ВИХ}})] \quad (2.16)$$

2.2 Динамічна математична модель системи керування теплоспоживанням будівель

2.2.1 Розроблення імітаційної системи керування теплоспоживанням будівель

При побудові математичної моделі використано електричну аналогію на основі двополісників [58-67]. Еквівалентна схема системи теплоспоживання зображена на рисунку 2.3.

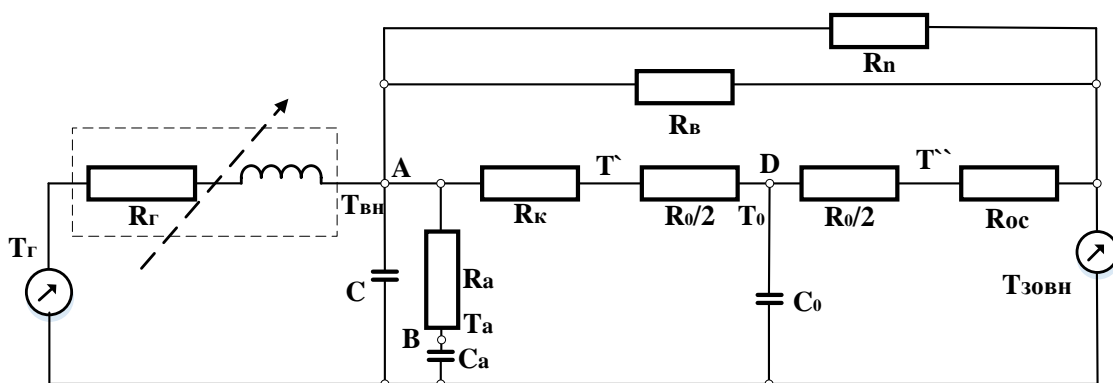


Рисунок 2.3. Еквівалентна схема системи теплоспоживання

У відповідності з методами аналогій електричні напруги та токи відповідають температурам та тепловим потокам, а опори та конденсатори – термічним опорам та теплоємності. Джерела напруги відповідають джерелам теплоти заданої температури.

На основі електричного аналога та першого узагальненого закону Кірхгофа для вузлів А, В, Д можна записати наступні системи диференціальних рівнянь балансу теплових потоків:

$$C \frac{dT_{\text{ВН}}}{d\tau} = \frac{T_{\Gamma} - T_{\text{ВН}}}{R_{\Gamma}} - \frac{T_{\text{ВН}} - T_0}{R_{\text{К}} + \frac{R_0}{2}} - \frac{T_{\text{ВН}} - T_a}{R_a} - \frac{T_{\text{ВН}} - T_{\text{ЗОВН}}}{R_{\text{В}}} - \frac{T_{\text{ВН}} - T_{\text{ЗОВН}}}{R_{\text{П}}}, \quad (2.17)$$

$$C_a \frac{dT_a}{d\tau} = \frac{T_{\text{ВН}} - T_a}{R_a}, \quad (2.18)$$

$$C_0 \frac{dT_0}{d\tau} = \frac{T_{\text{ВН}} - T_0}{R_{\text{К}} + \frac{R_0}{2}} - \frac{T_0 - T_{\text{ЗОВН}}}{R_{\text{ОС}} + \frac{R_0}{2}}, \quad (2.19)$$

де C, C_a, C_0 – теплоємність внутрішнього повітря, внутрішніх акумуляторів, огороження, відповідно, T_{Γ} – температура на вході опалювального приладу, T_0 – середня температура огорожувальної конструкції, T_a – температура внутрішніх акумуляторів, R_{Γ} – тепловий опір опалювального приладу, $R_{\text{К}}, R_{\text{ОС}}$ – конвективні опори теплообміну, R_a – тепловий опір конвективного теплообміну між внутрішнім повітрям та внутрішніми акумуляторами, $R_{\text{В}}$ – еквівалентний тепловий опір системи вентиляції, $R_{\text{П}}$ – тепловий опір віконних та дверних отворів, τ – час.

Після певних заміन та перетворень, які розглянуті в [58], отримано формули (2.20), (2.21)

$$\frac{dT_{\text{ВН}}}{d\tau} = \frac{g_{\text{К}}^*}{g^*} \cdot g_{\Gamma} \cdot T_{\Gamma} - \left(g_{\text{К}}^* + g_{\text{ОС}}^* - \frac{1}{g^*} \right) \cdot T_0 + \left(\frac{g_{\text{К}}^*}{g^*} \cdot g_{\text{ВП}} + g_{\text{ОС}}^* \right) \cdot T_{\text{ЗОВН}} \quad (2.20)$$

$$T_{\text{ВН}} = (g_{\Gamma} \cdot T_{\Gamma} + g_{\text{К}}^* \cdot T_0 + g_{\text{ВП}} \cdot T_{\text{ЗОВН}}) / g^*, \quad (2.21)$$

де $g_{\text{К}}^* = (r_{\text{К}} + 0,5)^{-1}$, $g^* = g_{\text{К}}^* + g_{\Gamma} + g_{\text{ВП}}$, $g_{\text{ОС}}^* = (r_{\text{ОС}} + 0,5)^{-1}$, $g_{\Gamma} = r_{\Gamma}^{-1}$, $g_{\text{ВП}} = r_{\text{ВП}}^{-1}$, $r_{\text{К}} = R_{\text{К}}/R_0$, $r_{\text{ОС}} = R_{\text{ОС}}/R_0$, $r_{\Gamma} = R_{\Gamma}/R_0$, $r_{\text{ВП}} = R_{\text{ВП}}/R_0$, $R_0 = H_0/\lambda_0 \cdot F_0$, H_0 – товщина поверхні огорожувальної конструкції, λ_0 –

коефіцієнт теплопровідності, F_0 – площа поверхні огородження, $R_k = 1/\alpha_{\text{ст}_{\text{вн}}} \cdot F_{\text{ос}}$, $\alpha_{\text{ст}_{\text{вн}}}$ – коефіцієнт конвективного теплообміну на внутрішній поверхні стіни, $R_{\text{ос}} = 1/\alpha_{\text{ст}_{\text{зовн}}} \cdot F_{\text{ос}}$, $\alpha_{\text{ст}_{\text{зовн}}}$ – коефіцієнт конвективного теплообміну на зовнішній поверхні стіни, $F_{\text{ос}}$ – площа поверхні стіни, $R_r(g) = 1/\alpha_r \cdot F_r \cdot \varphi(g)$, $\varphi(g) = g \cdot (1 - e^{-1/g})$, $g = G \cdot c_r / \alpha_r \cdot F_r$, c_r – теплоємність теплоносія, α_r – коефіцієнт конвективного теплообміну опалювального приладу, F_r – площа поверхні опалювального приладу, $R_{\text{п}} = 1/\alpha_{\text{п}} \cdot F_{\text{п}}$, $\alpha_{\text{п}}$ – коефіцієнт конвективного теплообміну вікон, $F_{\text{п}}$ – площа поверхні вікон, $R_{\text{в}} = 1/G_{\text{в}} \cdot c_{\text{п}}$, $c_{\text{п}}$ – середня ізобарна теплоємність повітря в температурному діапазоні $[T_{\text{зовн}}, T_{\text{вн}}]$, $G_{\text{в}}$ – витрата повітря, $G_{\text{в}} = V \cdot \rho \cdot m / 3600$, V – об'єм будівлі, ρ – середня густина повітря в температурному діапазоні $[T_{\text{зовн}}, T_{\text{вн}}]$, $m = 353 / [73 + 0,5(T_{\text{вн}} - T_{\text{зовн}})]$.

Зробивши певні перетворення та заміни рівняння (2.20) можна записати як:

$$T_0'(\tau) + b \cdot T_0(\tau) = a \cdot T_r + f \cdot T_{\text{зовн}}, \quad (2.22)$$

$$\text{де } a = \frac{g_k^*}{g^*} \cdot g_r, \quad b = g_k^* + g_{\text{ос}}^* - \frac{g_k^*}{g^*} \cdot g_k, \quad f = \frac{g_k^*}{g^*} \cdot g_{\text{вп}} + g_{\text{ос}}^*.$$

Дане лінійне рівняння ми можемо вирішити за допомогою метода Бернуллі.

Вводимо заміну

$$T_0(\tau) = u \cdot v, \quad (2.23)$$

де u і v – деякі функції, які залежать від τ .

$$\text{По правилу диференціальної похідної} \quad T_0'(\tau) = u' \cdot v + u \cdot v'.$$

Підставивши це у рівняння (2.22) отримано

$$\begin{aligned} u' \cdot v + u \cdot v' + b \cdot u \cdot v &= a \cdot T_r + f \cdot T_{\text{зовн}} \\ u' \cdot v + u \cdot (v' + b \cdot v) &= a \cdot T_r + f \cdot T_{\text{зовн}} \end{aligned}$$

Прирівнявши $v' + bv$ до нуля отримано систему

$$\begin{cases} v' + b \cdot v = 0 \\ u' \cdot v = a \cdot T_{\Gamma} + f \cdot T_{\text{ЗОВН}} \end{cases}, \quad (2.24, 2.25)$$

Спочатку розглядається рівняння (2.24):

$$\begin{aligned} v' &= -b \cdot v \\ \frac{dv}{d\tau} &= -b \cdot v \\ \frac{dv}{v} &= -b \cdot d\tau \\ \int \frac{dv}{v} &= -b \int d\tau \\ \ln|v| &= -b\tau \\ v &= e^{-b \cdot \tau} \end{aligned} \quad (2.26)$$

Підставивши (2.26) у рівняння (2.25) отримано

$$\begin{aligned} u' \cdot e^{-b \cdot \tau} &= a \cdot T_{\Gamma} + f \cdot T_{\text{ЗОВН}} \\ \frac{du}{d\tau} &= \frac{a \cdot T_{\Gamma}}{e^{-b \cdot \tau}} + \frac{f \cdot T_{\text{ЗОВН}}}{e^{-b \cdot \tau}} \\ du &= \frac{a \cdot T_{\Gamma} + f \cdot T_{\text{ЗОВН}}}{e^{-b \cdot \tau}} d\tau \\ u &= \int \frac{a \cdot T_{\Gamma} + f \cdot T_{\text{ЗОВН}}}{e^{-b \cdot \tau}} d\tau \\ u &= \frac{(a \cdot T_{\Gamma} + f \cdot T_{\text{ЗОВН}})e^{-b \cdot \tau}}{b} + J \end{aligned} \quad (2.27)$$

Підставивши рівняння (2.26) та (2.27) у рівняння (2.20) та зробивши зворотну заміну отримано

$$T_0(\tau) = \frac{1}{b} \cdot (a \cdot T_{\Gamma} + f \cdot T_{\text{зовн}}) + J \cdot e^{-b \cdot \tau}$$

Для того щоб знайти константу J приймаємо $T_0(\tau = 0) = 0$. З чого випливає рівняння

$$J = \frac{1}{b} (a \cdot T_{\Gamma} + f \cdot T_{\text{зовн}})$$

$$T_0(\tau) = \frac{1}{b} \cdot (a \cdot T_{\Gamma} + f \cdot T_{\text{зовн}}) + \left(\frac{1}{b} \cdot (a \cdot T_{\Gamma} + f \cdot T_{\text{зовн}}) \right) e^{-b \cdot \tau}$$

2.2.2 Оцінювання стійкості та якості моделі системи

При побудові математичної моделі використано електричний аналог на основі двополусників з передаточною функцією наступного вигляду:

$$Zz_w := \frac{\left(\frac{1}{j \cdot \frac{w}{n} \cdot Ca} + Ra \right) \cdot \frac{\frac{1}{j \cdot \frac{w}{n} \cdot Ca} + Ra}{(1 + Rr + jw) \cdot \left[1 + j \cdot \frac{w}{n} \cdot \left(\frac{1}{j \cdot \frac{w}{n} \cdot Ca} + Ra \right) \cdot C \right]} \cdot \frac{\frac{Ro}{2} + Roc}{j \cdot \frac{w}{n} \cdot Co + Rk \cdot \left(j \cdot \frac{w}{n} \cdot Co \right) + \frac{Ro \cdot \left(j \cdot \frac{w}{n} \cdot Co \right)}{2} + 1} \cdot Rb \cdot Rn}{Rb + Rn + \left(\frac{1}{j \cdot \frac{w}{n} \cdot Ca} + Ra \right) \cdot \frac{\frac{1}{j \cdot \frac{w}{n} \cdot Ca} + Ra}{(1 + Rr) \cdot \left[1 + j \cdot \frac{w}{n} \cdot \left(\frac{1}{j \cdot \frac{w}{n} \cdot Ca} + Ra \right) \cdot C \right]} \cdot \frac{\frac{Ro}{2} + Roc}{j \cdot \frac{w}{n} \cdot Co + Rk \cdot \left(j \cdot \frac{w}{n} \cdot Co \right) + \frac{Ro \cdot \left(j \cdot \frac{w}{n} \cdot Co \right)}{2} + 1} \cdot (Rb + Rn)}$$

Для того щоб встановити відповідність проходження процесів у цій електричній схемі до теплообміну записано рівняння балансу теплових потоків у відповідності до електричного аналога на основі закону Кірхгофа, звідки отримано орієнтовні параметри інформативних елементів схеми. Задача метрологічної оцінки якості полягає у дослідженні основних характеристик системи відповідно до [68] у статичному і динамічному режимі.

Основною характеристикою для динамічної моделі є передаточна функція, з якої можна дослідити часткові характеристики (перехідний

процес, АЧХ та їх характеристики). Насамперед, нас цікавить стійкість системи до змін параметрів самої системи та навколишнього середовища.

Стійкість можна визначити кількома шляхами: за положенням полюсів передаточної функції на комплексній площині або побудувавши імпульсну (перехідну) характеристику та визначивши її параметри. Виходячи з того, що нам відома передаточна функція, то можна використати обидва методи. Тож дослідимо основні частотні характеристики з повної передаточної функції. Основними інформативними параметрами для аналізу використанні a та b . За результатами моделювання маємо наступне.

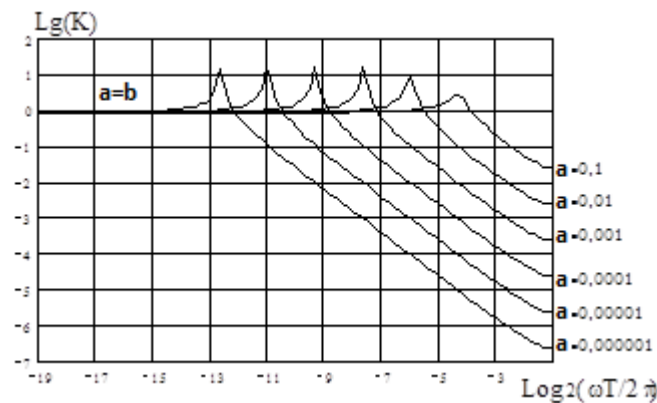


Рис. 2.4. Графік модуля передаточної функції

На рис.2.4 наведено графік залежності відносної частоти зрізу від параметрів a , b . В залежності від точності керування вибирається коефіцієнт a .

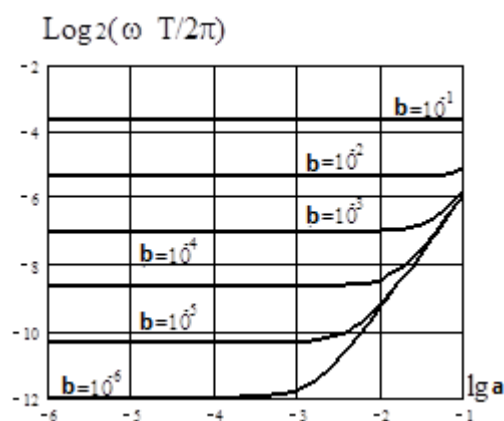


Рис. 2.5. Графік залежності відносної частоти зрізу від параметрів a , b

Для адекватного реагування СКТ при різних зовнішніх умовах (вхідних даних) підбираються параметри системи, при яких система адекватна та вчасно реагує на їх зміни.

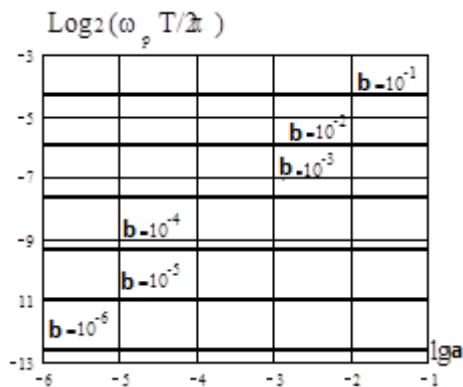


Рис. 2.6. Графік залежності відносної частоти резонансу від a , b

На рис. 2.6 відображенні частоти для заданих параметрів a , b , які підсилюють систему, при яких система може бути не стійкою.

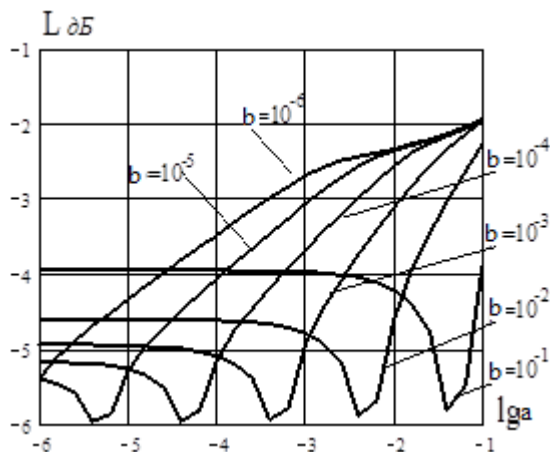


Рис. 2.7. Логарифмічний рівень в смузі непропускання (коефіцієнт прямокутності)

На рис. 2.7 зображено графік залежності логарифмічного рівня в смузі непропускання від параметрів a , b , тобто наскільки швидко відбувається перехідний процес в залежності від частоти певних параметрів a та b .

Властивості комплексної передаточної функції $z(a, b)$ визначаються положенням нуля ($z_0(a, b)$) та полюсів ($z_{\Pi}(a, b)$), ($z_{\Pi}^*(a, b)$). Знайдемо відповідність між положеннями цих точок в z -площині (рис. 2.8) і параметрами (a, b).

Положення нуля. Оскільки z_0 може бути тільки дійсним числом, то для будь-яких a, b нулі лежать на дійсній осі x :

якщо $a < b$, то $-\infty < x_0 < 0$;

якщо $a = b$, то $x_0 = 0$;

якщо $a > b$, то $0 < x_0$.

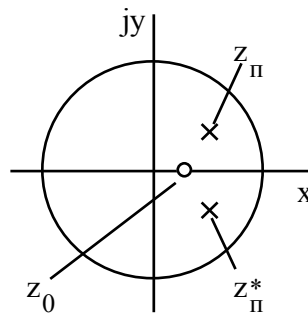


Рис. 2.8. Положення нуля і полюсів на z -площині

Положення полюсів. На площині a, b виділимо області, які відповідають дійсним і комплексним z -координатам полюсів. Для цього визначимо положення границі між ними. Отриманий результат показано на діаграмі значень a, b (рис. 2.9). Область дійсних полюсів позначена R , а область комплексних – K . Границя розділу – суцільна лінія.

Проаналізуємо стійкість за критерієм Рауса-Гурвіца. Цей критерій накладає наступні обмеження на коефіцієнти характеристичного полінома

$$b_0 z^2 + b_1 z + b_2 = 0: b_0 + b_1 + b_2 > 0, b_0 - b_1 + b_2 > 0, b_0 - b_2 > 0$$

Область, обмежена даними нерівностями, також показана на діаграмі значень a, b (рис. 2.9). Границя розділу – пунктирна лінія. Область нестійкості – N .

Як видно з рис. 2.9, в області $0 < a < 1$, $0 \leq b < 1$ є стійкою системою.

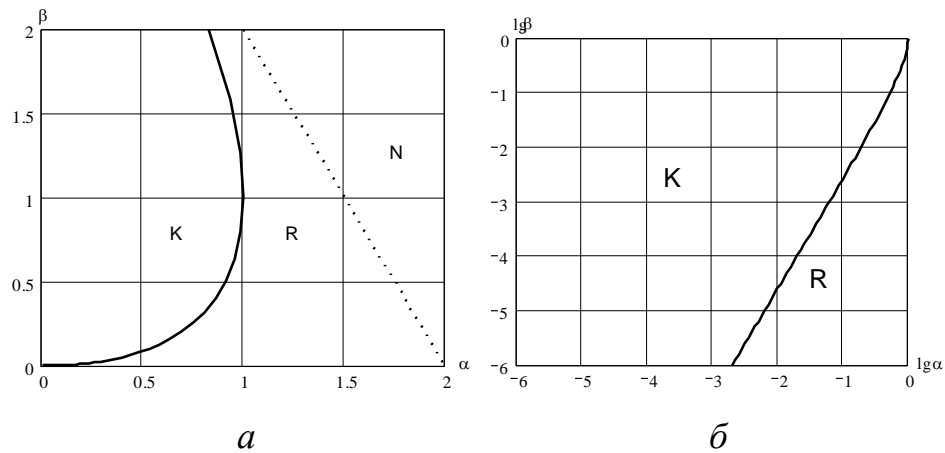


Рис. 2.9. Діаграма значень параметрів a, b : a - області К (коливальна), R (аперіодична), N (нестійка); \bar{b} - області К і R для $0 \leq a, b \leq 1$

Швидкодію системи описує імпульсна перехідна характеристика $g(\tau)$ – реакція на вплив у вигляді короткого імпульсу одиничної площини. Дослідимо імпульсну перехідну характеристику в залежності від їх параметрів (a, b) .

Одиничну дію на вході системи визначимо як одиничний імпульс або ж робимо обернене перетворення Фур'є передаточної функції (рис 2.10, 2.11).

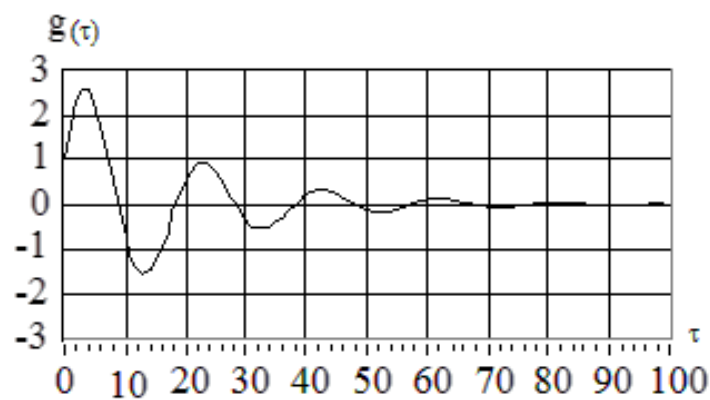


Рис. 2.10. Імпульсна характеристика – коливальний процес

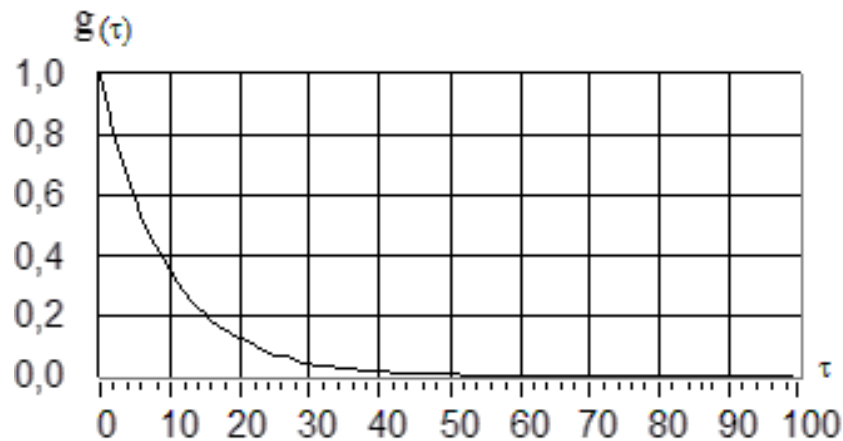


Рис. 2.11. Імпульсна характеристика - аперіодичний процес

В результаті моделювання встановлено, що динамічна модель системи при заданих нормованих параметрах є стійкою та дає похибку в межах 6 дБ та підібрано параметри, при яких система вчасно реагує на зміни метеоумов та вхідних даних.

2.3 Експериментальне дослідження теплового стану офісної будівлі, верифікація та апробація математичної та імітаційної моделей системи керування теплоспоживанням будівель

Об'єктом дослідження являється офісна будівля Інституту технічної теплофізики НАН України по вулиці Желябова 2а, м. Київ [56, 69]. Огородження чотирьохповерхової будівлі складається з червоної цегляної кладки та керамічної плитки, якою облицьовано фасадну та торцеву частину огороження. Товщина огороження складає 0,52 м, зовнішня поверхня його – 3435,5 м², площа застелення – 821,5 м² (склопакет – 474 м², віконна рама - 157 м²), дах плоский з горищним перекриттям, об'єм внутрішніх приміщень – 26859 м³.

2.3.1 Задачі, методика та результати експериментального дослідження системи

Основною ціллю експериментального дослідження являється отримання даних про величину теплоспоживання та температурний стан

будівлі в денний період (з 6.00 до 18 00) та в нічний період (з 18.00 до 6.00) при зниженні підведеної теплової енергії та температури повітря всередині будівлі при різних температурах навколишнього середовища, визначення даних для верифікації запропонованої математичної моделі керування теплоспоживанням будівлі та, насамперед, уточнення середньоінтегрального коефіцієнта теплового опору огорожувальної конструкції, а також величин інфільтраційних втрат будівлі, а саме, величини коефіцієнта кратності вентиляції. Важливими задачами дослідження є уточнення граничних умов теплообміну на внутрішніх і зовнішніх поверхнях огороження, отримання часових характеристик зміни основних параметрів теплового стану будівлі – температур огороження та середовищ в середині та зовні будівлі, потужності теплоспоживання при стаціонарних та нестаціонарних режимах для їх використання при створенні моделі системи керування теплоспоживанням на таких режимах роботи, а також узагальнення результатів дослідження теплового стану огороження в безрозмірній формі, яка описує стан характеристик відносно температур огороження та перепадів температур стін та між середовищами для його можливого використання в математичних моделях керування температурним станом будівлі, а також в проектних розрахунках.

Методика експериментального дослідження побудована на використанні теплофізичного вимірювального комп'ютеризованого комплексу «Ресурс-С», розробленого в ІТТФ НАН України. Його методичні характеристики та особливості розглянуті в [56, 69]. Варто відмітити, що комплекс дозволяє в автоматизованому режимі вимірювати та записувати результати вимірювань температур тіл, середовищ, що їх оточує, а також величини теплових потоків на поверхнях тіл протягом досить тривалого проміжку часу. При цьому похибка вимірювання температур складає $\pm 1^{\circ}\text{C}$ та теплових потоків – $\pm 4\%$. Типова схема розміщення датчиків температур і теплових потоків на поверхнях огороження представлені на рис. 2.12.

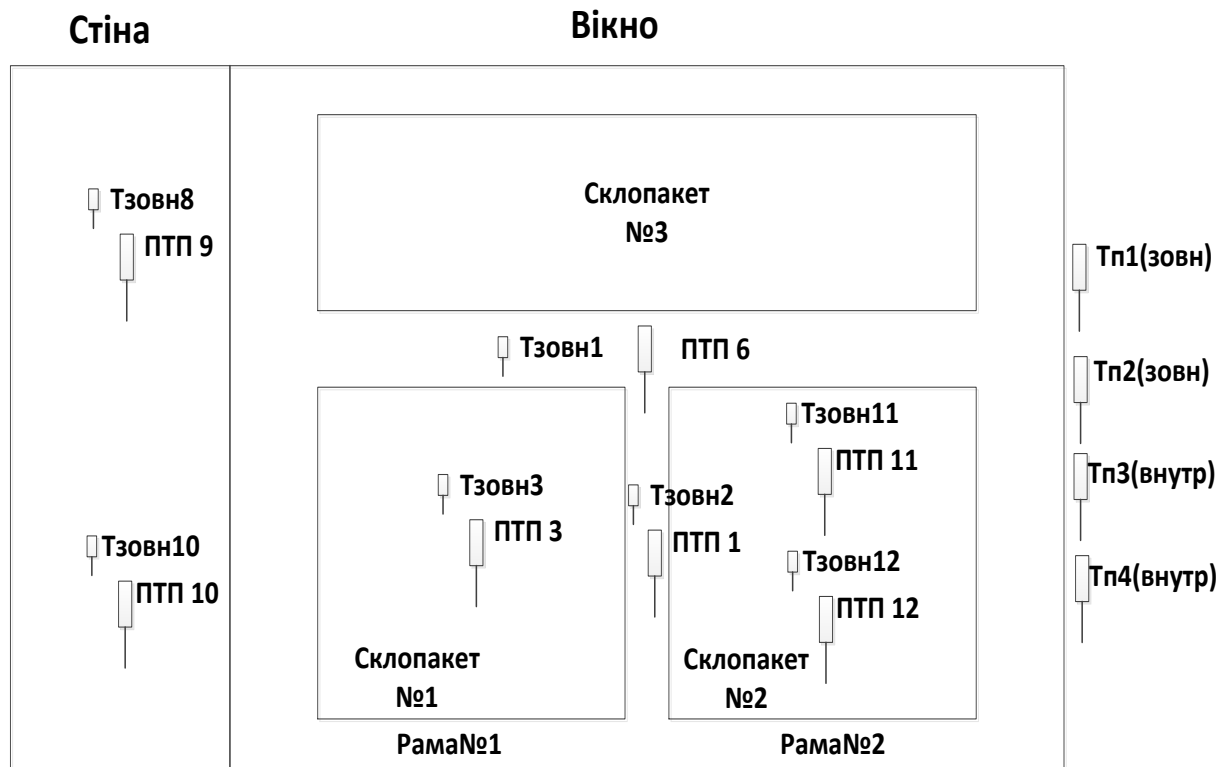


Рис. 2.12. Схема розміщення датчиків температур і теплових потоків на поверхнях огороження

В якості експериментальних об'єктів було обрано декілька кабінетів на другому та третьому поверхах, які розташовані на північній та південній частинах будівлі, та актовий зал на четвертому поверсі південної частини будівлі. Загалом було проведено більше десятка експериментів. Тривалість кожного з експериментів більше доби. Період проведення дослідів лютий – квітень 2013 року. Діапазон зміни температур повітря зовнішнього середовища від -7 до $+4$ °С, внутрішнього середовища від $+12$ до $+20$ °С; температури внутрішньої поверхні стіни від $+14$ до $+18$ °С, зовнішньої поверхні стіни від -3 до $+3,5$ °С, температури внутрішньої поверхні скління від $+10$ до $+15$ °С, зовнішньої поверхні скління від 0 до $+7$ °С, температури внутрішньої поверхні віконної рами від $+13$ °С до $+17$ °С, зовнішньої поверхні віконної рами від -3 до $+6$ °С; теплового потоку стіни від 12 до 17 Вт/м², скління від 34 до 56 Вт/м², віконної рами від 19 до 30 Вт/м². На рис. 2.13-2.23 наведено деякі дані одного з експериментів.

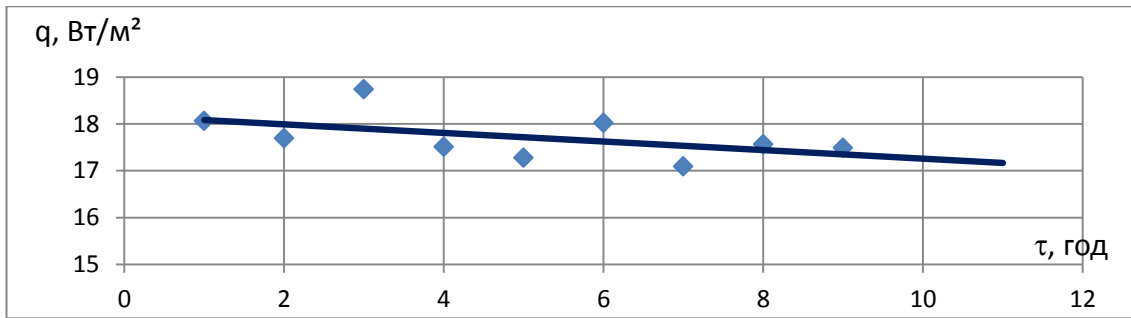


Рис. 2.13. Графік теплового потоку через стіну відносно часу

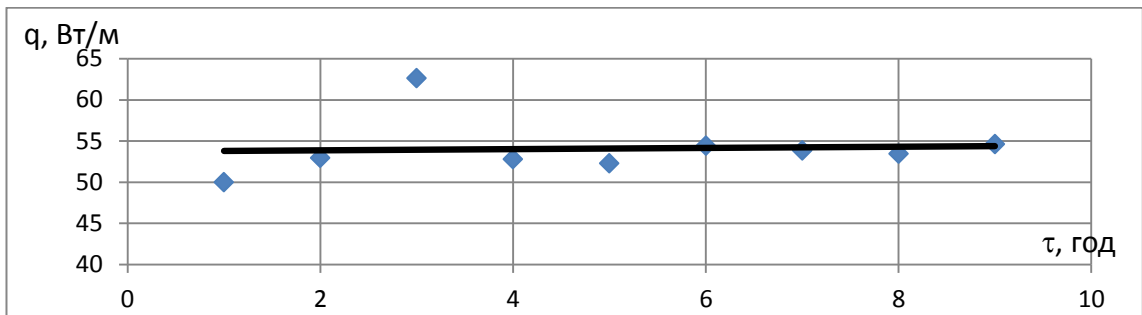


Рис. 2.14. Графік теплового потоку через скління відносно часу

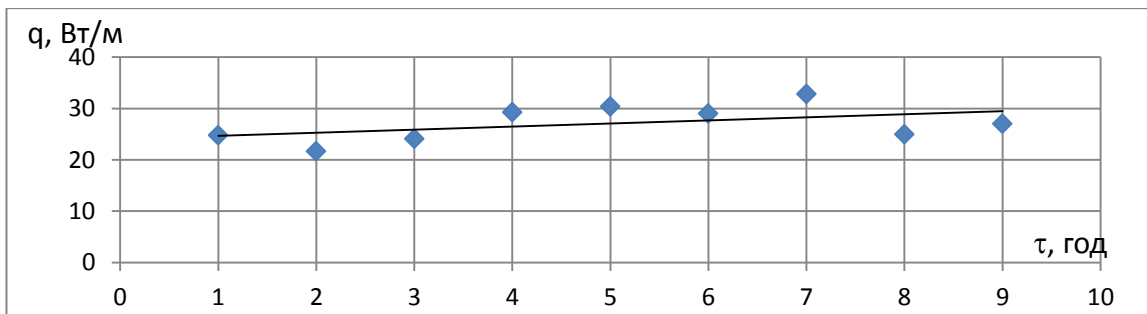


Рис. 2.15. Графік теплового потоку через віконну раму відносно часу

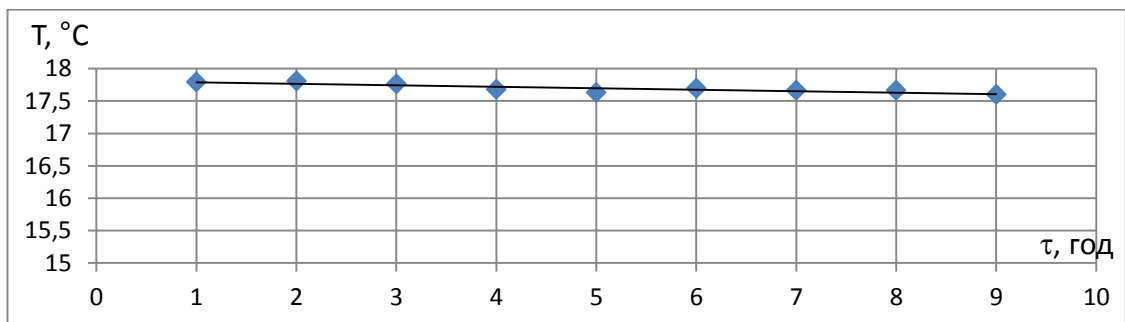


Рис. 2.16. Графік температури повітря внутрішнього середовища відносно часу

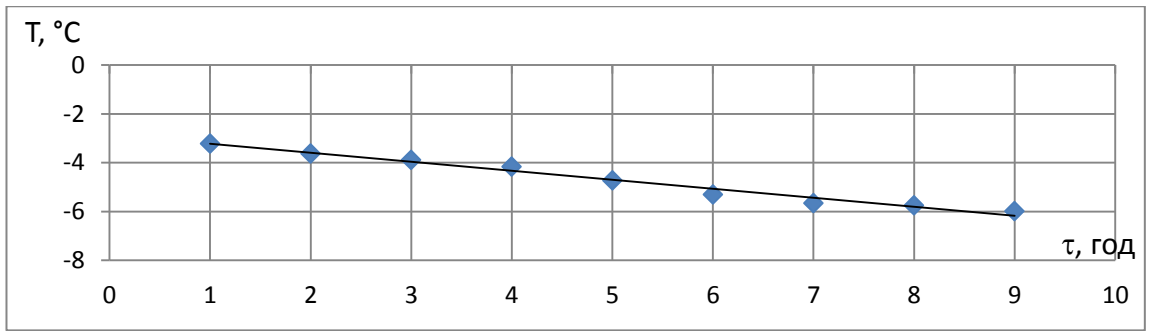


Рис. 2.17. Графік температури повітря зовнішнього середовища відносно часу

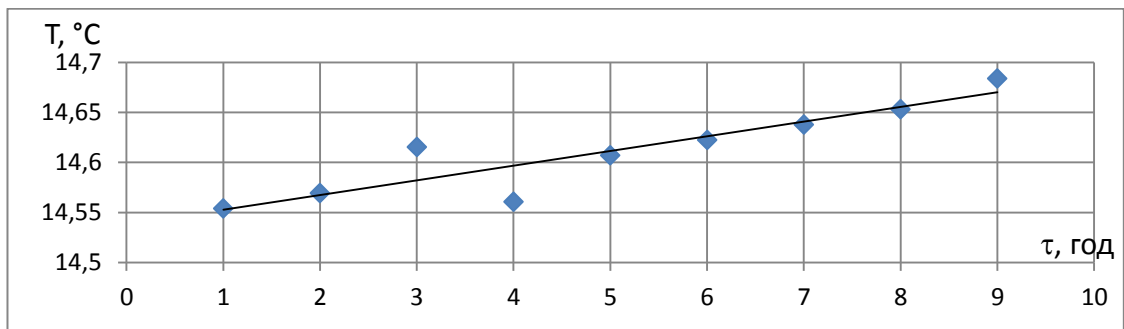


Рис. 2.18. Графік температури внутрішньої поверхні стіни відносно часу

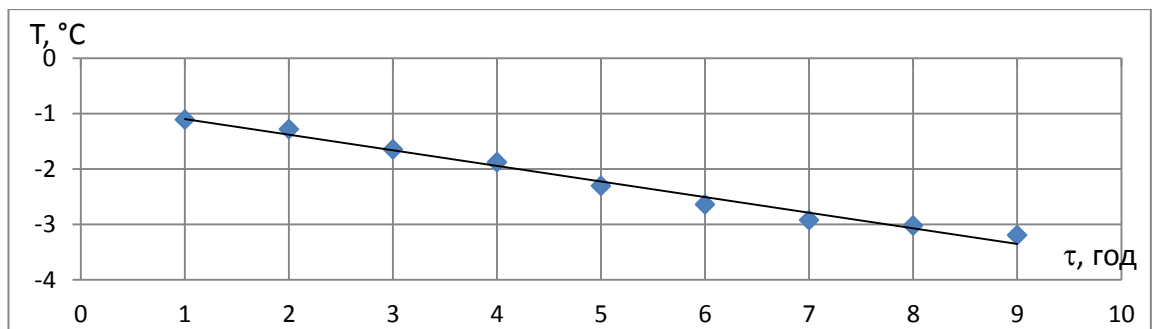


Рис. 2.19. Графік температури зовнішньої поверхні стіни відносно часу

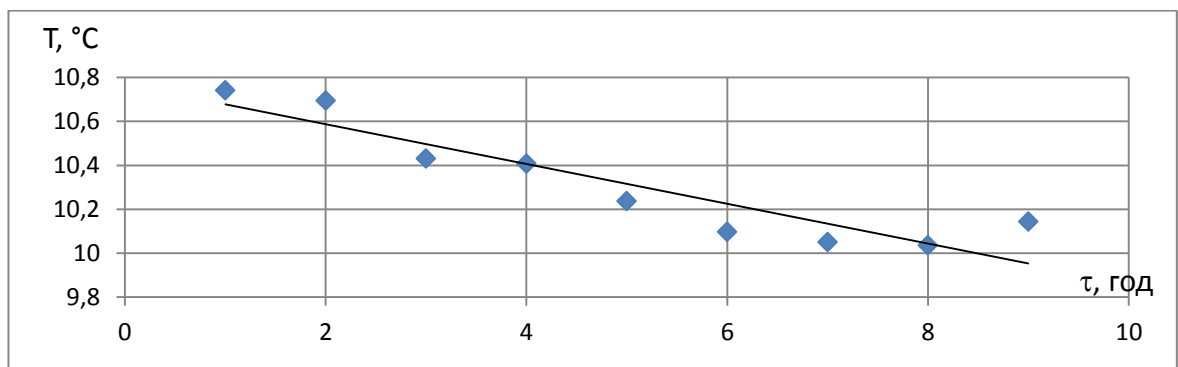


Рис. 2.20. Графік температури внутрішньої поверхні скління відносно часу

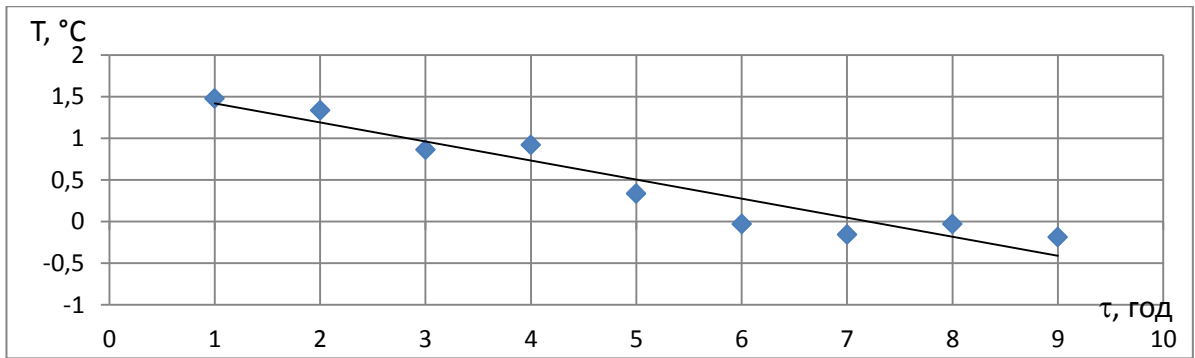


Рис. 2.21. Графік температури зовнішньої поверхні скління відносно часу

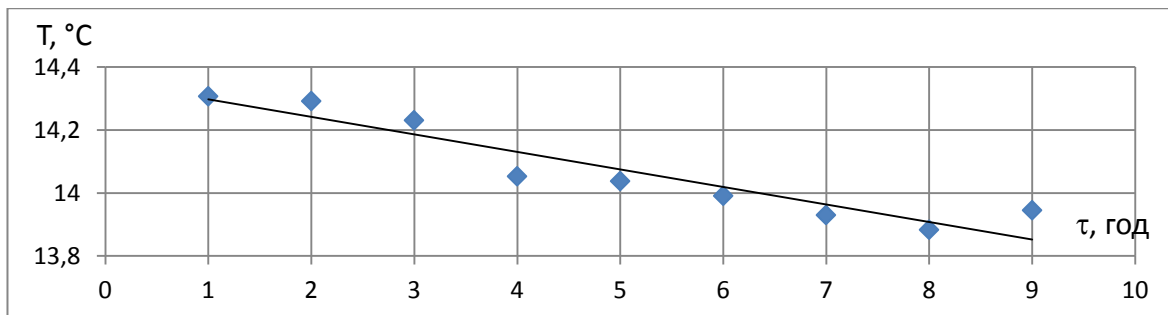


Рис. 2.22. Графік температури внутрішньої поверхні віконної рами відносно часу

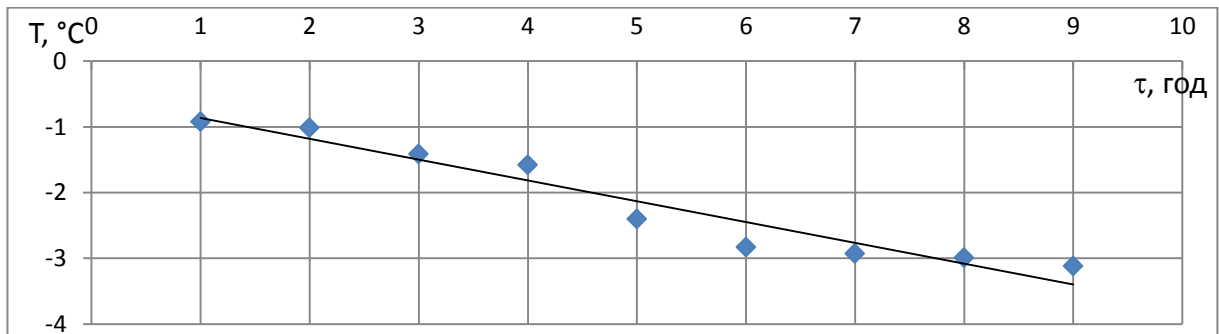


Рис. 2.23. Графік температури зовнішньої поверхні віконної рами відносно часу

2.3.2 Верифікація та апробація запропонованих стаціонарних та динамічних моделей системи керування теплоспоживанням будівель

Математична модель керування теплоспоживанням на стаціонарних режимах базується на тому положенні, що весь тепловий потік, який передається в теплообмінному апараті автоматизованого теплового пункту з урахуванням його теплового ККД, витрачається на підтримку заданого

температурного стану будівлі, а саме, температури повітря в ньому і на компенсацію інфільтраційних теплових втрат. При цьому механізм передачі теплоти всередині приміщень не розглядається. Задача зводиться до визначення підведених та відведених теплових потоків, температурного стану огороження будівлі при заданих температурах повітря в середині та зовні будівлі. При цьому розглядається середньоінтегральне значення величини теплового опору огороження, приведеного до загальної зовнішньої поверхні будівлі, з урахуванням величин теплових опорів стін, скління та віконних рам. Прийняті допущення значно спрощують використання прийнятого підходу рішення задачі при модернізації систем теплоспоживання в існуючих будівлях, а в багатьох випадках і при проектуванні нових будівель.

Математична модель керування теплоспоживанням будівлі на перехідних режимах нестационарного теплового його стану розглядається окремо. Розгляд спільної математичної моделі теплового стану будівлі значно ускладнюють її вирішення та використання в системі керування теплоспоживанням, та позбавляє її переваг спрощеної моделі, яка розглянута вище.

Запропонована математична модель керування теплоспоживанням будівлі базується на основі розгляду стаціонарного теплового стану будівлі, а саме стаціонарного рівняння теплопровідності та рівнянь теплового балансу теплоносіїв. Задача верифікації розглянутої моделі на основі результатів проведеного експериментального дослідження ускладнюється тим, що встановлення класичного стаціонарного теплового режиму будівлі в реальних умовах практично не спостерігається. Основною причиною цього являється незалежна зміна граничних умов теплообміну на зовнішніх поверхнях будівлі та насамперед температури зовнішнього повітря, вітрового впливу, особливостей інсоляції зовнішніх поверхонь в денний час, вологості повітря. Досить часто спостерігається і коливання в параметрах підведеного теплового потоку в будівлю – температур та витрат теплоносія, що нагріває.

Це можна побачити, наприклад, по результатам змін температур повітря та стін в одному з експериментів, які зображені на рис. 2.17, 2.18.

В процесі експериментів зміна температур зовнішнього повітря в денні та нічні періоди днів дослідження знаходились на рівні від 17-22°C та 12-16°C.

Все це, враховуючи високу теплову інерційність будівлі, визиває певні, нехай і невеликі, відхилення в стаціонарності теплового стану будівлі. Тому більш правильно характеризувати тепловий стан будівлі, як достатньо близьким до стаціонарного, але квазістаціонарним. Критерієм настання таких режимів, які будуть використовуватись надалі для цілей верифікації моделі, уточнення параметрів моделі та граничних умов, являється задовільна близькість величин питомих теплових потоків, що вимірюються за допомогою датчиків теплових потоків на внутрішніх поверхнях стін та потоків, що розраховуються у відповідності з рівнянням Фур'є за перепадом температур на стіні між її зовнішньою і внутрішньою поверхнями, які вимірюються в експерименті в тих самих точках, що і теплові потоки.

Рівність потоків, стабільність температур стінок, на проміжку часу що розглядається, засвідчує про близькість до стаціонарного температурного стану, оскільки кількість підведеної теплоти до внутрішньої поверхні огороження достатньо близька до кількості теплоти відведеної від її зовнішньої поверхні.

Враховуючи практично лінійний характер розподілу температур по стінці будівлі, питомий тепловий потік через стінку можна розрахувати по рівнянню

$$q_{ст} = \lambda_{ст} \frac{T_{ст_{вн}} - T_{ст_{зовн}}}{\delta_{ст}},$$

де $q_{ст}$ – питомий тепловий потік через стінку, $\lambda_{ст}$ – теплопровідність стіни, $T_{ст_{вн}}$, $T_{ст_{зовн}}$ – температура внутрішньої та зовнішньої поверхні стіни, $\delta_{ст}$ – товщина стіни.

Відхилення результатів вимірювання теплових потоків на внутрішніх поверхнях стінок і розрахунків потоків по перепаду вимірних температур стінок на внутрішній і зовнішній поверхнях будівлі за результатами обробки дослідних даних в середньому знаходяться на рівні 14%. Максимальні відхилення досягають 24 % і можуть бути пояснені більш за все тим, що умови стаціонарності температурного стану, на відрізках що розглядаються, ще не настало.

Одним з визначних моментів в проведенні верифікації математичної моделі керування теплоспоживанням будівлі, як вказувалось вище, є достовірність задання середньоінтегрального коефіцієнта теплового опору будівлі еквівалентного відображеному сумарному ефекту теплових опорів стін і застосування будівлі. На першому етапі при визначенні цих складових сумарного теплового опору будівлі були використані дані з ДБН В.2.6-31:2006.

Найбільш важливим і найменш достовірним елементом середньоінтегрального коефіцієнта теплового опору огороження є коефіцієнт теплопровідності стін, особливо коли враховувати вік будівлі і недостатню інформацію про використання будівельних матеріалів.

Для його визначення був використаний закон Фур'є в постановці оберненої задачі теплопровідності, коли за відомим тепловим потоком крізь стіну та відомими температурами зовнішньої та внутрішньої поверхонь, з урахуванням лінійного характеру розподілу температур в ній, можна визначити коефіцієнт теплопровідності стіни згідно залежності

$$\lambda_{ст} = \frac{q_{ст} \cdot \delta_{ст}}{(T_{ст_{вн}} - T_{ст_{зовн}})}$$

Величини $q_{ст}$, $T_{ст_{вн}}$, $T_{ст_{зовн}}$ обирались за результатами вимірів, отриманих під час проведених експериментів. Вимірний тепловий потік відноситься до внутрішньої поверхні стіни. Розглядався стаціонарний температурний стан стіни. Обрані для розрахунків режими контролювались

за стабільністю збереження (підтримання) температур на внутрішній та зовнішній поверхнях стін. Отримані коефіцієнти теплопровідності за результатами кожної серії дослідів осереднювались, потім проводилось осереднення по всій серії дослідів. Результати обробки отриманих даних дозволяють стверджувати, що середнє значення цієї величини коефіцієнта теплопровідності стіни знаходиться на рівні 0,55. Відхилення середніх величин коефіцієнтів теплопровідності в серіях дослідів від цієї величини лежить у діапазоні 24%.

Отримана величина коефіцієнта теплопровідності стіни закладалася в розрахунок цієї частини теплового опору стіни будівлі як складова загального середньоінтегрального теплового опору будинку, що входить до математичної моделі системи теплоспоживання будинку, а саме

$$R_{\text{ст}\lambda} = \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}}$$

Середня величина теплового опору заскленої будівлі також визначалася за результатами експерименту. Цей опір має дві складові – власне самого скла та рами. Теплові потоки вимірювались за цими двома складовими загального теплового опору заскленої частини. А їхні опори визначалися відповідно за наступними залежностями для скляної частини (рис 2.24)

$$R_c = \frac{T_{\text{свн}} - T_{\text{сзовн}}}{q_c},$$

де R_c – тепловий опір скла, $T_{\text{свн}}, T_{\text{сзовн}}$ – температура внутрішньої та зовнішньої поверхні скла, q_c – питомий тепловий потік через скло для рами

$$R_p = \frac{t_{\text{рвн}} - t_{\text{рзовн}}}{q_p},$$

де R_p – тепловий опір віконної рами, $T_{\text{рвн}}, T_{\text{рзовн}}$ – температура внутрішньої та

зовнішньої поверхні віконної рами, q_p – питомий тепловий потік через віконну раму.

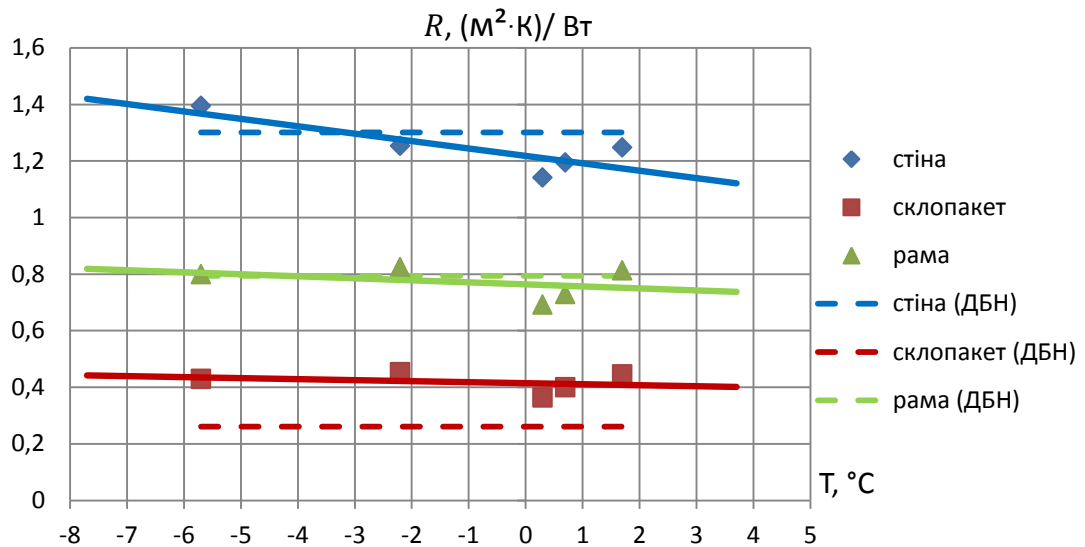


Рис. 2.24. Залежність експериментальних середньоінтегральних теплових опорів елементів конструкції від зовнішньої температури повітря

Загальний тепловий опір заскленої частини розрахований з урахуванням площ поверхонь заскленої та рамної частин загального теплового опору, тобто

$$R_{\text{зас}} = \frac{R_c \cdot F_c + R_p \cdot F_p}{F_c + F_p},$$

де F_c – площа скла, F_p – площа рами.

Для спрощення математичної моделі системи теплоспоживання запропоновано розглядати схему передачі тепла з зовнішньої поверхні будівлі при одному внутрішньому середньоінтегральному тепловому опорі огороження, що відображає сумарний ефект опору передачі теплоти крізь стіну будинку та його заскленої частини згідно залежності

$$R_{\text{огор.вн.}} = \frac{F_{\text{ст}}}{F_{\text{ст}} + F_{\text{зас}}} \cdot R_{\text{стл}} + \frac{F_{\text{зас}}}{F_{\text{ст}} + F_{\text{зас}}} \cdot R_{\text{зас}}$$

де $F_{\text{ст}}$ – площа стіни.

Сумарний тепловий опір огорожі будинку включає в себе також теплові опори передачі теплоти від повітря до внутрішньої поверхні будинку та від зовнішньої до оточуючого повітря

$$R_{\text{огор}\Sigma} = R_{\text{огор}\text{вн}} + \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{зовн}}} \quad (2.28)$$

За такою схемою з використанням раніше наведених залежностей (2.28) були визначені експериментальні величини сумарних теплових опорів огороження. Результати визначення їх у вигляді залежностей від зовнішньої температури повітря представлено на рис. 2.25.

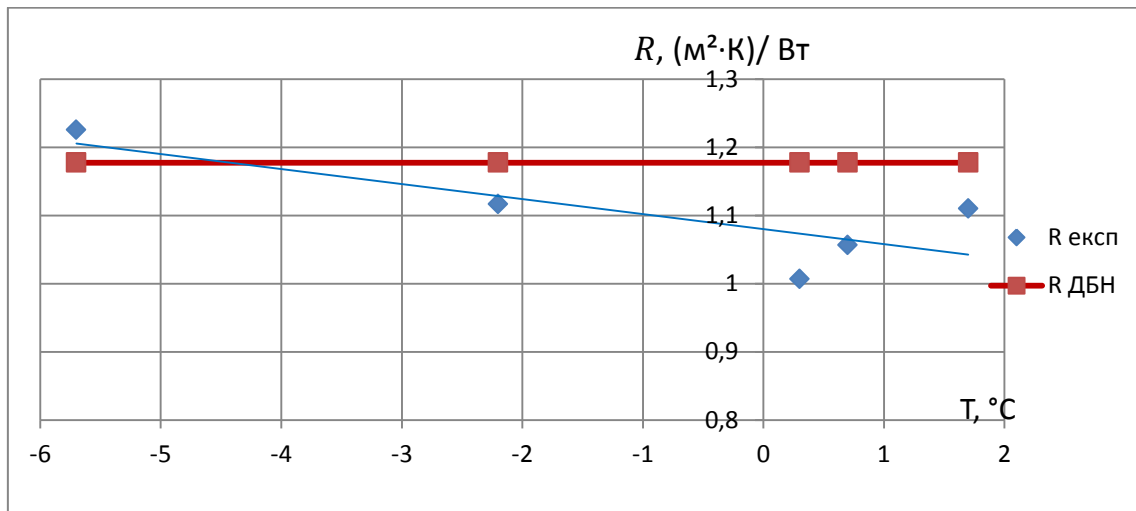


Рис. 2.25. Залежність середньоінтегральних теплових опорів конструкцій від зовнішньої температури повітря

Величини коефіцієнтів тепловіддачі повітря до внутрішньої поверхні стін та склопакетів та від їх зовнішньої поверхні визначались експериментальним шляхом з використанням результатів вимірювання теплових потоків і температур повітря згідно залежностям

$$\alpha_{\text{вн}} = \frac{q_{\text{ст}}}{T_{\text{вн}} - T_{\text{ст}\text{вн}}} \quad (2.29)$$

$$\alpha_{\text{зовн}} = \frac{q_{\text{ст}}}{T_{\text{ст}\text{зовн}} - T_{\text{зовн}}}, \quad (2.30)$$

де $\alpha_{\text{вн}}, \alpha_{\text{зовн}}$ – коефіцієнтів тепловіддачі від внутрішніх та зовнішніх поверхонь стін.

Аналіз результатів визначення коефіцієнтів тепловіддачі на досліджених ділянках буде розглянутий пізніше.

На графіку (рис. 2.25) представлений також результат розрахунку величини сумарного теплового опору огороження, який виконано за рекомендацією ДБН В.2.6-31:2006.

Загальний тепловий потік, що використовується в системі тепlopостачання будинку, вимірювався в тепlopункті штатною вимірювальною системою. На рис. 2.13-2.15 представлені результати вимірювання теплових потоків, що підводились у будинок під час експериментів. На цих же графіках побудовані криві зміни кількості теплоти, яка відводиться від огороження будівлі до зовнішнього повітря. Різниця між цими двома тепловими потоками, якщо знехтувати втратами теплоти в системі тепlopостачання, які зазвичай не перевищують 1...3% від загальної величини теплового потоку, складає величину інфільтраційних теплових втрат системи тепlopостачання. Згідно з прийнятою моделлю параметр, що характеризує інфільтраційні втрати, кратність вентиляції може бути визначено з наступної залежності

$$m = \frac{3600 \cdot Q_{\text{вент}}}{c_{\text{п}} \cdot (T_{\text{вн}} - T_{\text{зовн}}) \cdot \rho \cdot V}$$

З використанням отриманих експериментальних даних про теплові потоки, які компенсують підігрів вентилязованого повітря та його параметри, а також геометричні параметри будівлі були визначені величини кратності вентиляції будівлі. Результати дослідження по всіх серіях експериментів наведені на рис. 2.26 у формі зміни ступеню кратності вентиляції з температурою зовнішнього середовища. Можна бачити, що інфільтрація змінюється від 11 до 22 %.

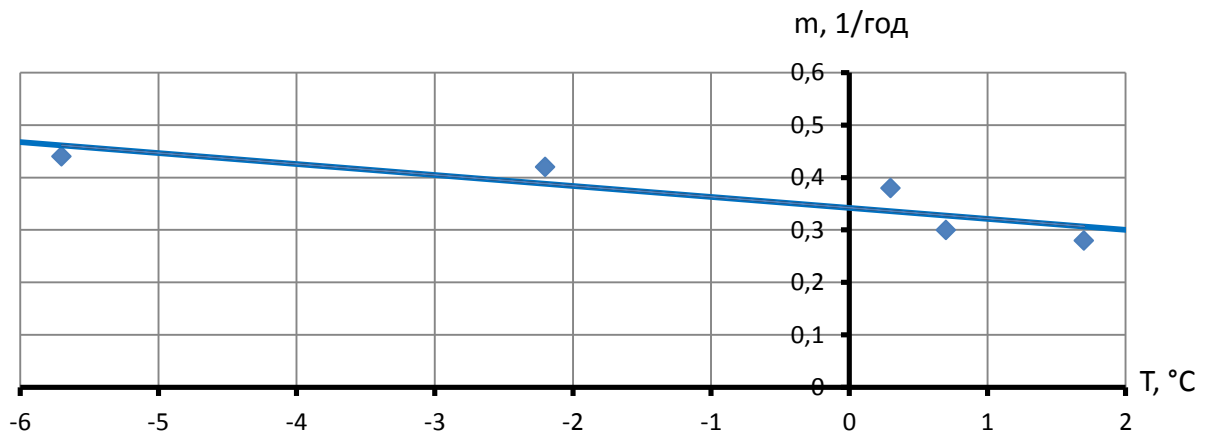


Рис. 2.26. Графік залежності коефіцієнта інфільтрації відносно температури зовнішнього повітря

Програма експериментального дослідження передбачала отримання вихідних даних для визначення величин коефіцієнтів тепловіддачі від повітря в будівлі до зовнішньої поверхні стін та від зовнішньої поверхні будівлі до оточуючого повітря. Методика, яка використовується в експерименті, дозволяє визначати коефіцієнти тепловіддачі, які відображають спільний вплив конвективної та радіаційної складових процесу теплопередачі. Коефіцієнти тепловіддачі розраховувались згідно (2.27, 2.30).

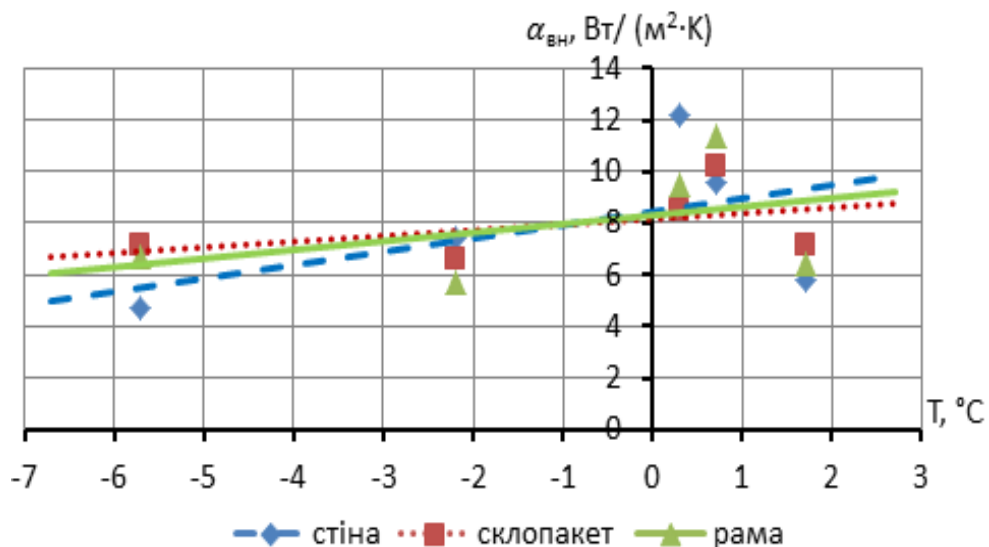


Рис. 2.27. Залежність коефіцієнтів теплообміну внутрішніх поверхонь огороджувальних конструкцій з прилеглим навколишнім середовищем від зовнішньої температури

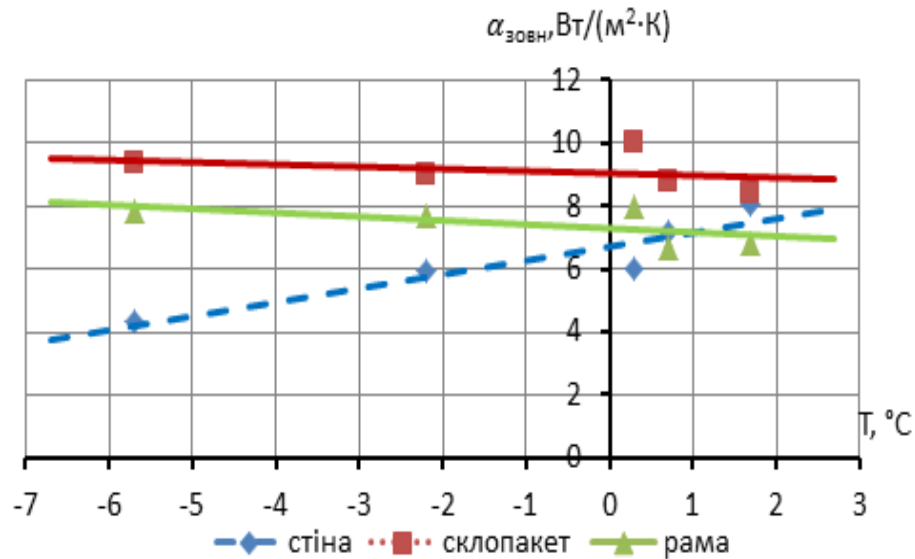


Рис. 2.28. Залежність коефіцієнтів теплообміну зовнішніх поверхонь огорожувальних конструкцій з прилеглим навколишнім середовищем від зовнішньої температури повітря

Експерименти та розрахунки проведені для всіх 5 серій дослідів з різним розташуванням стін відносно сторін світу. За результатами цих експериментів можна відзначити, що в більшій частині величини коефіцієнтів тепловіддачі з зовнішньої поверхні стін до оточуючого повітря змінюються в діапазоні від 6 до 12 $\text{Вт}/\text{м}^2\cdot\text{К}$, діапазон зміни коефіцієнтів тепловіддачі до внутрішніх поверхонь стін змінюється від 5,3 до 16,4 $\text{Вт}/\text{м}^2\cdot\text{К}$. Можна зазначити, що в цілому більша частина коефіцієнтів тепловіддачі на внутрішній поверхні стін вища ніж на зовнішній на 20...40 %. Виключенням є дослід 05.04.2015 р. (північна орієнтація приміщення) та частково дослід 13.02.2013 р., де коефіцієнти тепловіддачі до внутрішніх поверхонь стін нижче, ніж від зовнішніх поверхонь на 10...30 %.

Коефіцієнти тепловіддачі по склопакетах визначались на зовнішніх та внутрішніх поверхнях скла і рам. На зовнішніх поверхнях скла коефіцієнти тепловіддачі по всіх серіях експериментів змінювались в межах від 7 до 11 $\text{Вт}/\text{м}^2\cdot\text{К}$, по рамі – від 6 до 25 $\text{Вт}/\text{м}^2\cdot\text{К}$. На внутрішніх поверхнях скла та рами – від 7 до 37 $\text{Вт}/\text{м}^2\cdot\text{К}$ та від 6 до 44 $\text{Вт}/\text{м}^2\cdot\text{К}$ відповідно. Більші величини

коефіцієнтів тепловіддачі на поверхнях склопакетів можуть бути пояснені більш високими величинами радіаційної складової тепловіддачі на них.

Температурний стан огороження будинку та його зв'язок з граничними умовами теплообміну та термічним опором стін будівлі може бути представлений у безрозмірному та узагальненому вигляді. Така форма залежності може бути корисною при розробці математичних моделей керування процесами теплопередачі в будинку, а також на етапі попередніх проектувальних розрахунків систем теплоспоживання.

При цьому розглядається одномірна стаціонарна задача теплопровідності для пласкої пластини з граничними умовами 3 роду. Використовуючи вирази рівних питомих теплових потоків до внутрішньої та від зовнішньої поверхонь стін, а також крізь стіну, та усуваючи їхню розмірність шляхом ділення на різницю температур повітря всередині та зовні будинку, отримуємо наступний вираз для безрозмірних відносних температур зовнішньої та внутрішньої поверхонь огороження

$$\theta_{\text{ст}_{\text{зовн}}} = \frac{1}{Bi_{\text{зовн}}} \cdot \frac{T_{\text{ст}_{\text{зовн}}} - T_{\text{зовн}}}{T_{\text{вн}} - T_{\text{зовн}}}$$

$$\theta_{\text{ст}_{\text{вн}}} = \frac{1}{Bi_{\text{вн}}} \cdot \frac{T_{\text{вн}} - T_{\text{ст}_{\text{вн}}}}{T_{\text{вн}} - T_{\text{зовн}}},$$

де $Bi_{\text{зовн}}$ – критерій Біо, віднесений до зовнішньої поверхні стіни,

$$Bi_{\text{зовн}} = \frac{\delta_{\text{ст}} \cdot \alpha_{\text{ст}_{\text{зовн}}}}{\lambda_{\text{ст}}}$$

$Bi_{\text{вн}}$ – критерій Біо, віднесений до внутрішньої поверхні стіни;

$$Bi_{\text{вн}} = \frac{\delta_{\text{ст}} \cdot \alpha_{\text{ст}_{\text{вн}}}}{\lambda_{\text{ст}}}$$

Якщо усувати розмірність перепаду температур за товщиною стіни, відносячи його до перепаду температур повітря всередині та зовні будівлі, тобто

$$\overline{\Delta T_{\text{ст}}} = \frac{T_{\text{ст}_{\text{вн}}} - T_{\text{ст}_{\text{зовн}}}}{T_{\text{вн}} - T_{\text{зовн}}} = \frac{\Delta T_{\text{ст}}}{\Delta T_{\text{п}}}$$

то наведені вище вирази відносних температур будуть мати вигляд

$$\theta_{\text{ст}_{\text{зовн}}} = \frac{\overline{\Delta T_{\text{ст}}}}{Bi_{\text{зовн}}}, \quad \theta_{\text{ст}_{\text{вн}}} = \frac{\overline{\Delta T_{\text{ст}}}}{BT_{\text{вн}}}$$

Тоді вираз відносного температурного перепаду по стіні можна представити наступною залежністю

$$\overline{\Delta T_{\text{ст}}} = \theta_{\text{ст}_{\text{зовн}}} \cdot Bi_{\text{зовн}} = \theta_{\text{ст}_{\text{вн}}} \cdot Bi_{\text{вн}} \quad (2.31)$$

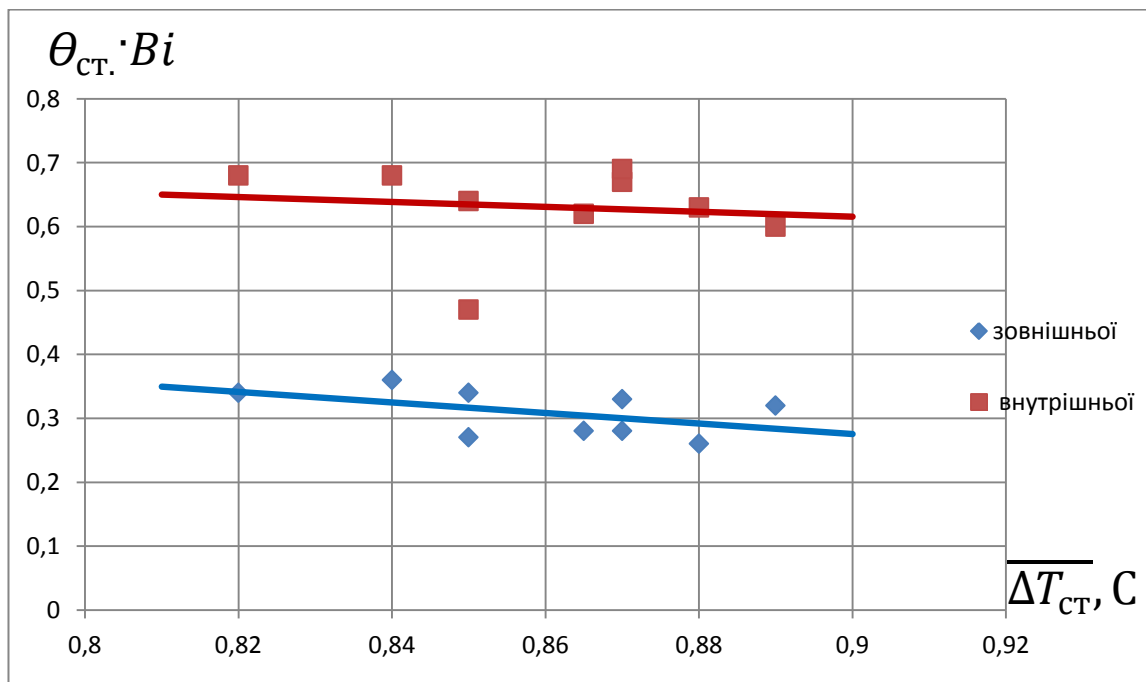


Рис. 2.29. Залежність відносного перепаду температур по стінці в функції від відносних температур зовнішніх та внутрішніх поверхонь стінки

Наведена залежність показує, що відношення перепаду температур по стіні до різниці температур середовища з внутрішньої та зовнішньої сторін її буде зберігати своє значення також при зміні граничних умов, що дорівнює добутку відносної температури на поверхні стіни до числа Біо на ній.

Це положення справедливе для класичних умов стаціонарної задачі теплопровідності, що розглядається. В реальних умовах, як було показано вище, дотримати цього досить складно.

З метою можливостей використання наведених раніше закономірностей для практичних цілей (вимог) була проведена їх апробація на базі отриманих експериментальних даних. При цьому в якості вихідних були використані дані прямих вимірів температур стін та повітря, а також розраховані за вимірними тепловими потоками коефіцієнти тепловіддачі на поверхнях стін, що є необхідними для визначення чисел Біо. Результати дослідження представлені на рис. 2.29 у вигляді залежності відносного перепаду температур по стіні від комплексу добутку відносних температур внутрішньої та зовнішньої поверхонь стін на критерій Біо, що віднесені до цих поверхонь згідно залежності (2.31).

Отримані результати можуть бути описані лінією, яка є паралельною осі абсцис, що зберігає постійне значення відносного перепаду температур по стіні $\overline{\Delta T_{ст}}$ в межах діапазону змін комплексу $\theta \cdot Bi$ (від 0,095 до 0,18). При цьому діапазон відхилення експериментальних точок від лінії апроксимації не виходить за межі $\pm 6,5\%$, що для умов проведеного експерименту може бути визнано цілком задовільним. Сам же розбіг точок, швидше за все, пов'язаний, в першу чергу, з певними відхиленнями в стаціонарності процесів, а також з похибками при вимірі параметрів, що досліджуються.

Проведене порівняння експериментальних досліджень та моделювання з використанням системи MathCad (рис. 2.30 – 2.34) підтверджує прийнятну збіжність одержаних результатів.

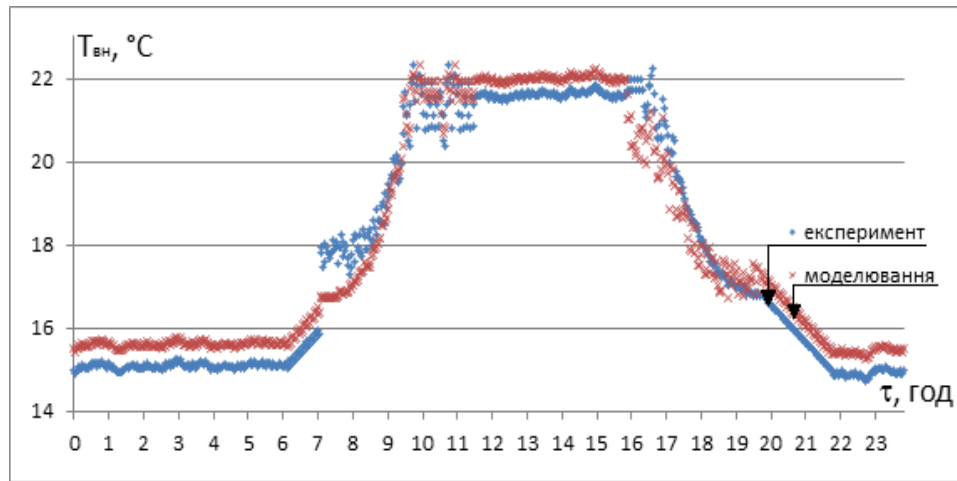


Рис. 2.30 Зміна температури повітря в приміщенні за добу при зміні режиму керування

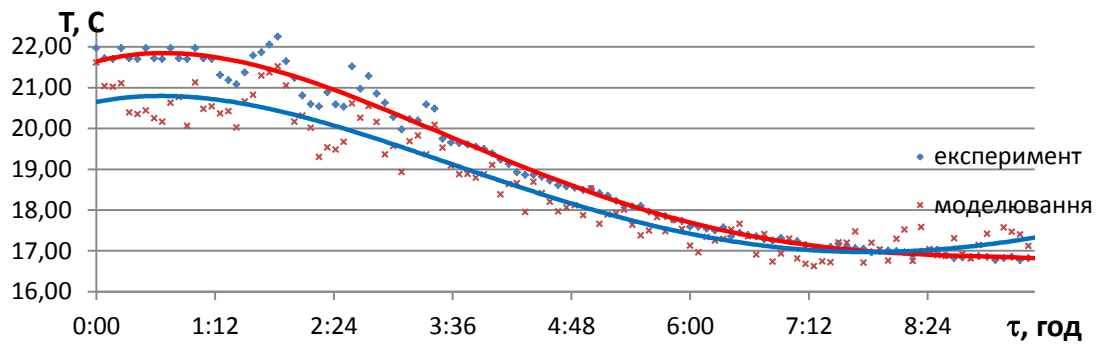


Рис. 2.31 Зміна температури повітря в приміщенні при зміні режиму керування (пониження температури)

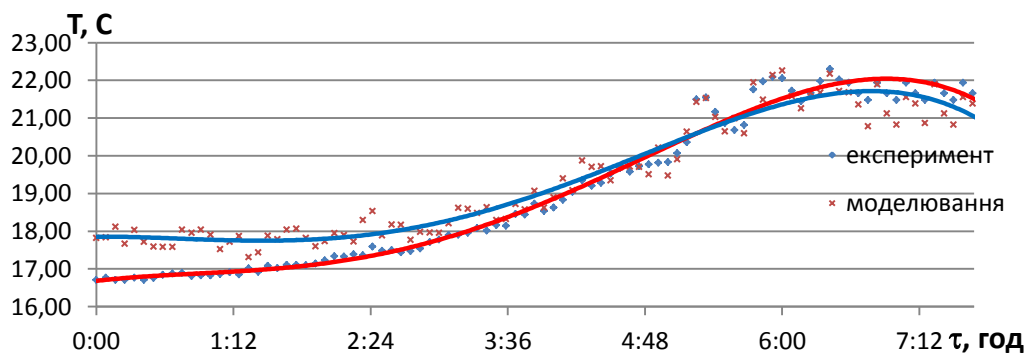


Рис. 2.32 Зміна температури повітря в приміщенні при зміні режиму керування (підвищення температури)

Експериментально визначено діапазон часу виходу системи на заданий режим, при якому забезпечується захист від гідравлічних ударів, який коливається від 2 до 5 годин.

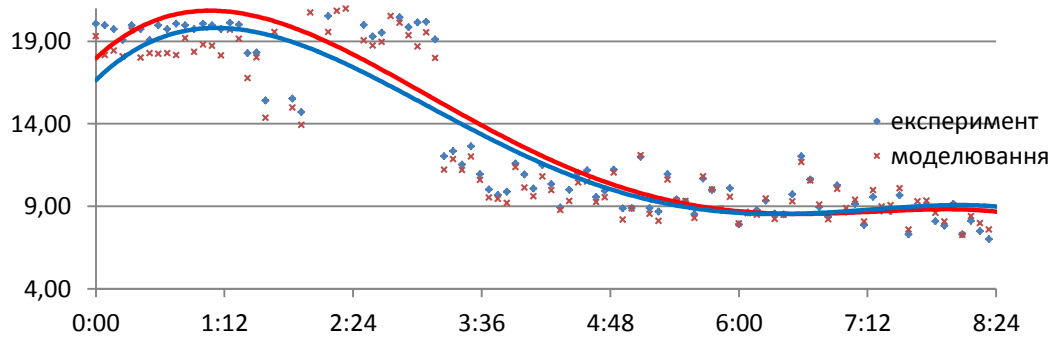


Рис. 2.33 Зміна температури внутрішньої поверхні стіни при зміні режиму керування (пониження температури)

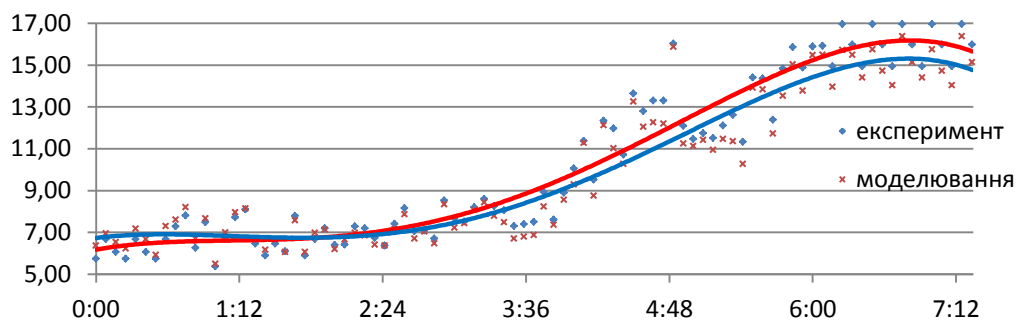


Рис. 2.34 Зміна температури внутрішньої поверхні стіни при зміні режиму керування (підвищення температури)

В цілому ж отримані результати підтверджують можливість їх використання як при розробці моделей керування теплоспоживанням будівлі, так і при проведенні аналізу температурного стану будівель та проектних розрахунків систем теплоспоживання на початковому етапі.

Висновки до розділу 2

1. Розроблено математичні моделі систем керування теплоспоживанням при комбінованому теплопостачанні з використанням традиційних енергоресурсів та сонячної енергії в стаціонарному та динамічному режимах.

2. Обґрунтовано конфігурацію теплової схеми функціонування системи з використанням сонячної енергії.

3. Показано, що для забезпечення контурів системи від гідравлічних ударів та збурень важливим є аналіз стійкості та якості системи керування, який проведено з використанням математичної моделі системи. В результаті моделювання встановлено, що динамічна модель системи при заданих нормованих параметрах є стійкою та дає похибку в межах 6 дБ та підібрано параметри, при яких система вчасно реагує на зміни метеоумов та вхідних даних.

4. Проведено верифікацію математичної моделі шляхом експериментального дослідження теплових характеристик будівлі з комбінованим теплопостачанням і використанням сонячної енергії.

5. Розв'язано обернену задачу визначення коефіцієнтів тепловіддачі на поверхнях огорожувальної конструкції будівлі за результатами експериментальних даних роботи системи. Уточнено дані про величини коефіцієнтів теплового опору елементів огороження. Досліджено залежність коефіцієнта тепловіддачі на внутрішніх та зовнішніх поверхнях елементів огорожувальної конструкції будівлі від температури зовнішнього середовища.

6. Одержано дані по граничним умовам теплообміну третього роду на поверхнях огороження будівель, показано, що в досліджених діапазонах теплових потоків та діапазон змін зовнішніх умов величини коефіцієнтів тепловіддачі на зовнішній та внутрішній поверхнях стін змінюється в межах 6...12 та 5...16,5, а по склопакету – 7...11 та 7...37 Вт/м²·К, відповідно.

7. Запропоновано безрозмірну форму узагальнення теплового стану, яка описує стан характерних температур та перепадів температур по стінці та між середовищами, апробована з використанням отриманих дослідних даних. Показано, що відносний перепад температур по стінці огороження практично залишається незмінним незалежно від добутку відносних температур зовні та всередині стінки на число Біо. Результати апробації свідчать про можливість використання запропонованої форми для розробки моделей керування теплоспоживанням, а також проектних розрахунків

РОЗДІЛ 3

БЛОК КЕРУВАННЯ СИСТЕМИ З СОНЯЧНИМИ КОЛЕКТОРАМИ ТА АКУМУЛЯТОРОМ ТЕПЛА

3.1 Вибір методу регулювання відпуску теплової енергії в системах теплоспоживання

Автоматичне керування споживанням теплоти в будівлях може проводитись по відхиленню величини, що регулюється, по збуренню і шляхом комбінування цих двох методів [70-74].

В першому випадку датчики, які вимірюють температуру внутрішнього повітря, встановлюються в одному або декількох опалюваних приміщеннях і приводять в дію регулятор при відхиленні цієї температури від встановленого значення.

При регулюванні по збуренню датчики встановлюються ззовні будівлі і заміряють значення метеорологічних параметрів. Використання цього методу вимагає дотримання умов інваріантності системи опалення по відношенню до зовнішніх збурень.

Математично ця умова виражається наступним чином:

$$W_{\text{кер}} = W_{\text{збур}},$$

де $W_{\text{кер}}$ – передаточна функція по керуючому впливу;

$W_{\text{збур}}$ – передаточна функція по збурюючому впливу.

Розшифровуючи значення вказаних передаточних функцій, можливо отримати:

$$W_{\text{сист}} \cdot W_{\text{комп}} = W_{\text{T}} + W_{\text{H}}, \quad (3.1)$$

де $W_{\text{сист}}$ – передаточна функція об'єкту теплоспоживання, охопленого даним ступенем керування, від температури витрати теплоносія на виході з вузла

керування до кількості теплоти, яка передається повітрю опалюваного приміщення; $W_{\text{КОМП}}$ – передаточна функція регулятора з відповідним компенсуючим приладом; W_T , $W_{\text{НТ}}$ – передаточні функції теплоємних і нетеплоємних зовнішніх огорожень – від зміни метеорологічних умов до кількості теплоти, яка втрачається опалювальними приміщеннями.

Схема компенсації збурень, яка відповідає рівнянню (3.1), приведена на рисунку 3.1.

Перевага автоматичного керування по відхиленню полягає в тому, що регулятор враховує всю сукупність факторів, які впливають на температурний режим опалювальних приміщень, і виконує свою задачу незалежно від причин, які викликали відхилення внутрішньої температури.

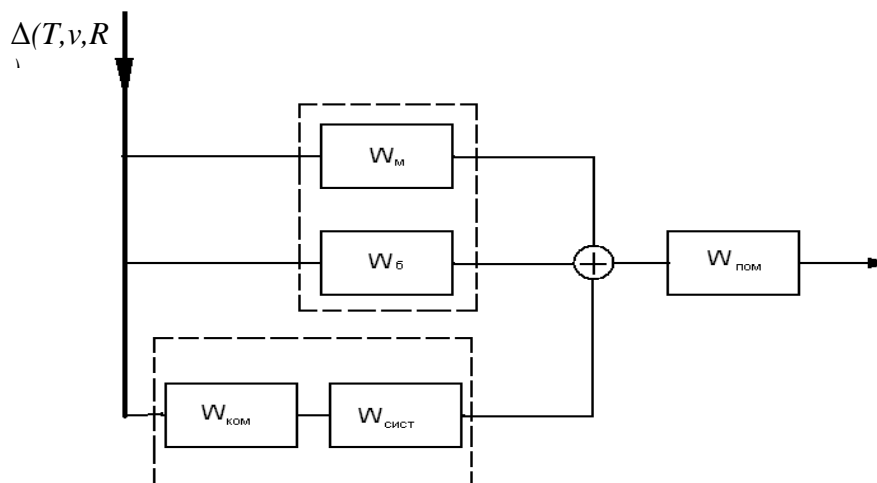


Рис. 3.1. Схема компенсації збурень в системі опалення

Експлуатаційні зміни статичних і динамічних характеристик об'єкту практично не відображуються на якості регулювання.

Недоліки цього методу полягають в наступному. В сучасних багатоповерхових будівлях навіть при добре відрегульованій системі опалення спостерігається значний розкид температур повітря в опалюваних приміщеннях, які набагато перевищують допустиму точність регулювання. У зв'язку з цим вибір представлених контрольованих приміщень з ціллю зведення до мінімуму впливу випадкових, локальних факторів на процес керування, викликає великі труднощі. Збільшення ж з цією ціллю загальної

кількості датчиків – контрольних приміщень, приводить до здорожчання автоматики, ускладнення її обслуговування і зниження надійності.

Система автоматичного керування по відхиленню внутрішньої температури має неприйнятні динамічні характеристики, оскільки замкнутий контур регулювання містить в даному випадку ланцюг з великою інерційністю – це опалювана будівля.

В випадку охоплення керуванням цілого ряду будівель, негативний вплив вказаних обставин (розкид температур в приміщеннях, велика інерційність контуру регулювання) при регулюванні по відхиленню ще більше виростає.

Перевага автоматичного керування по збуренню міститься в тому, що воно проводиться по основним визначальним режимам теплоспоживання споруд (температура зовнішнього повітря, швидкість вітру, сонячна радіація). Вплив локальних, випадкових факторів на температуру повітря в тому або іншому приміщенні на процес керування виключається.

При керуванні по збуренню система має хороші динамічні властивості, так як в контур регулювання не входить опалюване приміщення. При цьому регулятор починає виконувати свою функцію ще до того, як збурюючий вплив проник в опалювану будівлю і викликав в ній відхилення величини, яка регулюється (температура повітря), від заданого значення.

Недолік цього методу в тому, що регулятор реагує тільки на ті збурення, котрі оцінюються відповідними датчиками і закладені в закон регулювання.

Враховуючи збурення, що діють в системі теплоспоживання, і особливості цієї системи як об'єкта керування, стають очевидними ті труднощі принципового характеру, які виникають при застосуванні розглянутого методу керування.

Найбільш розповсюджена схема керування по збуренню передбачає наявність зворотного зв'язку по параметру теплоносія в тепловому пункті. У зв'язку з цим система керування виявляється частково замкнутою (по

регулюючому параметру) і в її контур включається джерело теплоти, теплові мережі, а при встановленні датчика температури на зворотному трубопроводі і система опалення. Таким чином, складається принципова можливість виключити вплив випадкових відхилень режиму роботи теплової мережі на тепловий режим будівлі.

Схема, яка розглядається, реалізує наступний закон керування:

$$P = F(Z),$$

де P – параметр зворотного зв'язку; Z – зовнішнє збурення, закладене в закон керування.

В якості параметра зворотного зв'язку P в різноманітних схемах автоматизації систем теплоспоживання використовується температура води системи опалення на вході в пункт керування, температура зворотної води.

В багатьох існуючих системах автоматизації для оцінки зовнішніх збурень використовуються датчики температури зовнішнього повітря. Величина сигналу від цього датчика порівнюється з температурою теплоносія, яка повинна дорівнювати температурі по опалювальному графіку, закладеному в закон керування. Перевагою такої системи є простота схемної реалізації, а недоліком – відсутність обліку при керуванні інших метеорологічних факторів (крім зовнішньої температури), а також динамічних властивостей.

Для формування сигналу, який характеризує величину зовнішніх збурень Z , можуть застосовуватися фізичні і математичні моделі.

В першому випадку використовується датчик, який забезпечує комплексний облік метеорологічних параметрів (температури зовнішнього повітря, швидкості вітру, сонячної радіації), що діють на будівлю або його зону (фасад). Такого роду датчик повинен являти собою фізичну модель, теплофізичні характеристики котрої подібні теплофізичним характеристикам будівлі (або його зони) по всім каналам передачі зовнішніх збурень.

У другому випадку параметри зовнішнього середовища заміряються за допомогою стандартних метеорологічних датчиків. Отримана від цих датчиків інформація надходить на обчислювальний пристрій, який в залежності від заміряних величин, часу доби, дня тижня, а також других факторів розраховує відповідно до програми, побудованої для еталонної моделі будівлі, необхідне значення параметра P_3 . Значення P_3 порівнюється з фактично заміряними значеннями параметрів P_ϕ , в результаті чого регулятор виробляє відповідний коригуючий вплив.

Як вже відмічалось, поряд з регулюванням по відхиленню і по збуренню знаходять застосування системи комбінованого керування. Один з варіантів системи комбінованого керування, при якому частина опалювального сезону регулювання відпуску теплоти виконується по відхиленню, а частина – по збуренню.

Слід зазначити, що системи адаптивного керування, яким останнім часом в опалювальній техніці приділяється все більша увага, також ґрунтуються на спільному використанні принципів керування по збуренню і за відхиленням. Особливість цих систем полягає в тому, що математична еталонна модель будівлі, за якою визначається величина керуючого впливу, не є жорстко детермінованою, а коригується в процесі експлуатації відповідно до інформації про фактичний тепловий стані об'єкта.

Вибір основного імпульсу для місцевого регулювання залежить від типу і режиму роботи.

Вибір імпульсу для регулювання опалювального навантаження є складним завданням, оскільки температури в окремих приміщеннях опалювальних будівель можуть істотно різнитися і залежать не тільки від кількості теплоти, поданої в будівлю, але і від якості роботи опалювальної установки будівлі, умови експлуатації окремих приміщень, побутових тепловиділень, а також сонячної інсоляції та інфільтрації, які, в свою чергу, залежать від розміщення окремих приміщень будівлі по відношенню до сторін світу і рози вітрів. Тому для збільшення економії теплової енергії

необхідно додатково до місцевого регулювання здійснювати індивідуальне регулювання теплових навантажень окремих приміщень або окремих зон кожної будівлі, які знаходяться під різним впливом сонячної інсоляції, вітрової інфільтрації, побутових тепловиділень та інших умов.

3.2 Розробка алгоритму роботи системи

На основі розглянутої в Розділі 2 математичної моделі було розроблено алгоритм роботи блоку керування теплоспоживанням, який зображений на рисунку 3.2 – 3.4.

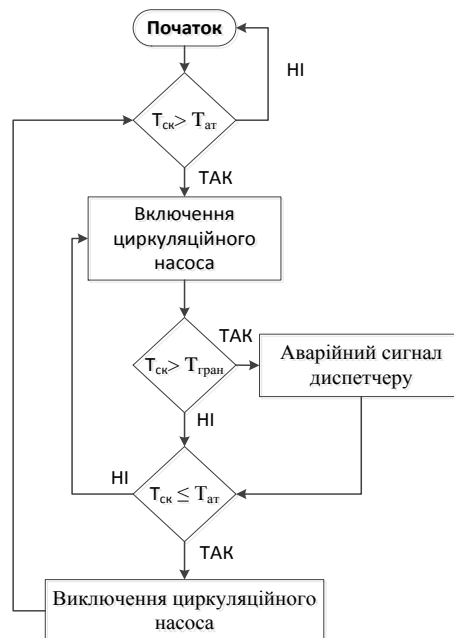


Рис. 3.2. Алгоритми роботи сонячного колектора



Рис. 3.3. Алгоритми роботи сонячного колектора

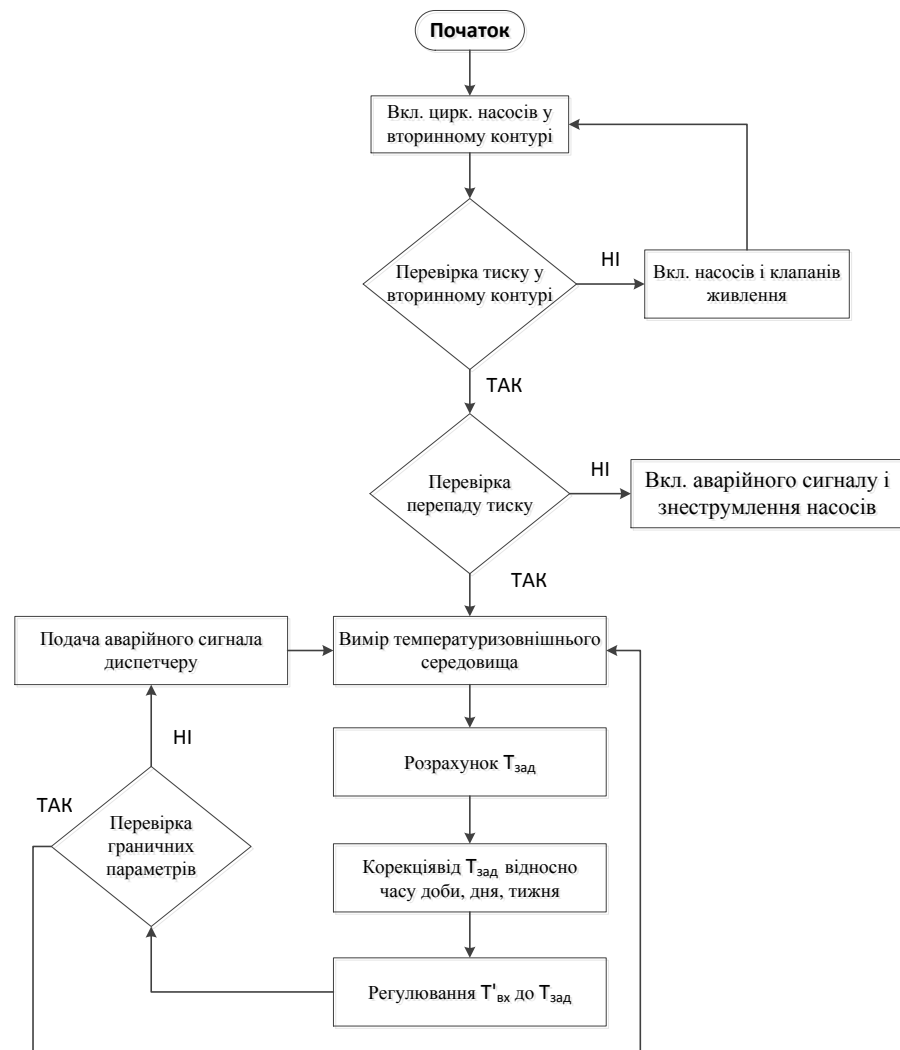


Рис. 3.4. Алгоритми роботи системи керування теплоспоживанням:

$T_{\text{гран}}$ – гранична температура сонячного колектора, $T_{\text{зад}}$ – задана блоком керування температура

Опис алгоритму керування сонячним колектором.

1. Порівнюємо температуру носія на виході з сонячного колектора з температурою акумулятора теплової енергії. Якщо температура носія на виході сонячного колектора нижче температури акумулятора тепла, то продовжуємо цикл вимірювання – порівняння поки температура на виході не перевищить температуру акумулятора.

2. Після того як температура на виході сонячного колектора перевищить температуру акумулятора включаємо циркуляційний насос, який забезпечить теплообмін між сонячним колектором та акумулятором тепла. Температура акумулятора буде рости.

3. Перевіряємо чи температура на виході сонячного колектора не перевищує граничну задану, якщо так посилаємо сигнал диспетчеру про критичне перевищення температури. Неконтрольоване підвищення температури сонячного колектора може виникнути в разі відмови циркуляційного насоса, виникнення забруднень трубопроводів, повітряних корків тощо.

4. Перевіряємо чи температура на виході сонячного колектора не зрівнялася або стала нижчою від температури акумулятора тепла, якщо так виключаємо циркуляційний насос і переходимо до початку виконання алгоритму керування. Якщо ні, то підтверджуємо включення циркуляційного насоса і продовжуємо виконувати алгоритм керування.

Опис алгоритму керування акумулятором тепла.

1. Перевіряємо чи температура в акумуляторі тепла перевищує температуру зворотного носія на вході в систему опалення будівлі, якщо так, то відкриваємо електромагнітні клапани, що підключають підігрів зворотного носія від акумулятора тепла.

2. Перевіряємо чи температура в акумуляторі тепла не стала меншою або рівною температурі зворотного носія на вході в систему опалення будівлі, якщо так, то відключаємо електромагнітні клапани, тим самим відключивши акумулятор тепла від системи опалення.

3. Якщо температура в акумуляторі тепла продовжує перевищувати температуру зворотного носія на вході в систему опалення будівлі, то алгоритм роботи продовжує виконуватись з початку.

Опис алгоритму керування теплоспоживанням.

1. При початку роботи системи керування теплоспоживанням включаються циркуляційні насоси вторинного контуру та активується робота клапанів живлення, якщо протягом заданого проміжку часу тиск у вторинному контурі після циркуляційного насосу не піднімається до заданого, то система знеструмлюється і подається сигнал про аварію диспетчеру.

2. Після успішного запуску системи циркуляції перевіряється перепад тиску між подаючими та зворотними трубопроводами, якщо перепад вище заданого, що свідчить про наявність витоків теплоносія, система знеструмлюється і подається сигнал про аварію диспетчеру.

3. Після успішного запуску системи циркуляції та живлення вимірюється температура зовнішнього повітря, проводиться розрахунок по температурним графікам, що були задані при настройці системи, температури носія у первинному контурі, проводиться корекція температури носія в залежності від часу доби, дня тижня та вираховуються і подаються команди на регулюючий орган, поки температура на вході в будівлю не стане заданою.

4. Проходить перевірка граничних параметрів носія – температури носія у зворотному трубопроводі – якщо нижче заданої, то подається сигнал диспетчеру і алгоритм керування продовжує виконуватись, якщо в нормі, то алгоритм виконується без подачі сигналу.

Відповідно до алгоритму роботи блоку було створено функціональну схему, яка зображена на рисунку 3.5.

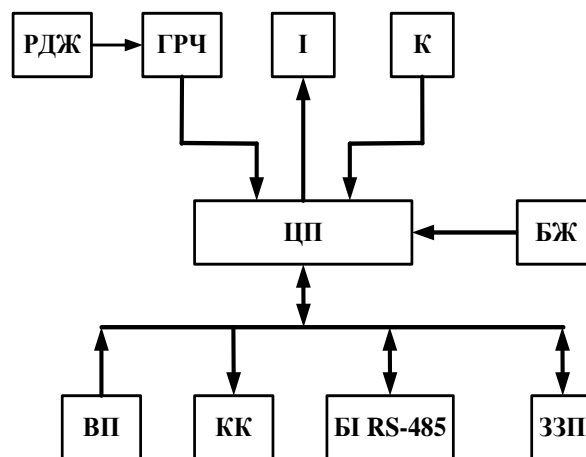


Рис. 3.5. Функціональна схема БК системи:

ЦП - центральний процесор, ГРЧ – годинник реального часу, І – індикатор, К – клавіатура, РДЖ – резервне джерело живлення, БЖ – блок живлення, ВП – вхідні перетворювачі, КК – ключі керування, БІ RS-485 – блок інтерфейсу, ЗЗП – зовнішня пам'ять

Центральний процесор керує пристроями вводу-виводу, такими як клавіатура та відображаючий пристрій, розраховує графіки температур по заданим параметрам. В свою чергу, відображаючий пристрій відображає поточні значення температур, стан виконавчих пристроїв, сигнали яких подаються на нього з вхідних перетворювачів, значення установок заданих оператором. Ключі керування перетворюють малострумні команди центрального процесора в команди керування для виконавчих пристроїв. Блок інтерфейсу RS-485 забезпечує зв'язок блоку керування з комп'ютерами верхнього рівня (наприклад, диспетчерська). Зовнішній запам'ятовуючий пристрій запам'ятовує стан блоку керування та всіх поточних температур, наданих із вхідних перетворювачів протягом тривалого часу (до кількох років). Резервне джерело живлення забезпечує роботу годинника реального часу при вимкненні зовнішнього джерела живлення. Годинник реального часу забезпечує відповідність роботи блоку керування з реальним часом та календарем. Вхідні перетворювачі перетворюють вхідні неелектричні сигнали (температура, стан насоса, тощо) в електричні стандартизовані сигнали. Клавіатура служить для вводу установок блоку керування, ручного керування виконуючими пристроями, перегляду установок в разі потреби, тощо. Блок живлення забезпечує живлення всіх складових блоку керування.

Було створено функціональну схему системи автоматичного керування (рис. 3.6).

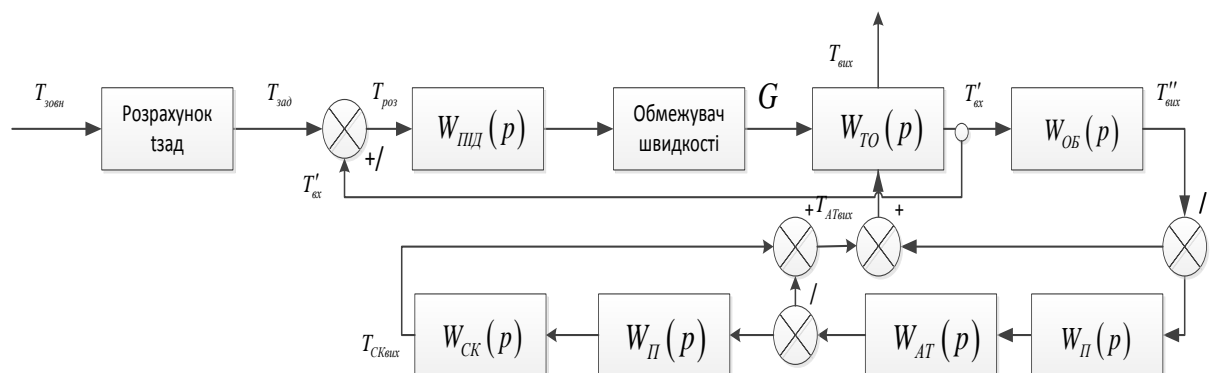


Рис. 3.6 Функціональна схема системи автоматичного керування

Дана схема записана через передаточну функцію

$$H_{3AG}(p) = \frac{W_{ПД}(p) \cdot W_{ТО}(p) \cdot W_{ОБ}(p) \cdot W_{П}(p) \cdot (W_{СК}(p) + W_{П}(p) \cdot W_{СК}(p) \cdot W_{АТ}(p) + W_{АТ}(p))}{(1 - W_{ПД}(p) \cdot W_{ТО}(p) \cdot W_{РЕГ}(p)) \cdot (1 + W_{П}(p) \cdot W_{АТ}(p)) \cdot (1 + W_{П}(p) \cdot W_{СК}(p))},$$

де $W_{ПД}(p) = \frac{1}{1 + ap + bp^2}$ – ПД регулювання; $W_{РЕГ}(p) = \frac{1}{K_{РЕГ}p}$ – виконавчий

пристрій регулювання витрати теплоносія; $W_{ТО}(p) = \frac{K_1}{T_1p + 1} \cdot \frac{K_2}{T_2p + 1} \cdot K_{12}$ –

теплообмінник; $W_{АТ}(p) = \frac{K_3}{T_3p + 1} \cdot \frac{K_4}{T_4p + 1} \cdot K_{34}$ – акумулятор тепла; $W_{П}(p) = \frac{1}{p}$ –

виконавчий пристрій перемикач; $W_{СК}(p) = K_{СК}p$ – сонячний колектор;

$W_{ОБ}(p) = K_{ОБ}p$ – об'єкт теплоспоживання

Згідно з функціональною схемою та алгоритмом роботи було розроблено блок керування СКТ з сонячними колекторами та акумулятором тепла (рис. 3.7).



а

б

Рис.3.7. Фото блоку керування:
а передня панель; *б* вигляд друкованої плати

Порівняння даного блоку з існуючими приведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Порівняння функцій БК з існуючими

Основні функції	Модуль збору даних та керування	Панельний програмований контролер	Панельний комп'ютер	Блок контролю та керування (ІТТФ)
Робота в автономному режимі	–	+	+	+
Робота в складі системи диспетчеризації	+	+	+	+
Потреба додаткового програмного забезпечення	–	–	+	–
Дисплей	–	текстовий	графічний монітор	Графічний
Побудова мнемосхеми з показниками безпосередньо на БКУ	–	–	+	–
Перегляд часових графіків основних показників	–	–	+	+
Робота по часовому графіку	–	додатковий модуль	+	+
Архівування даних	–	додатковий модуль	+	+
Збереження архіву на з'ємний носій інформації	–	–	+	+
Орієнтовна вартість, тис. грн.	5,0	16,0	45,0	2,5

Розроблений блок керування забезпечує реалізацію наступних функцій:

- наявність 2 + 1 незалежних каналів зв'язку по стандартному протоколу RS485;
- контроль вхідних та вихідних параметрів (тиск, температура);
- автоматичне регулювання системи опалення по заданому алгоритму роботи для підтримання комфортних умов;
- захист від заморожування системи тепlopостачання при аваріях на теплотрасах;
- дозволяє здійснювати погодну компенсацію, встановлювати добові або інші індивідуальні режими подачі тепла;

- можливість автоматичного та ручного коригування опалювального графіка;
- сигналізація аварійного стану з повідомленням на диспетчерський пункт;
- архівування даних на період 1 місяць з можливістю відображення у вигляді графіків;
- некомерційний облік (оформлюються документи для дозволу на комерційний);
- можливість вибору одного з двох законів регулювання;
- регулятор може регулювати комбіноване теплопостачання;
- автоматично визначає час виходу системи на заданий режим.

Регулювання температури теплоносія в контурі опалення проводиться по розрахованому регулятором значенню $t'_{\text{вх}}$. Це значення є величиною змінною і вираховується регулятором виходячи з температури зовнішнього повітря по температурному графіку (рис. 3.8) [75]: $t'_{\text{вх}} = f(t_{\text{вх}})$.

Параметри графіка задаються налагодчиком при настройці регулятора, виходячи з експлуатаційних характеристик системи опалення, теплової конструкції будівлі та вимог до температурного режиму всередині приміщення. На рис. 3.8 наведено типовий опалювальний графік, який задається при програмуванні.

Параметри графіка (як і всі інші робочі параметри, задані при настройці регулятора) заносяться у вбудовану енергонезалежну пам'ять і зберігаються у ній протягом всього терміну експлуатації, в тому числі і при знеструмленні регулятора.

Ця функція дозволяє уникнути «перегріву» приміщення внаслідок зміни погодних умов і недостатньо оперативного реагування на це теплопостачаючих організацій, що часто має місце. Якщо виробник тепла і споживач один, то має місце економія енергоносіїв.

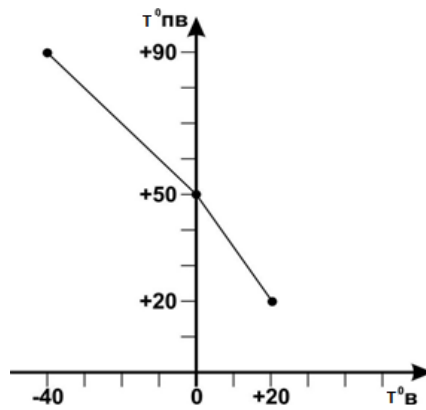


Рис. 3.8. Графік залежності температури теплоносія в контурі опалення від температури зовнішнього повітря

Також можлива корекція температури теплоносія в контурі опалення по часу доби та робочим і вихідним дням.

Температура може бути скоригована на коефіцієнт K для різного часу доби і вираховується за формулою:

$$T_{\text{зад}} = T'_{\text{вх}} + \frac{T'_{\text{вх}} K}{100}$$

Коефіцієнт K задається за допомогою меню для різних періодів доби (максимум вісім). Коефіцієнт K може змінюватись від -50% до +50% з дискретністю 5%.

Варіант погодинного графіку наведений на рис. 3.9, де $T_1 - T_8$ часові точки зміни графіка опалення. При проходженні часу через точку T коефіцієнт K приймає нове значення і зберігає його до проходження наступної точки.

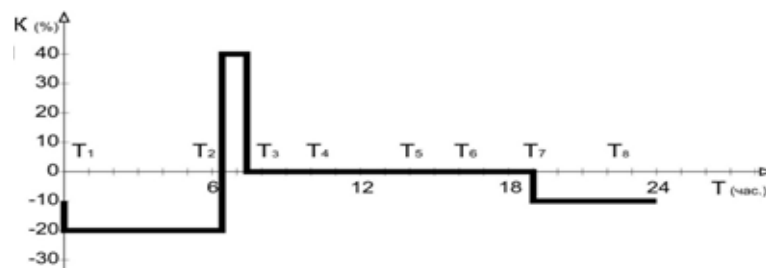


Рис.3.9. Погодинно – температурний графік.

В даному блоці було реалізовано два закони регулювання – дискретно імпульсний та пропорційно-інтегрально-диференційний (ПІД).

Годинно – температурний графік складається з восьми точок переходу, якщо бажана кількість точок переходу менше восьми, то на «зайвих» точках переходу значення коефіцієнта K не змінюється.

Для вихідних та робочих днів задаються свої годинно-температурні графіки. В адміністративних будівлях зазвичай устанавлюються вихідними всі суботи та неділі, а також державні свята України. При необхідності за допомогою меню можливо любий день зробити вихідним або робочим.

Використовуючи дану функцію можна зменшувати температуру в опалюваних приміщеннях в період відсутності людей, при цьому досягти значної економії енергоресурсів.

3.3 Принцип роботи реалізованого пропорційно-інтегрально-диференційного регулювання системи

Наладчик підтверджує чи коректує параметри налаштування ПІД регулювання, до яких відносяться: коефіцієнт пропорційності K_P , час інтегрування τ_I , час диференціювання τ_D , період керуючого імпульсу $\tau_{\text{імп}}$ (рис. 3.10). Прилад проводить опитування АЦП, визначає значення температури в даний момент після чого розраховується різниця температур ΔT між температурою розрахованою відносно теплового графіка та температурою теплоносія в системі. Далі БК визначає коефіцієнт підсилення пропорційний, який вираховується за формулою:

$$P_i = \Delta T K_P;$$

коефіцієнт підсилення інтегральний :

$$I_i = \sum_{i=0}^{i=\infty} \Delta T \frac{\tau_{\text{імп}}}{\tau_i} K_P ;$$

коефіцієнт підсилення диференційний:

$$D_i = (\Delta T_{i-1} - \Delta T_i) \frac{\tau_D}{\tau_{\text{имп}}} K_P.$$

Використовуючи вище визначені коефіцієнти розраховується тривалість імпульсу

$$\tau = P_i + I_i + D_i.$$

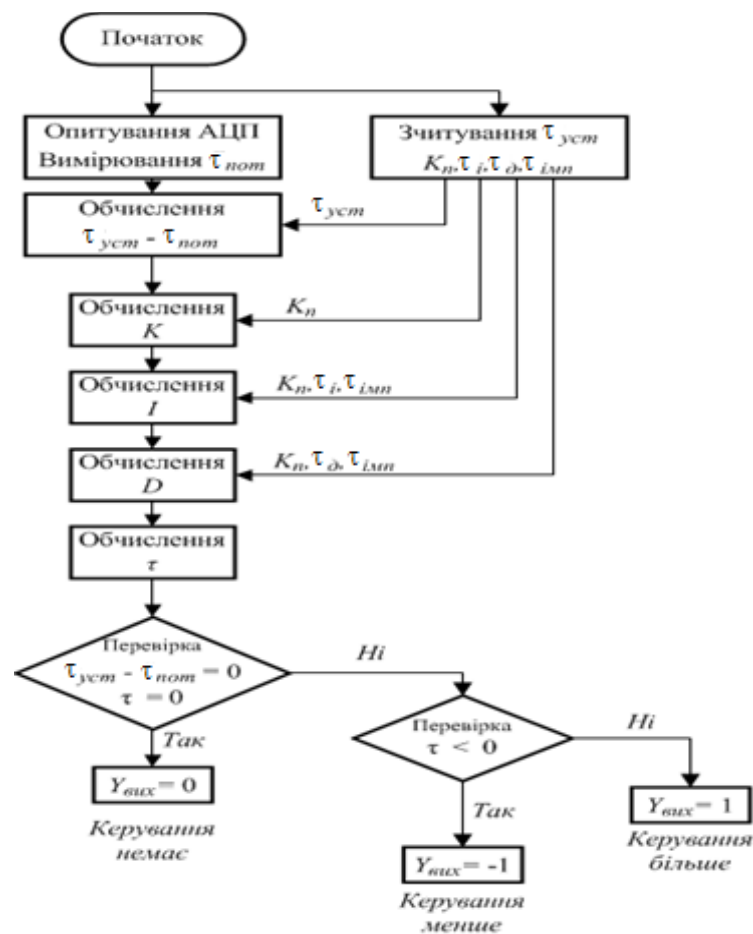


Рис. 3.10. Блок-схема алгоритму ПІД регулювання

Далі проводиться перевірка виконання умови: якщо $\Delta T = 0$ або $\tau = 0$, то керуючий сигнал на виконуючий пристрій не подається, якщо $\Delta t \neq 0$ і $\tau \neq 0$, то проводиться перевірка наступних умов: якщо $\tau > 0$, то керуючий сигнал подається на виконуючий пристрій для збільшення температури теплоносія в системі, якщо $\tau < 0$, то видається керуючий сигнал для зменшення температури теплоносія в системі.

3.4 Принцип роботи реалізованого дискретно імпульсного регулювання системи

Наладчик задає коефіцієнт нечутливості z_H , тривалість імпульсу $\tau_{\text{імп}}$ та тривалість паузи $\tau_{\text{паузи}}$ (рис. 3.11). Прилад проводить опитування АЦП, визначає значення температури $T_{\text{розр}}$ в даний момент після чого розраховується різниця температур ΔT між температурою відносно теплового графіка $T_{\text{розр}}$ та температурою теплоносія в системі $T'_{\text{вх}}$. Визначається зона нечутливості $\Delta z_H = [\Delta T \pm z_H]$. Після чого формується керуючий сигнал з заданою тривалістю імпульсу та тривалістю паузи.

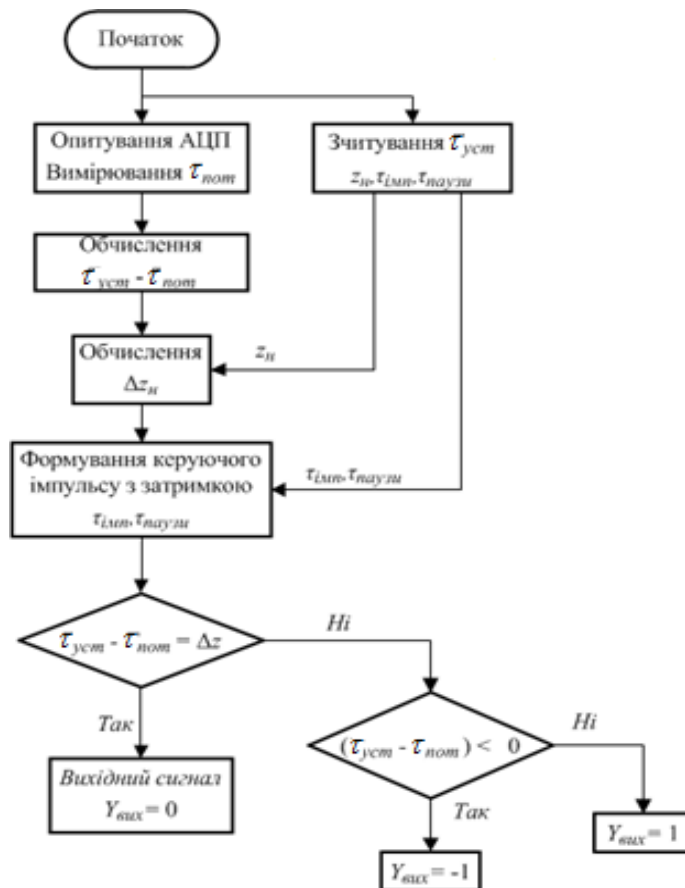


Рис. 3.11. Блок-схема алгоритму дискретно імпульсного регулювання

Перевіряється виконання умови: якщо $\Delta T = z_H$, то керуючий сигнал на виконуючий пристрій не подається; якщо $\Delta T \neq z_H$, то перевіряється

виконання наступної умови: якщо $\Delta T < 0$, то видається керуючий сигнал на виконавчий механізм для зменшення температури теплоносія в системі, якщо $\Delta T \neq 0$, то видається керуючий сигнал на виконавчий пристрій для збільшення температури теплоносія в системі.

3.5 Структура програмної забезпечення роботи системи

Структура програмного забезпечення (СПЗ) складається з окремих програмних модулів. Назва основних модулів та функції, які вони виконують, перераховані нижче:

`analog_sensor.cpp` – модуль призначений для керування аналого-цифрового перетворювача сигналів з датчиків температур, їх обробки та розрахунку температур;

`control.cpp` – модуль, в якому реалізовані всі функції керування приладу (ПД, ДІ та інші);

`counter_q.cpp` – модуль розрахунку кількості спожитого тепла;

`diagram.cpp` – модуль, в якому реалізовані функції добового керування;

`holiday.cpp` – модуль, в якому реалізовані функції керування в залежності від дня тижня;

`main.cpp` – основний модуль програмного забезпечення;

`menu_kiu.cpp` – модуль, в якому реалізовані функції вибору режиму роботи, редагування та обробки клавіатури;

`menu_v10.cpp` – модуль реалізації ієрархічного меню;

`modbus.cpp` – модуль, в якому реалізовані функції зовнішнього керування приладом по інтерфейсу MODBUS;

`nasos_v10.cpp` – модуль для реалізації функцій керування насосом;

`rdx0154.cpp` – модуль, в якому реалізовані низькорівневі функції відображення алфавітно-графічної інформації;

`sensor.cpp` – модуль для обробки дискретних зовнішніх датчиків;

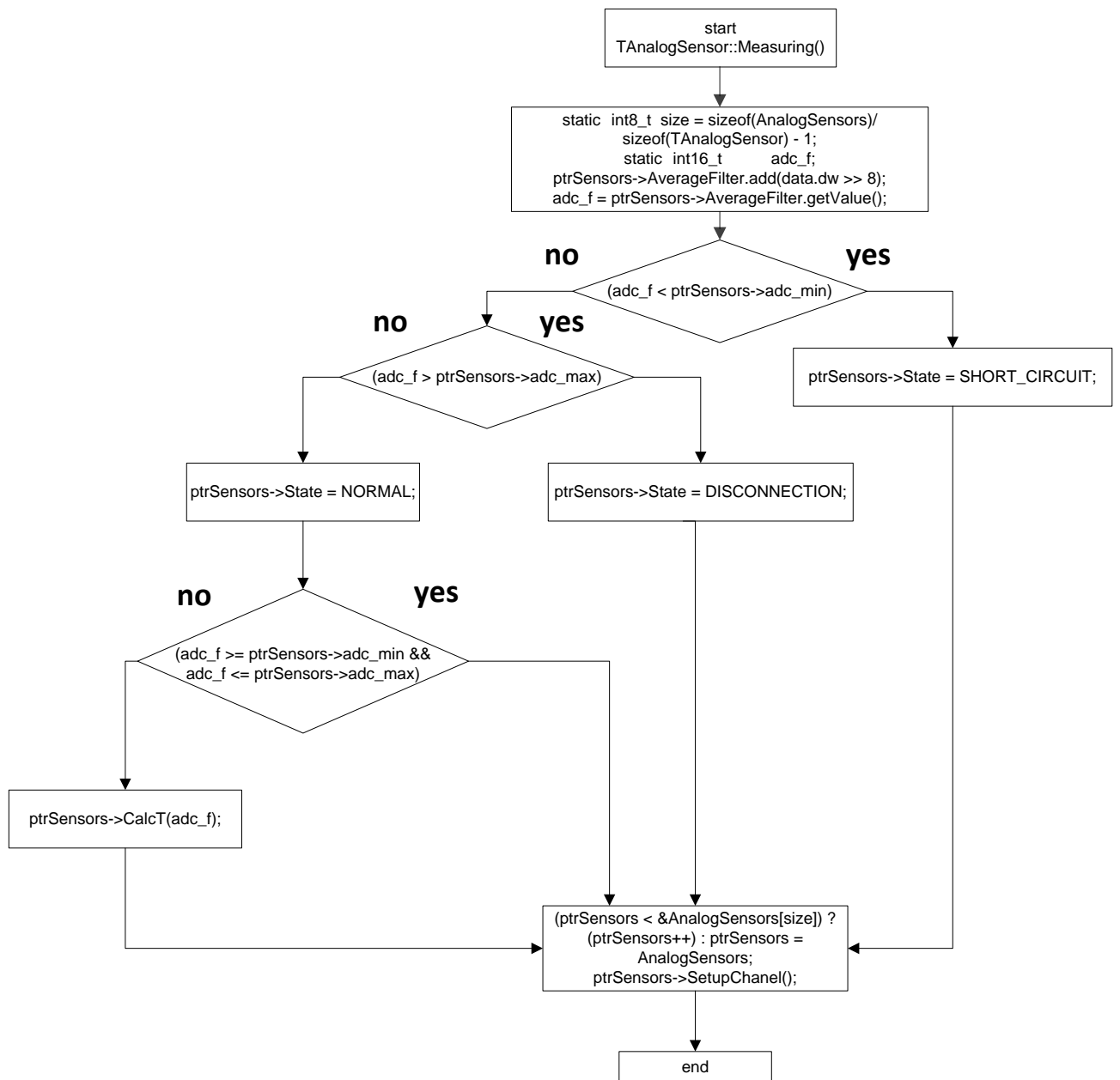


Рис. 3.12. Блок схема алгоритму вимірювання температур

При кожному виклику функції `TAnalogSensor::Measuring()`, блок схема алгоритму якого показана на рис. 3.12, дані отримані від аналого-цифрового перетворювача передаються до цифрового фільтру, де фільтруються. На виході фільтра отримуємо середнє значення коду температури, який далі перевіряється на граничні умови. Якщо отримані дані виходять за встановлені ліміти, то визначається відповідний тип помилки, котрий далі аналізується програмою. Якщо помилок немає, то розраховується поточна

температура відповідного датчика температури. Після цього встановлюється новий канал перетворення і функція закінчує роботу.

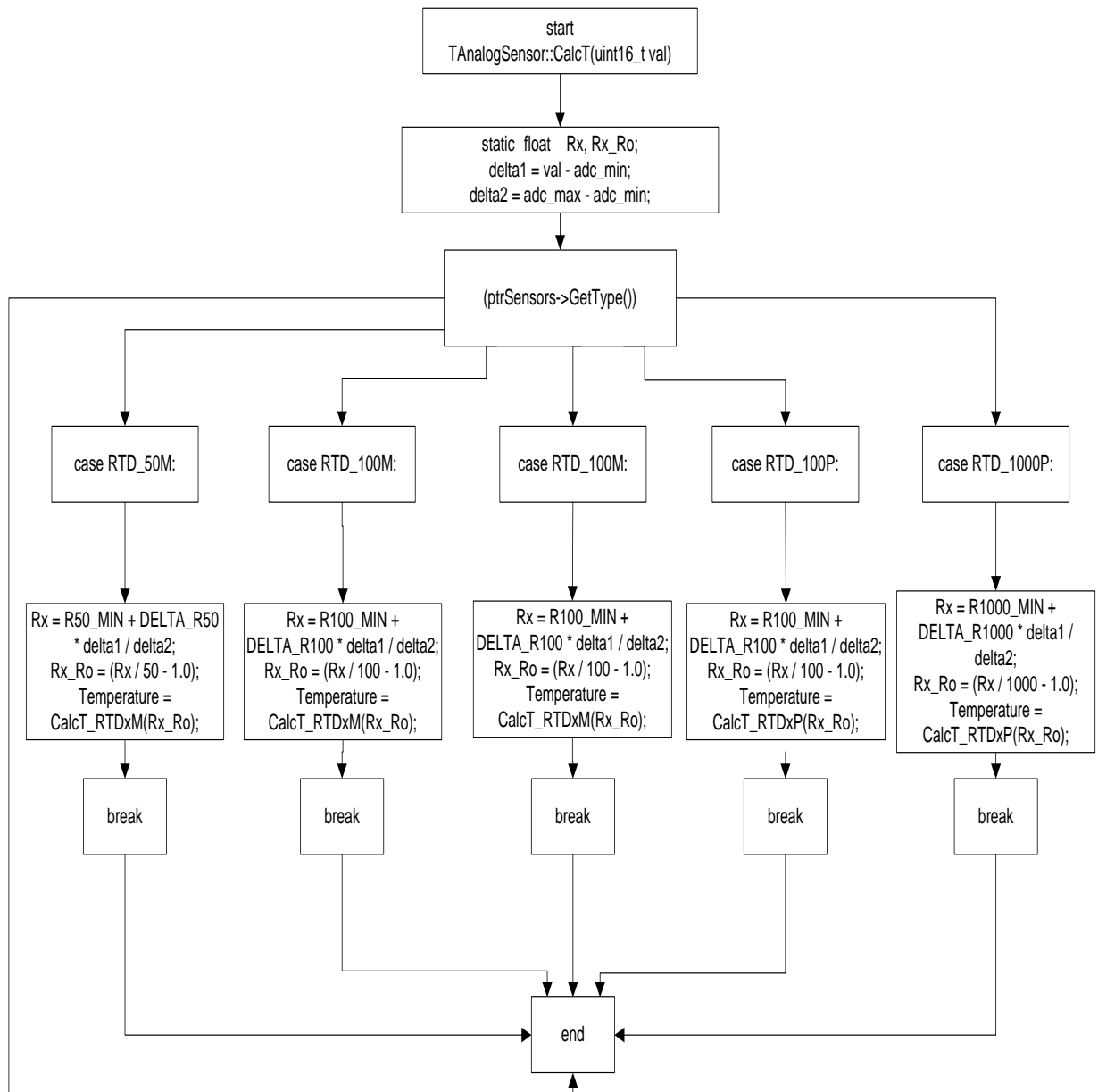


Рис. 3.13. Блок схема алгоритму розрахунку дійсної температури

Функція `TAnalogSensor::CalcT(uint16_t val)`, рис. 3.13, викликається в функції `TAnalogSensor::Measuring()` і призначена для обчислення поточної температури кожного датчика температури. Оскільки прилад може працювати з різними датчиками температури, то перед кожним розрахунком температури визначається тип датчика і відповідно типу датчика виконується розрахунок.

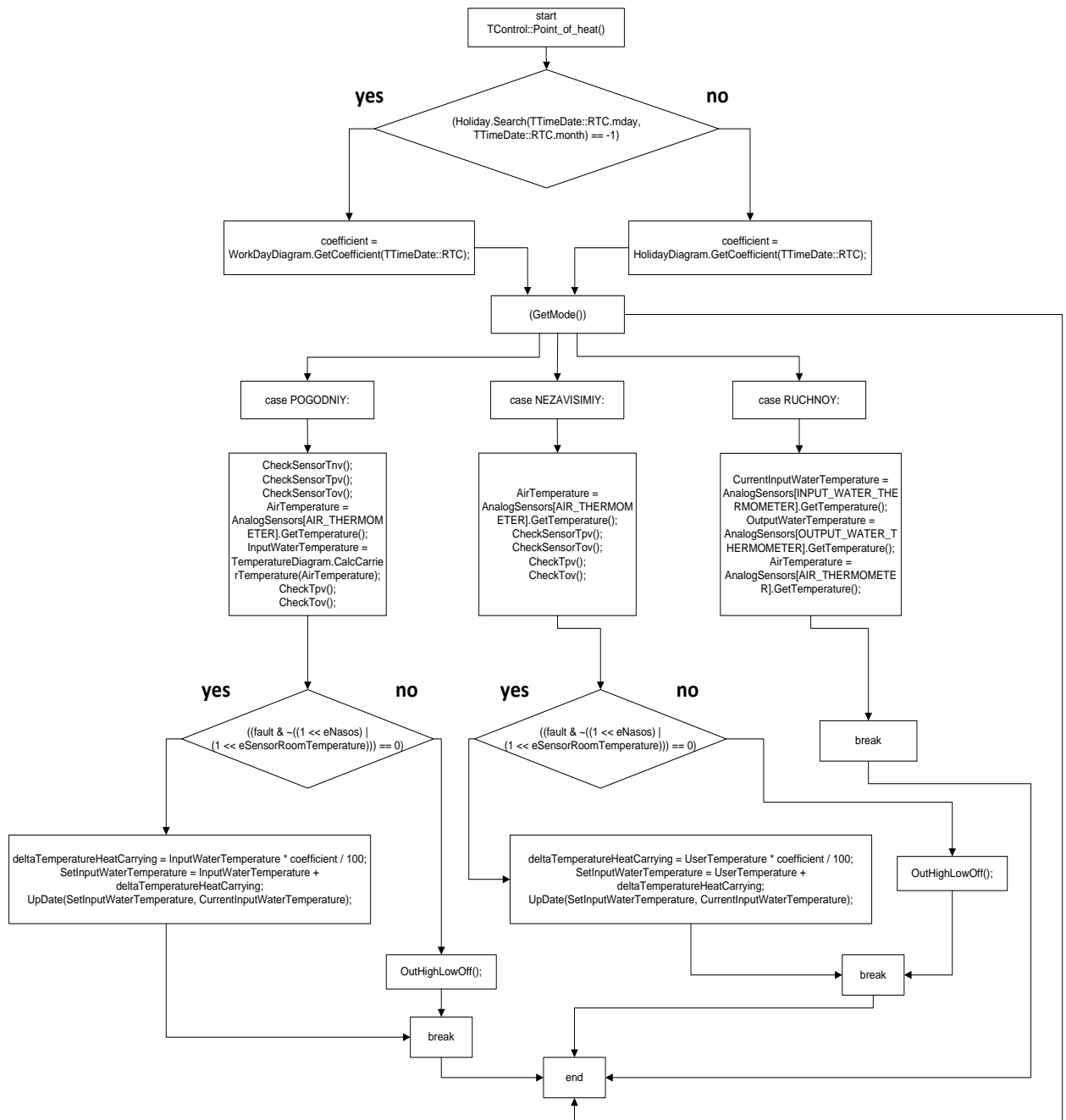


Рис. 3.14. Блок схема алгоритму керування тепловим пунктом (СКТ)

Функція `TControl::Point_of_heat()`, рис. 3.14, – це основна функція керування тепловим пунктом. При кожному виклику цієї функції спочатку перевіряється який поточний день тижня (робочий чи святковий) і потім, відповідно до цього, готуються дані для подальшої обробки. Далі визначається режим роботи приладу (погодний, незалежний або ручний). Згідно з режимом роботи формуються потрібні дані для цього режиму, які будуть використані в процесі керування (Додаток А).

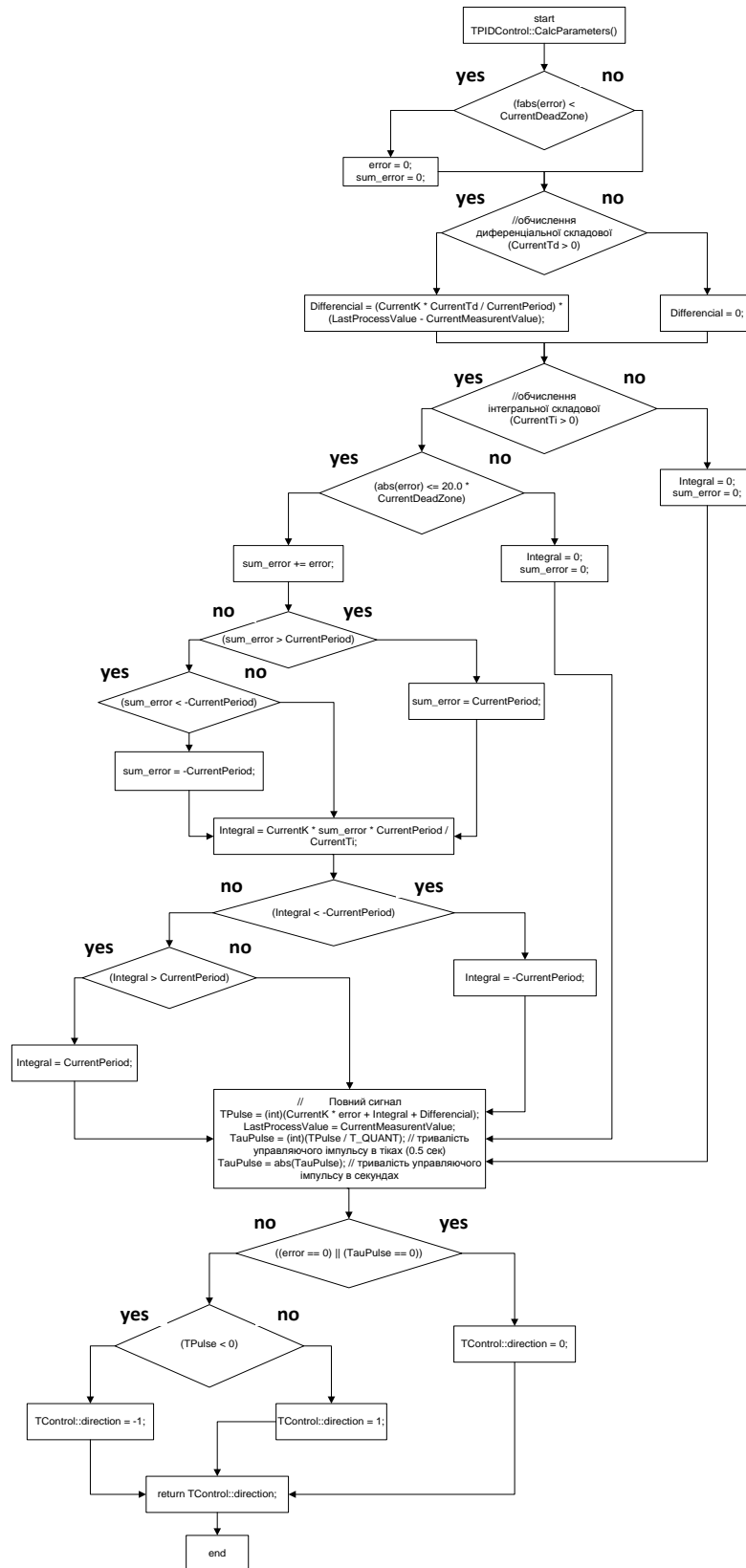


Рис. 3.15. Блок схема алгоритму ПІД регулятора

Функція `TPIDControl::CalcParameters()`, рис. 3.15, призначена для ПІД-регулювання. На основі даних, які були отримані в попередніх функціях,

розраховуються параметри регулятора: пропорційна, диференційна та інтегральні складові. Після цього розраховується значення і напрямок дії керуючого сигналу.

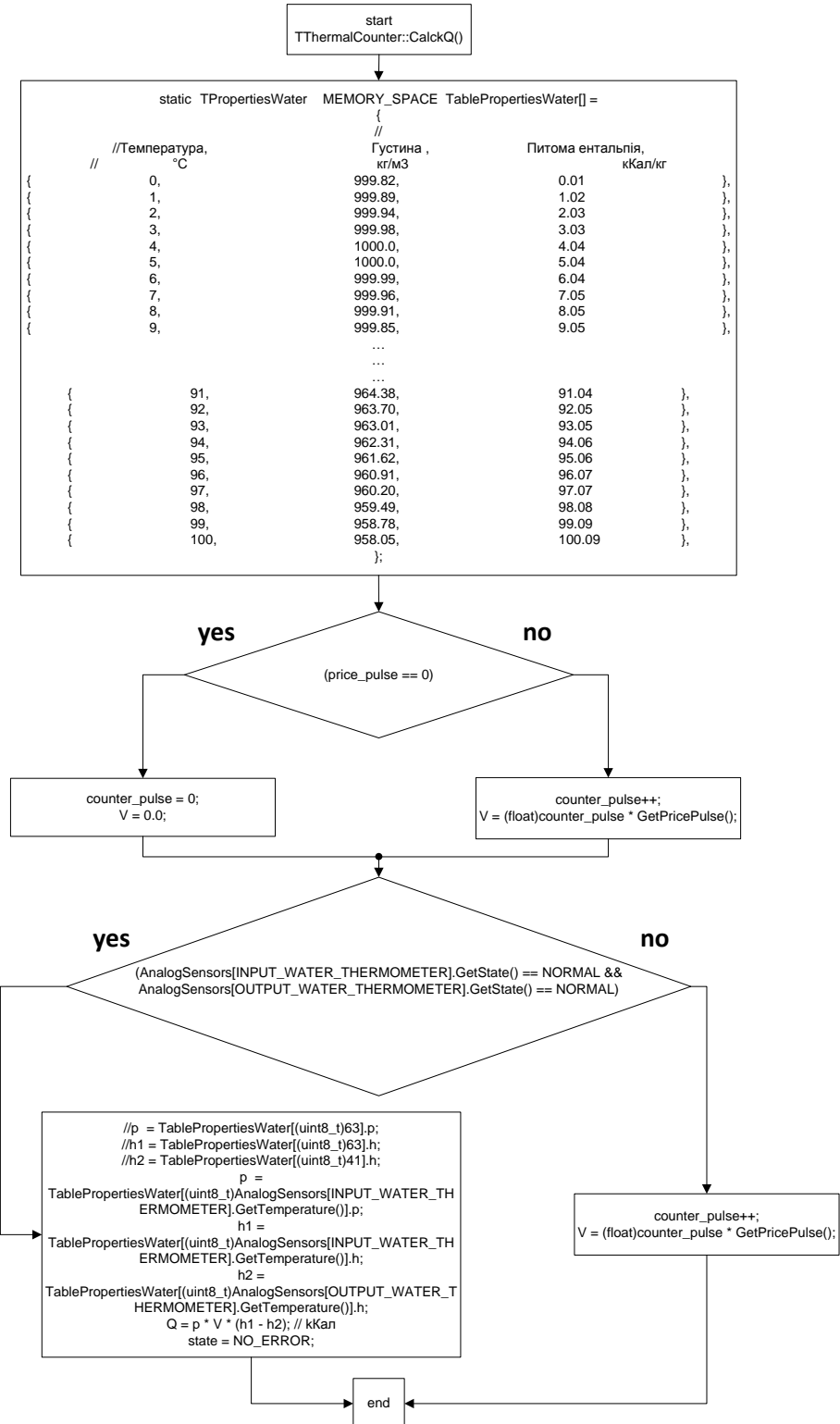


Рис. 3.16. Блок схема алгоритму розрахунку кількості тепла

Функція TThermalCounter::CalcQ(), рис. 3.16, виконується наступним чином. Якщо дозволено розрахунок спожитої кількості тепла, то збільшується лічильник часу і обчислюється об'єм спожитого носія, далі перевіряються відповідні датчики температури і, якщо вони працездатні, розраховується кількість спожитого тепла.

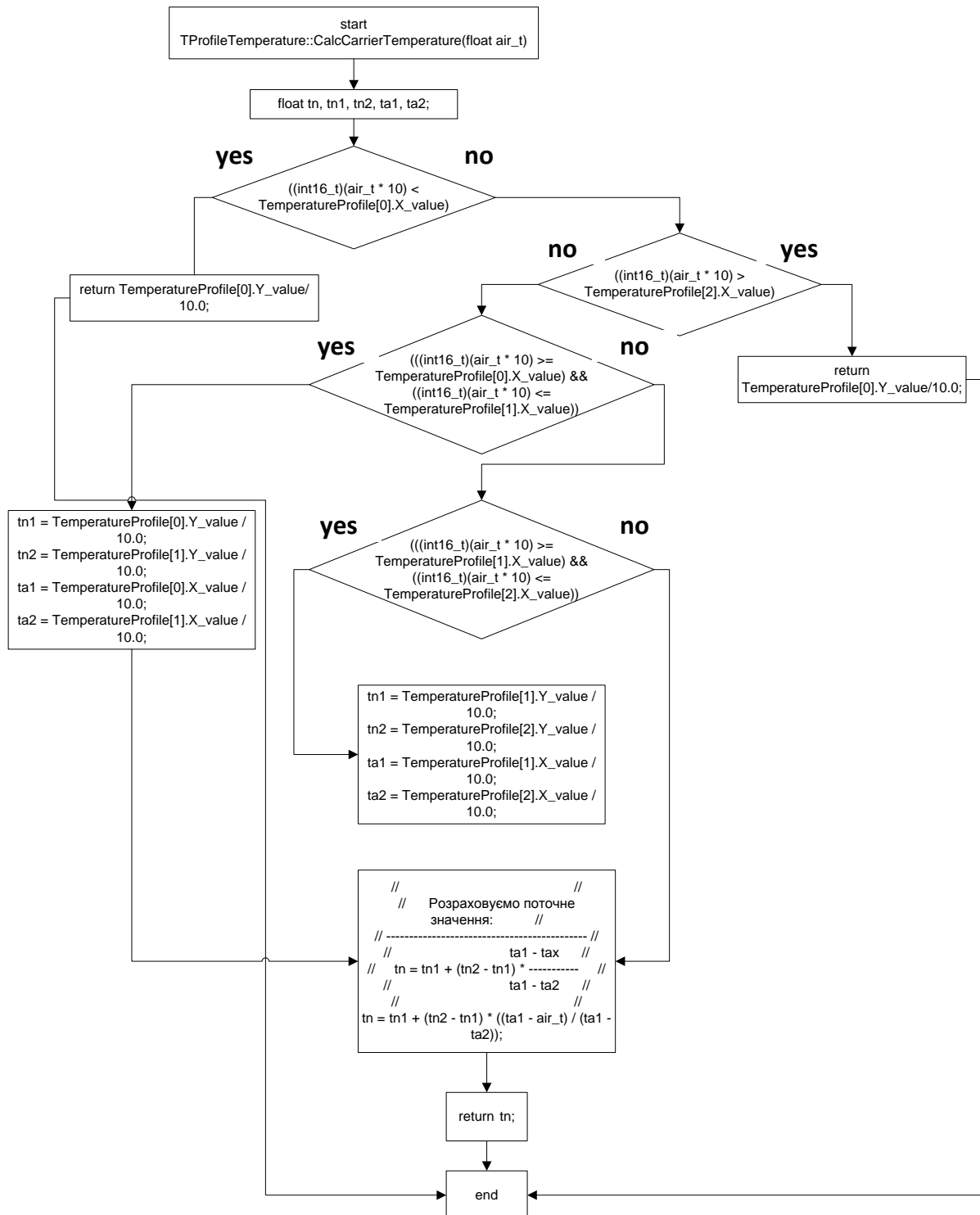


Рис. 3.17. Блок схема алгоритму розрахунку температури носія

Функція `TProfileTemperature::CalcCarrierTemperature(float air_t)`, рис. 3.17, призначена для розрахунку температури носія відповідно до температури повітря. По значенню температури повітря готується блок даних для лінійної інтерполяції. Після лінійної інтерполяції на виході функції маємо потрібну температуру носія, яку необхідно встановити і підтримувати.

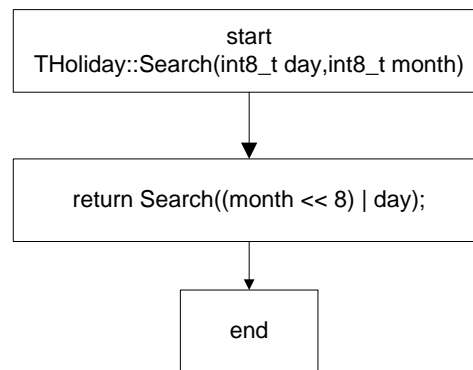


Рис. 3.18. Блок схема алгоритму пошуку святкових та неробочих днів в базі даних

Функція `THoliday::Search(int8_t day, int8_t month)`, рис. 3.18, призначена для пошуку святкових та неробочих днів в базі даних. Якщо відповідний день місяця є в базі даних, то функція вертає індекс бази даних, по якому зберігається цей день, а якщо такий день відсутній в базі даних, то функція вертає значення -1.

Функція `TProc3::exec()`, рис. 3.19, призначена для періодичного оновлення зображення на екрані приладу, отримання поточного часу та дати, сканування клавіатури та обробки натиснутої команди. Спочатку іде ініціалізація допоміжних пристроїв приладу та сигналів. Далі перевіряється сигнал від лічильника часу, і якщо він встановлений, то зчитуємо інформацію про поточний час та дату, а також перевіряємо чи не настав новий рік. Якщо настав новий рік, то розраховуємо всі святкові та неробочі дні для нього. Обнуляємо сигнал від лічильника часу. Після цього перевіряємо сигнал від клавіатури. Якщо сигнал від клавіатури встановлено, то обробляємо

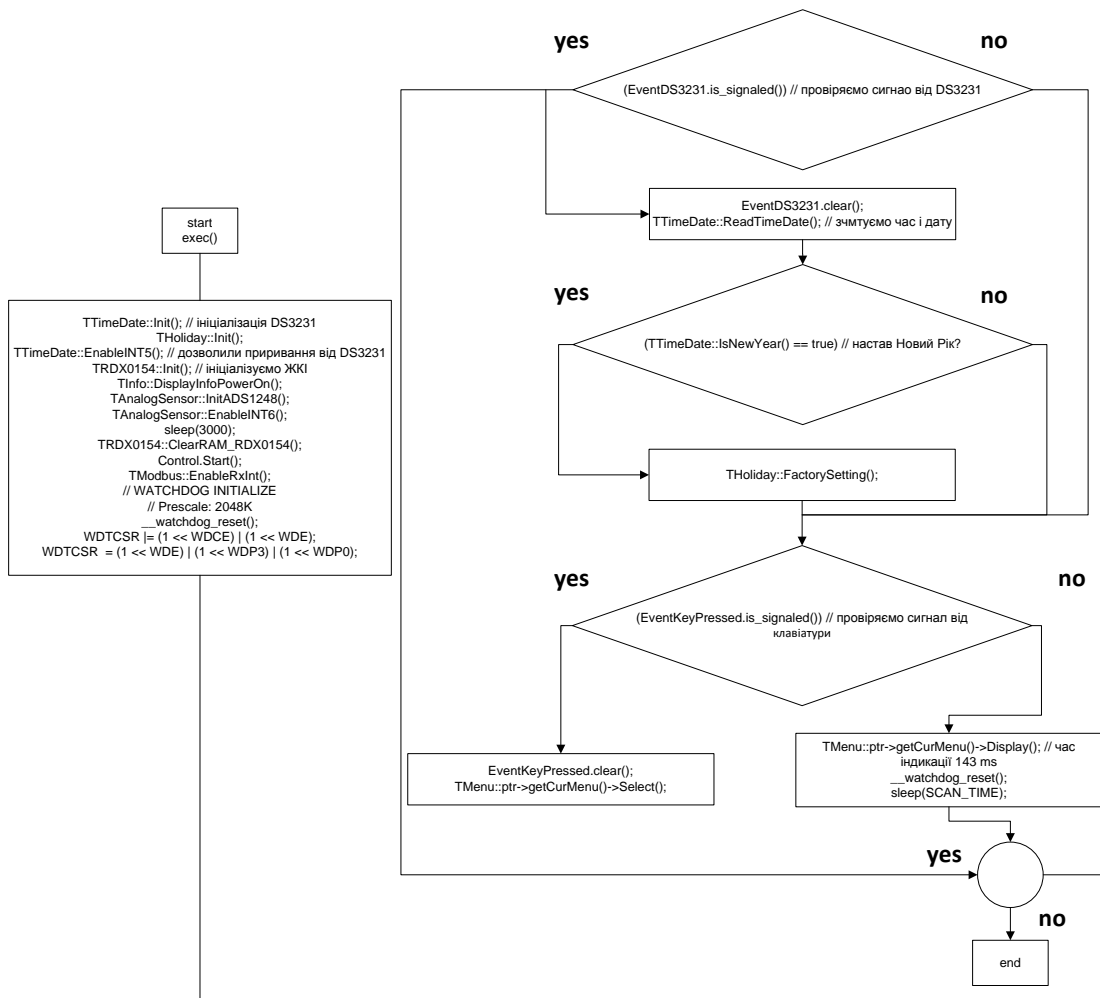


Рис. 3.19. Блок схема алгоритму індикації

натиснуту кнопку і обнуляємо сигнал від клавіатури. Далі виводимо на екран всю потрібну інформацію. Робимо затримку на певний час і знову переходимо на перевірку сигналу від лічильника часу. Цей процес продовжується нескінченно.

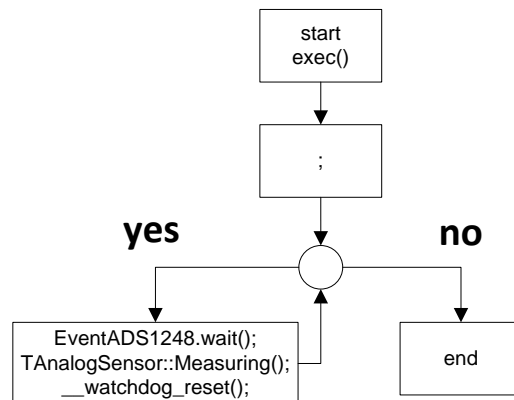


Рис. 3.20. Блок схема алгоритму сканування датчиків температур

Функція TProc2::exec(), рис. 3.20. Робота цієї функції починається з того, що очікується сигнал з аналого-цифрового перетворювача. Коли сигнал отриманий, то викликається функція вимірювання температур TAnalogSensor::Measuring(). Після цього знову переходимо на очікування сигналу від аналого-цифрового перетворювача.

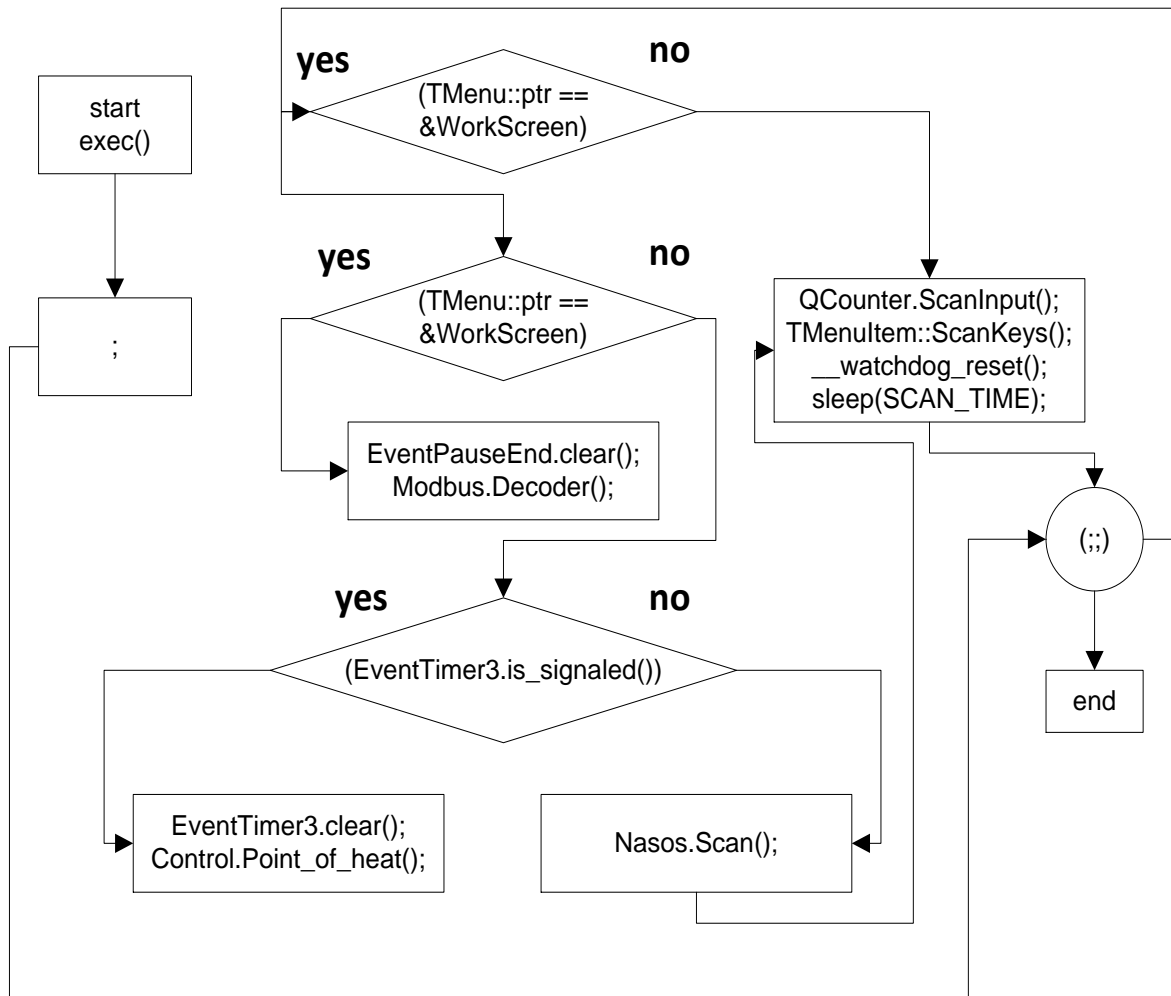


Рис. 3.21. Блок схема алгоритму обробки внутрішніх сигналів програми

Функція TProc1::exec(), рис. 3.21. Робота функції починається з аналізу стану роботи приладу, якщо це робочий стан, то виконуються функції обробки даних для інтерфейсу MODBUS і керування (розрахунок температури носія, аналіз стану насоса). Після цього сканується датчик лічильника об'єму і клавіатура. Сканування датчика лічильника об'єму і клавіатура виконується завжди незалежно від стану роботи приладу.

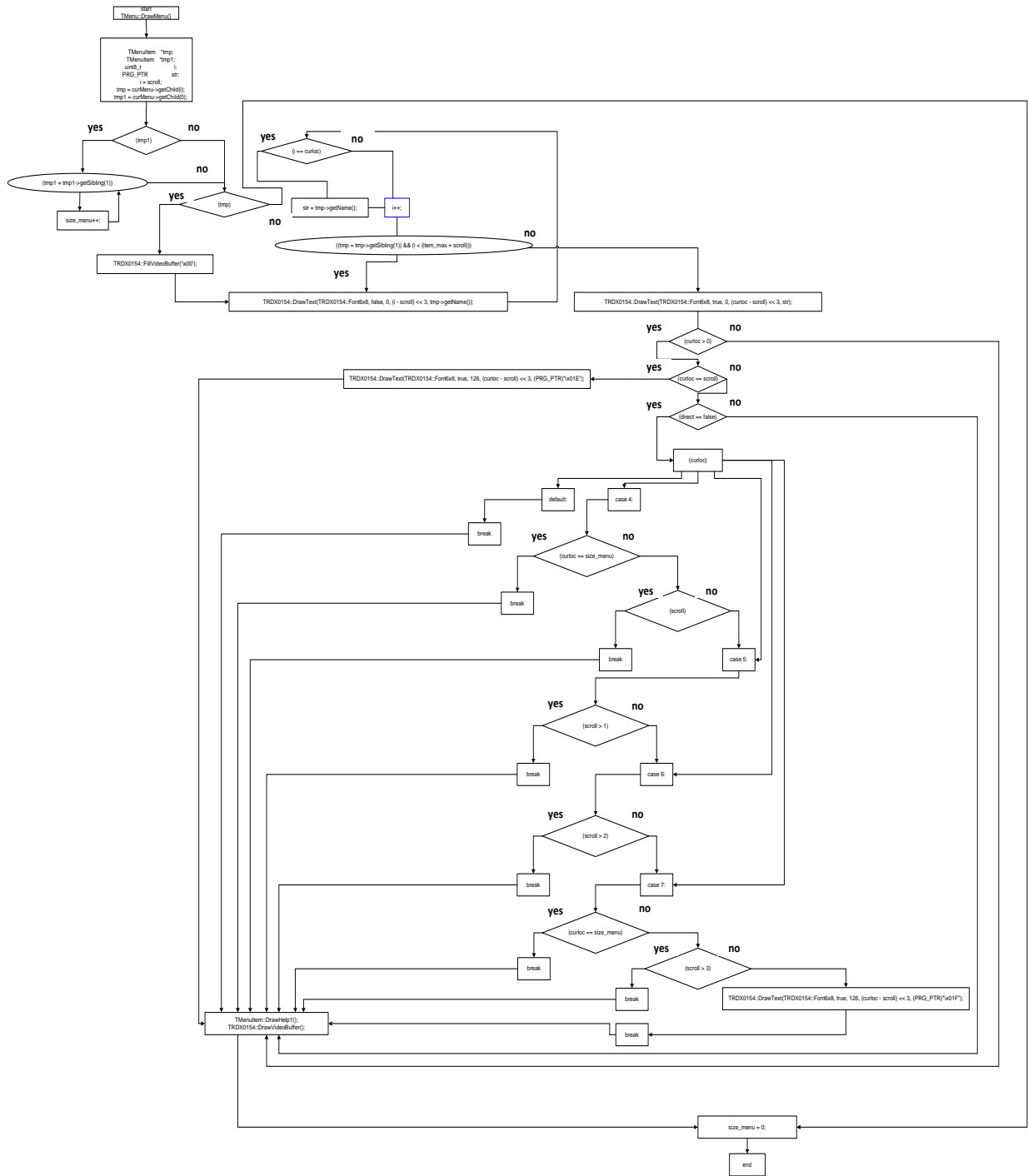


Рис. 3.22. Блок схема алгоритму індикації меню

Функція TMenu::DrawMenu(), рис. 3.22. Ця функція призначена для малювання меню. Спочатку в цій функції обчислюється розмір всього меню (кількість рядків). Після цього на екран приладу виводиться та кількість рядків меню, яка була розрахована раніше і позначається (інвертується) той рядок меню, на який переходимо за допомогою клавіш «ВГОРУ» або «ВНИЗ».

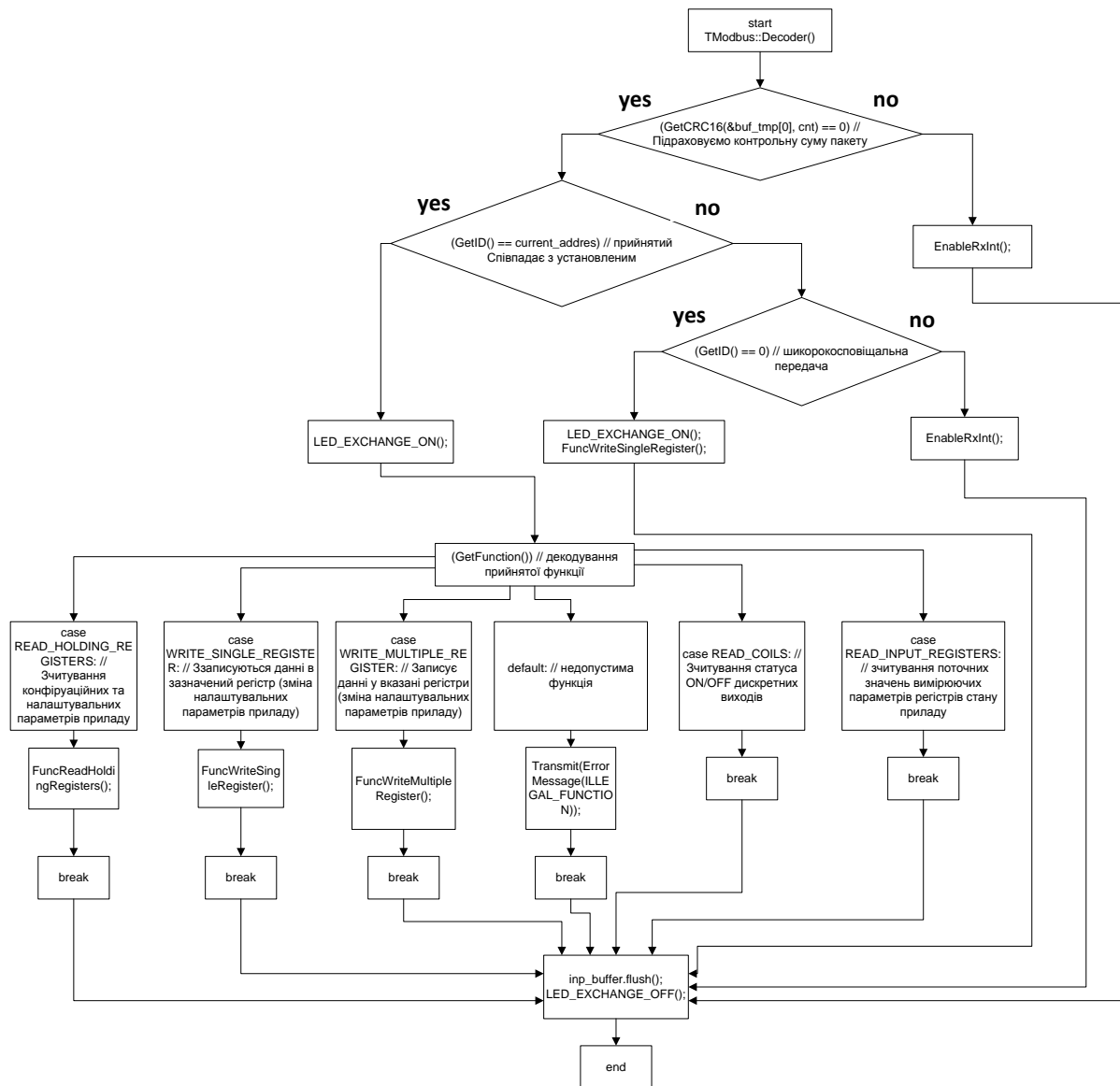
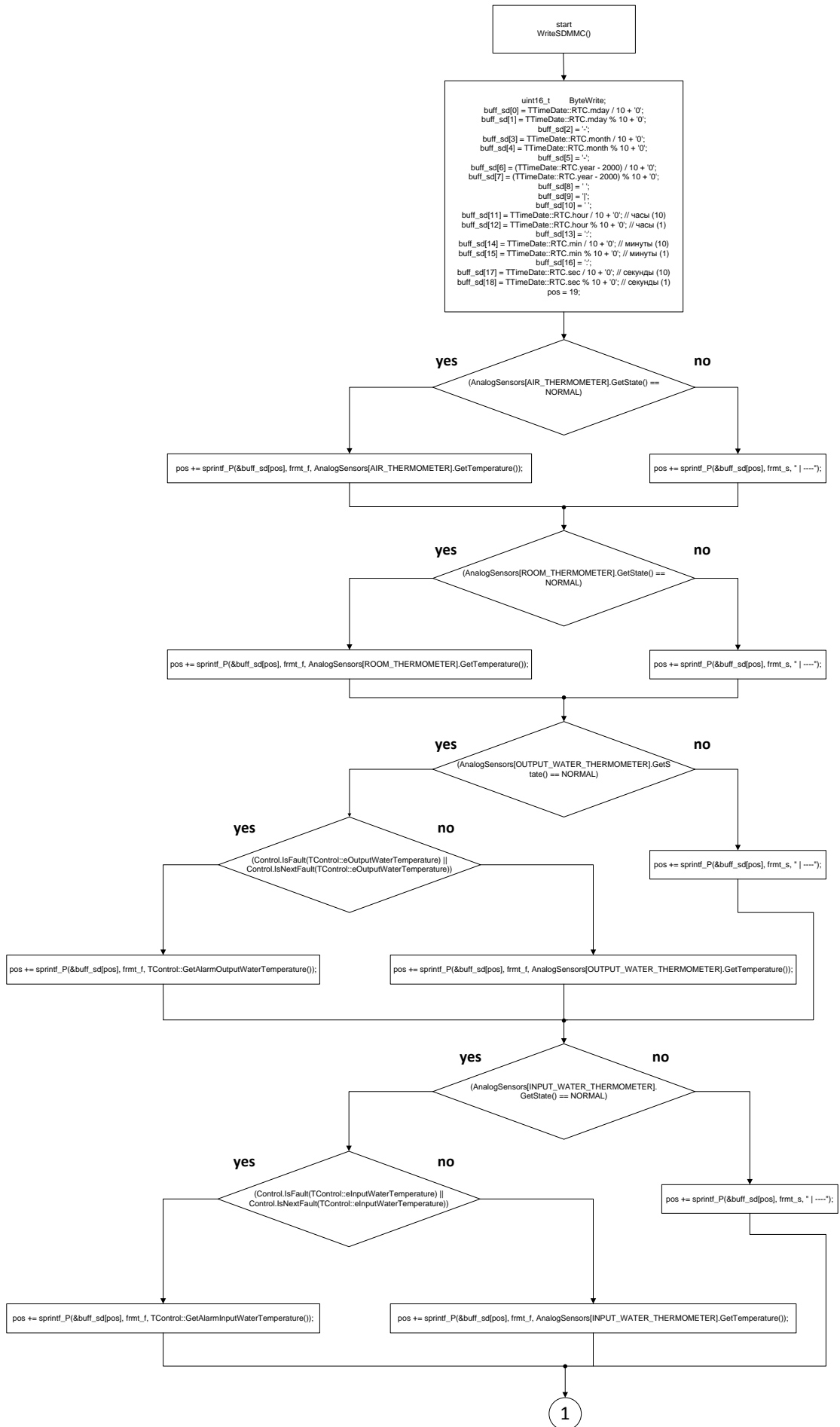


Рис. 3.23. Блок схема алгоритму обробки даних по інтерфейсу MODBUS

Функція `TModbus::Decoder()`, рис. 3.23, виконує функції декодування інформації, яку прилад отримав по інтерфейсу MODBUS. Якщо контрольний додаток прийнятого пакету даних дорівнює додатку, який міститься в пакеті, то виконуються наступні дії – якщо в прийнятому пакеті даних адрес приладу відповідає адресу приладу, який йому встановлено, то даний пакет декодується і виконуються відповідні дії – формується повідомлення згідно з номером отриманої функції або помилки і передається програмі вищого рівня. Якщо при прийомі пакету виникають помилки, або пакет передається іншому приладу, то ніяка інформація не передається і прийнятий пакет даних ігнорується.



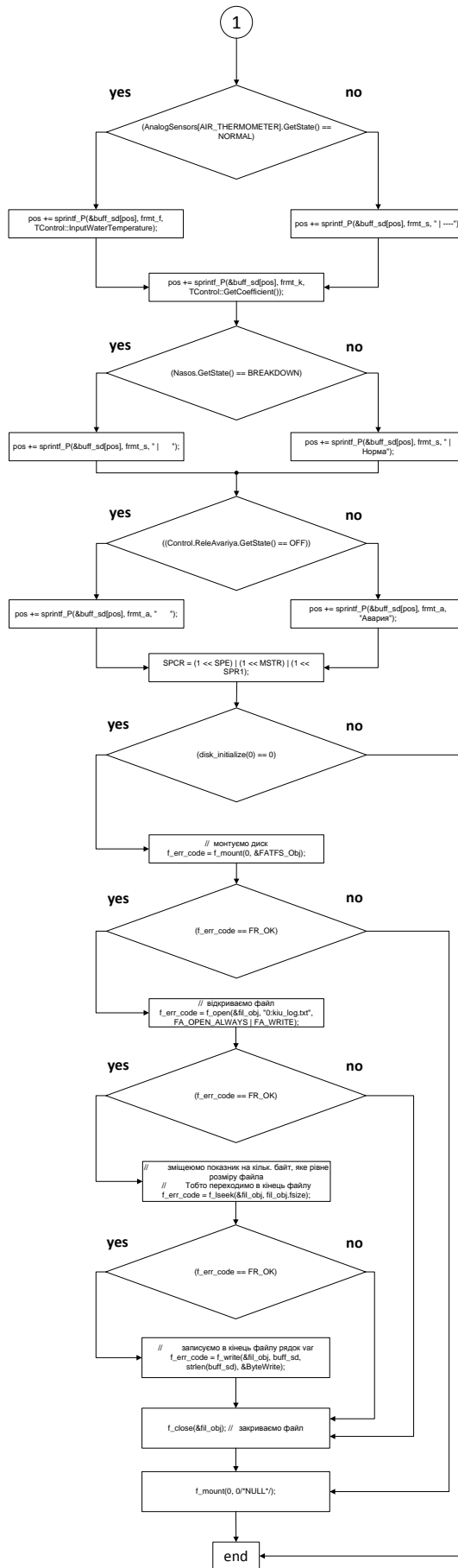


Рис. 3.24. Блок схема алгоритму запису даних на картку пам'яті

Функція WriteSDMMC(), рис. 3.24, виконує функції запису поточного стану приладу. Спочатку формується масив даних, в якому розміщується інформація про поточний час, стан приладу (аварія чи нормальний стан), всі температури, які задіяні в процесі керування, стан роботи насосу. Після цього цей масив за допомогою допоміжної функції записується на картку пам'яті.

3.6 Алгоритм роботи системи за мінімакним критерієм оптимізації

Розглянуто критерії оптимізації: найменших квадратів, граничних точок, середнє квадратичне відхилення та мінімакний [76, 77]. Було обрано мінімакний критерій оптимізації, оскільки цей критерій використовується для повільно-змінних процесів, для наближення в інших методах потрібно використовувати 3-4 порядок, а також можливість регулювання якісно-кількісним методом.

В ході опалювального процесу можливе виникнення ситуації, коли опалювальних потужностей може не вистачати для своєчасного та енергоефективного виходу на задану температуру в приміщенні після пониження температури згідно добового графіка на заданий рівень. Для усунення таких економічно не вигідних та дискомфортних перекосів був розроблений наступний мінімакний алгоритм опалення в умовах недостатніх потужностей теплогенеруючого обладнання, який реалізовано двома методами.

Перший метод використовується у випадку, коли проектна документація на споруду відсутня, споруда експлуатується досить довго і її теплофізичні дані є невідомими, оскільки з часом матеріали будівлі втрачають свої теплофізичні властивості:

Вихідні дані:

1. Функція залежності коефіцієнта максимального добового зниження температури від коефіцієнту надлишку потужності теплогенеруючого обладнання:

$$K_{\text{доб.макс}} = f(K_{\text{пот.макс}}),$$

де $K_{\text{доб.макс}}$ – максимально допустимий коефіцієнт добового зниження температури;

$$K_{\text{пот.макс}} = (P_{\text{пот}} - P_{\text{макс}})/P_{\text{пот}},$$

де $P_{\text{пот}}$ – поточна потужність, котру споживає споруда при коефіцієнті добового зниження температури рівному одиниці, отримується з теплотічильника вбудованого в керуючий контролер; $P_{\text{макс}}$ – максимально можлива потужність, яку можна отримати від теплогенеруючого обладнання на момент розрахунку

$K_{\text{пот.макс}}$ вимірюється в процесі роботи (експериментально). Функція залежності коефіцієнта максимального добового зниження температури від коефіцієнту надлишку потужності теплогенеруючого обладнання була отримана шляхом дослідження характеристик споруди при різних температурах зовнішнього середовища. В залежності від ефективності системи опалення та теплоізоляції споруди вона може змінюватись і задається у вигляді таблиці для різних температур. Наприклад, як в табл. 3.2:

Таблиця 3.2

Залежність коефіцієнта максимального добового зниження температури від коефіцієнту надлишку потужності теплогенеруючого обладнання (приклад)

	T1	T2	T3	...	Tn
$K_{\text{пот.макс}} 1$	1,08	1,07	1,04		1,04
$K_{\text{пот.макс}} 2$	1,05	1,07	1,06		1,03
...					
$K_{\text{пот.макс}} n$	1,04	1,03	1,06		1,05

2. Період вимірювання $P_{\text{макс}}$ – задається оператором при налазці системи.

3. Час повного ходу виконавчого механізму - задається оператором при наладці системи.

4. Температура зовнішнього середовища – вимірюється в процесі роботи.

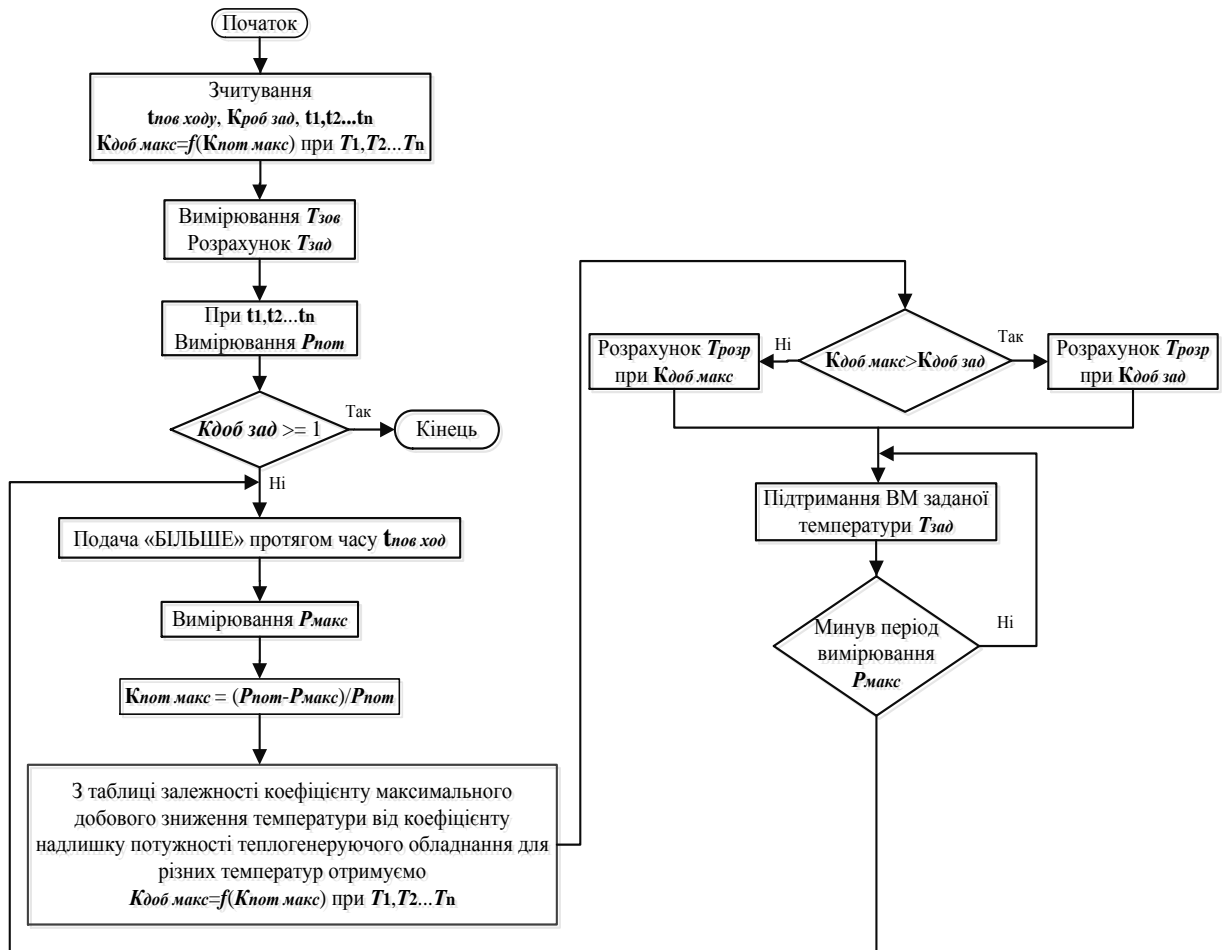


Рис. 3.25. Алгоритм роботи мінімаксного критерію для першого методу

Алгоритм роботи (рис. 3.25): при настанні часу зміни температури носія згідно добового графіка система вимірює максимально можливу потужність, яку може видати теплогенеруюче обладнання. Для цього:

– на виконавчий пристрій подається керуючий імпульс «ВІДКРИТИ» протягом часу повного ходу виконавчого механізму. Це гарантує повне відкриття регулюючого клапана;

– вимірюється миттєва потужність, що надходить від теплогенеруючого обладнання;

– розраховується $K_{\text{пот.макс}}$;

– вимірюється зовнішня температура;

– по таблиці визначається $K_{\text{доб.макс}}$;

– якщо $K_{\text{доб.макс}} > K_{\text{доб.зад}}$ в подальшій роботі керуючого контролера використовується $K_{\text{доб.зад}}$, якщо $K_{\text{доб.макс}} < K_{\text{доб.зад}}$ в подальшій роботі керуючого контролера використовується $K_{\text{доб.макс}}$.

– вимірювання миттєвої потужності, що надходить від теплогенеруючого обладнання, та корегування $K_{\text{доб.макс}}$ проводиться з періодичністю, що задається оператором при налазці системи;

– корегування добового коефіцієнта $K_{\text{доб.зад}}$ по мінімаксному алгоритму проходить до тих пір, поки $K_{\text{доб.зад}} \geq 1$, мінімаксний алгоритм корегування добового коефіцієнта $K_{\text{доб.зад}}$ відключається, керуючий контролер переходить у штатний режим роботи.

Другий метод використовується у випадку, коли є проектна документація і теплофізичні дані будівлі відомі або у випадку коли будівля експлуатується досить довго (матеріали будівлі втратили свої теплофізичні властивості), але було проведено теплофізичний моніторинг будівлі.

Алгоритм роботи (рис. 3.26) можливий тільки у випадку, коли всі параметри будівлі відомі і справедлива формула (3.2)

$$\tau = \beta \ln \frac{T'_{\text{зад}} - T_{\text{зовн}} - Q_0/q_0V}{T_{\text{вн}} - T_{\text{зовн}} - Q_0/q_0V}, \quad (3.2)$$

де τ – час виходу системи на задану температуру, β – коефіцієнт теплової акумуляції будівлі, $T'_{\text{зад}}$ – задана температура в будівлі, Q_0 – кількість теплоти, підведена на опалення в одиницю часу, q_0V – питомі тепловтрати будівлі за одиницю часу при умові $(T_{\text{вн}} - T_{\text{зовн}}) = 1^\circ\text{C}$.

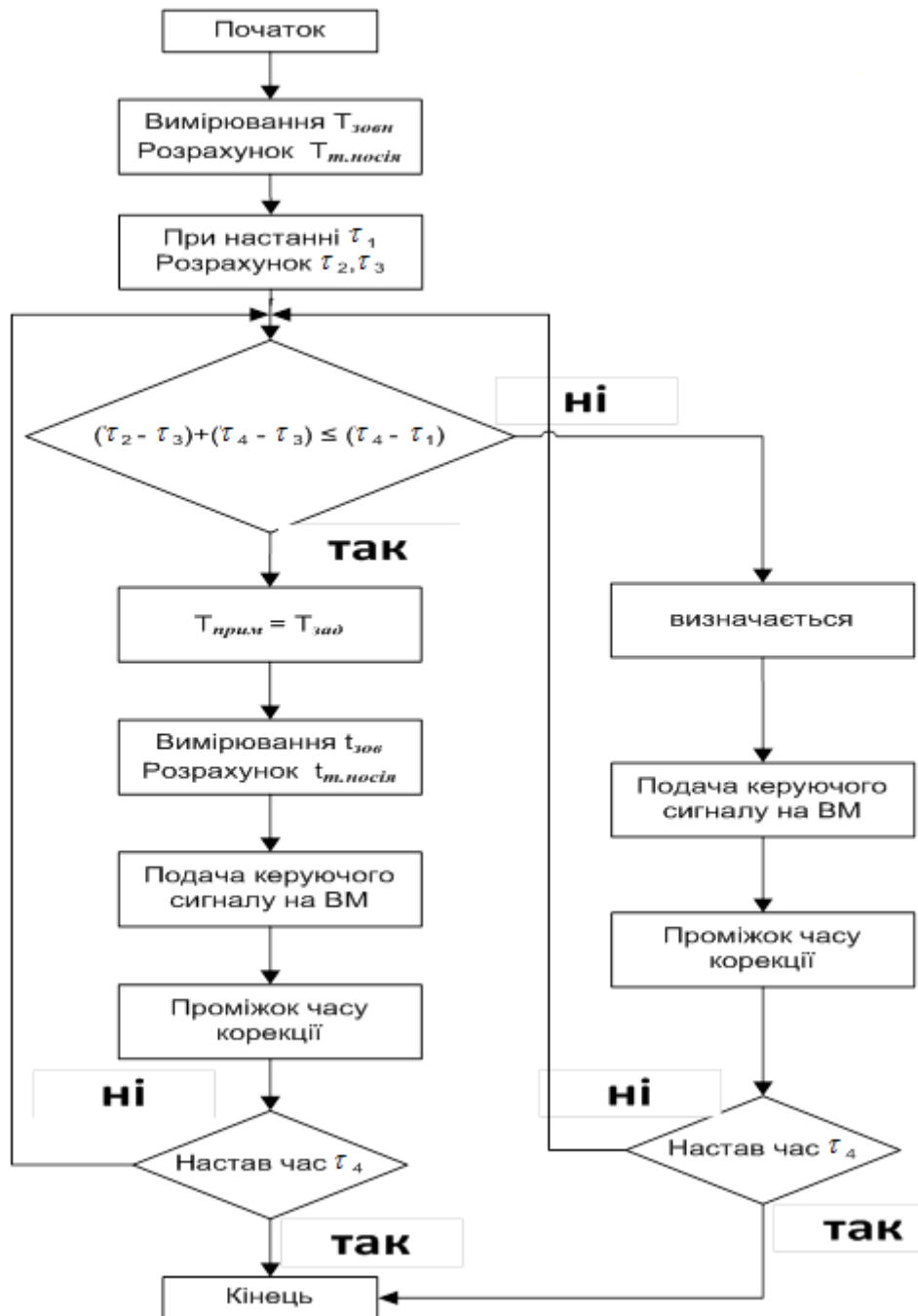


Рис. 3.26. Алгоритм роботи мінімаксного критерію для другого методу

При настанні моменту часу τ_1 розраховуємо по формулі (3.2) періоди $\tau_2 - \tau_1$ та $\tau_4 - \tau_3$. У випадку якщо $(\tau_2 - \tau_1) + (\tau_4 - \tau_3) \leq (\tau_4 - \tau_1)$, то графік зниження внутрішньої температури повітря матиме вигляд як на рис. 3.27, в протилежному випадку – рис. 3.35. При роботі по рис. 3.34 T_1 задається оператором, момент часу τ_3 розраховується по формулі (3.2). При роботі по рис. 3.28 момент часу $\tau_3 = \tau_2$ і розраховується за формулою (3.2).

З періодичністю заданою оператором необхідно проводити корекцію всіх параметрів, щоб урахувати зміни температури зовнішнього середовища.

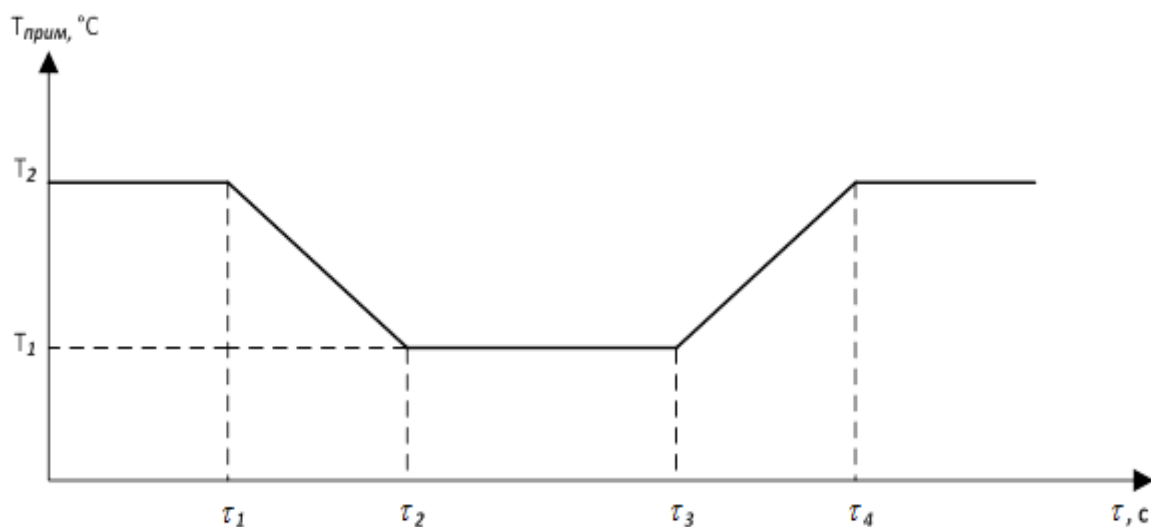


Рис. 3.27. Графік зниження внутрішньої температури повітря при достатній потужності теплогенеруючого обладнання або подачі теплоносія, при малій величині теплоємності будівлі;

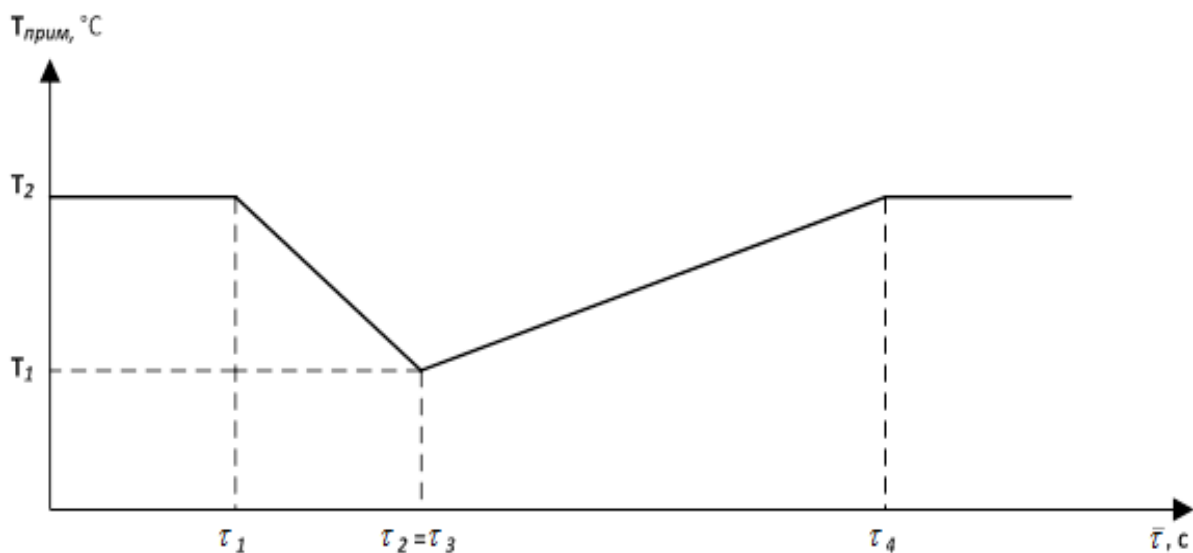


Рис. 3.28. Графік зниження внутрішньої температури повітря при недостатній потужності теплогенеруючого обладнання або подачі теплоносія, при великій величині теплоємності будівлі:

T_1 – температура, до якої можна змінити температуру в приміщенні в рис. 3.25 – задана, в рис. 3.26 – мінімальна розрахована; T_2 – температура

приміщення в робочий час; τ_1 – час початку зниження температури; $\tau_2 - \tau_3$ – період підтримання пониженої температури; τ_4 – час початку підвищення температури.

Висновки до розділу 3

1. Проведено порівняння методів регулювання систем. Перевагу надано регулюванню за збуренням, оскільки воно проводиться за основними визначальними режимами теплоспоживання споруд (температура зовнішнього повітря, швидкість вітру, сонячна радіація). Вплив локальних, випадкових факторів на температуру повітря в тому або іншому приміщенні на процес керування не враховується.

2. Розроблено алгоритм роботи блоку керування системи з сонячними колекторами та його функціональну схему на основі чого створено блок керування, в якому реалізовано два закони регулювання – дискретно імпульсний та ПД.

3. Розроблено алгоритм керування теплоспоживанням з оптимізацією процесу регулювання за мінімаксімним критерієм, який дозволив не тільки використання мінімального споживання енергії для підтримання комфортної температури в приміщеннях при знаходженні там людей, а й підтримання мінімально допустимої температури під час їх відсутності в залежності як від зовнішньої температури, так і, що важливо, від максимального потенціалу енергії зовнішнього централізованого теплопостачання та від сонячних колекторів.

4. Розроблено програмне забезпечення блоку керування, яке включає наступні операції: вимірювання значень температури, розрахунок заданої температури, розрахунок кількості теплоти та температури теплоносія, пошуку святкових та неробочих днів в базі, сканування датчиків температур, опрацювання внутрішніх сигналів програми, опрацювання даних по інтерфейсу MODBUS, записування даних на картку пам'яті.

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНИХ СИСТЕМ

В залежності від характеру теплового навантаження абонента і режиму роботи теплової мережі вибираються схеми приєднання абонентських установок до теплової мережі [78, 79]. В розділі показані різні схеми приєднання абонентів до водяної теплової мережі, направлені на ефективне використання енергетичних ресурсів і на додаткове залучення відновлюваних джерел енергії [80-84]. В залежності від технічних умов на тепlopостачання об'єкту вибирається відповідно і обладнання СКТ, включно з теплообмінниками, яке відповідає максимальній енергоефективності роботи об'єкту теплоспоживання.

Підключення по залежній схемі, найбільш розповсюджене на теперішній час, забезпечує надходження самої мережної води в систему опалення. При цьому регулювання температури води, що поступає в систему опалення, забезпечується за рахунок змішування із зворотною водою за рахунок зміни коефіцієнту підмішування.

Незалежна схема підключення основана на створенні власного (незалежного) водяного контуру опалення будівлі, котрий пов'язаний з контуром теплоносія котельної, через теплообмінник, який забезпечує передачу тепла від мережної води, але виключає проникнення самої мережної води до внутрішньої системи теплоспоживання будівлі.

Регулювання температури води в незалежному (вторинному) контурі проводиться за рахунок зміни витрати теплоносія в первинному контурі теплообмінника.

Вибір схеми підключення до теплової мережі, як правило, пов'язане з гідравлічними характеристиками самої мережі. Так при низькому перепаді тиску між прямим і зворотнім трубопроводом подаючої тепломережі, використання теплообмінника (незалежна схема) не є можливим через значне падіння тиску на ньому.

Нижче наведені приклади різних впроваджених СКТ (Додаток Б), зазначені їх переваги та недоліки.

4.1 Система із пластинчастим теплообмінником

Система із пластинчастим теплообмінником була реалізована в системах теплоспоживання корп. №1 ІТТФ НАН України та адміністративному корпусі ДП «НТЦ новітніх технологій» НАН України. Підключення до системи тепlopостачання виконане по незалежній схемі (Рис. 4.1, 4.2).

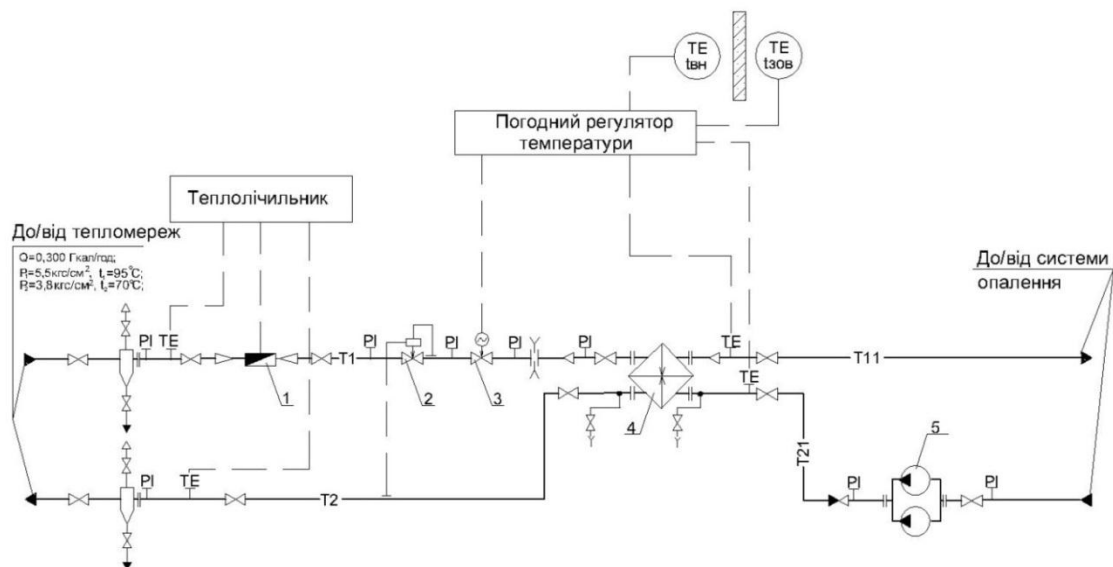


Рис. 4.1. Теплова схема СКТ з пластинчастим теплообмінником:

1 – витратомір, 2 – регулятор перепаду тиску, 3 – регулюючий клапан, 4 – теплообмінник, 5 – циркуляційні насоси, ТЕ – датчики температури, PI – манометри



Рис. 4.2. Зовнішній вигляд СКТ із пластинчастим теплообмінником

Принцип роботи наступний. Теплоносій надходить з тепломережі через витратомір 1 (теплочильника), регулятор перепаду тиску 2 (підтримує постійний тиск), регулюючий клапан 3 (регулює кількість теплоносія в залежності від зовнішньої температури за командами погодного регулятора) на теплообмінник 4. Гріючий теплоносій передає тепло через теплообмінник до вторинного контуру, який гідравлічно незалежний від теплових мереж. Циркуляцію забезпечують насоси 5. Погодний регулятор розраховує температуру теплоносія, що подається в систему опалення, в залежності від температури зовнішнього повітря T_E , по температурному та добових графіках, які програмуються при налагодженні системи.

Протягом опалювальних сезонів 2012-2016 рр. було досягнуто 28% економії теплової енергії. Відповідно термін окупності даного виду СКТ складає два роки. Приклад зменшення енерговитрат в лютому 2013 р. при застосуванні даного СКТ показано на рис. 4.3, 4.4.

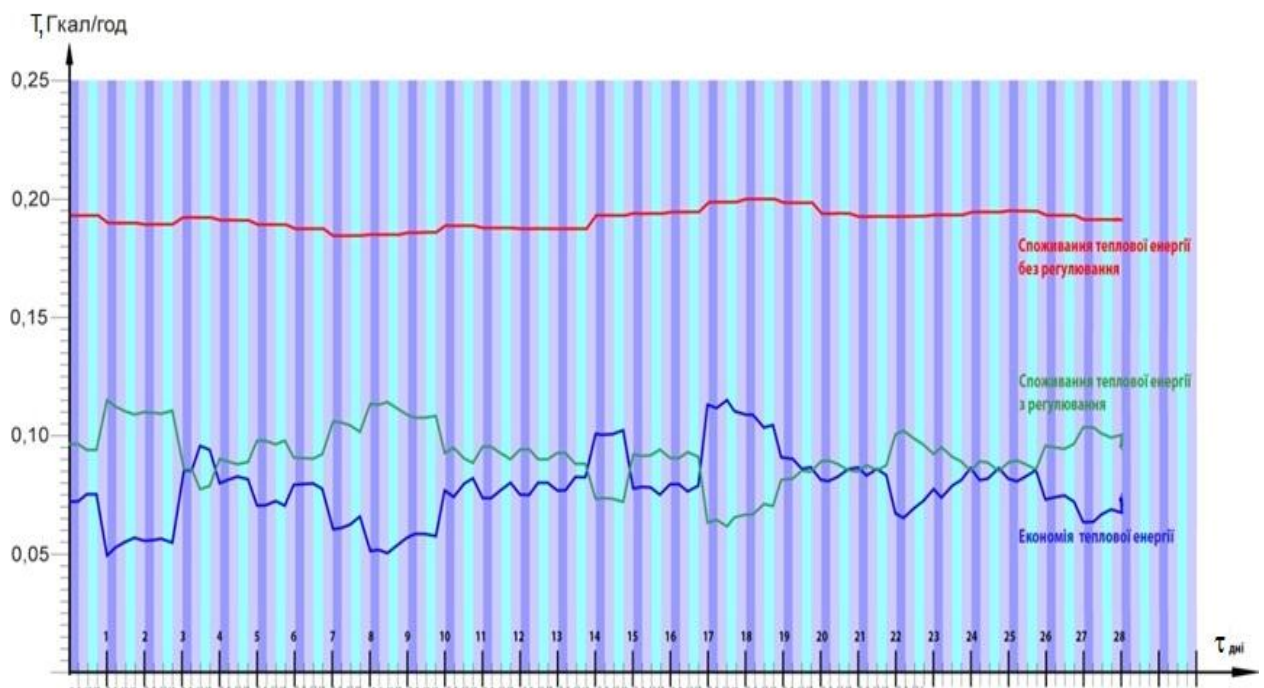


Рис. 4.3. Графік споживання теплової енергії за лютий 2013 р.

Результати впровадження СКТ з пластинчастим теплообмінником підтвердили ряд переваг, а саме:

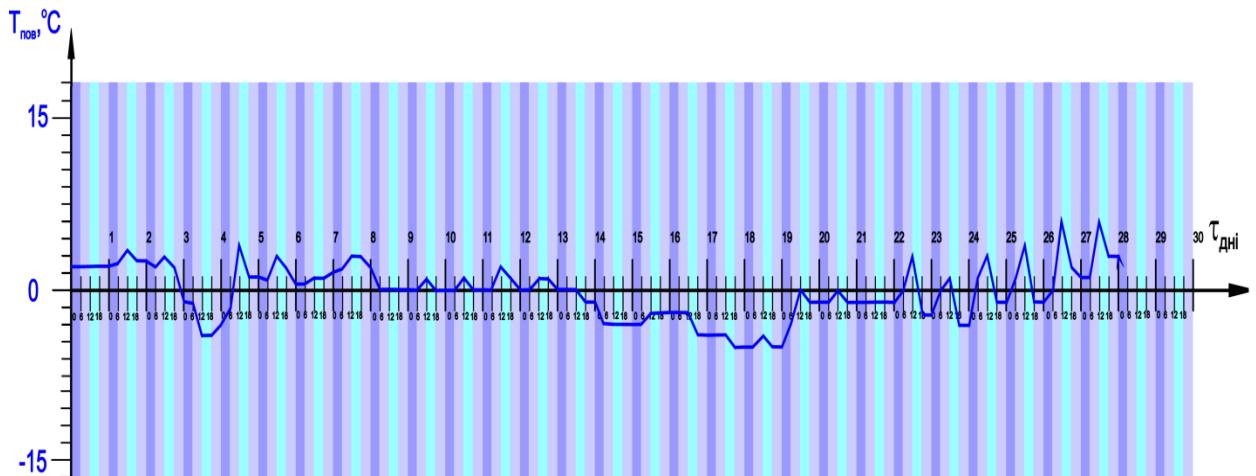


Рис. 4.4. Графік температури зовнішнього повітря за лютий 2013 р.

1. Стійкість до вібрацій: пластинчасті теплообмінники високостійкі до наведеної двохплоскісної вібрації, котра може викликати пошкодження трубчатого апарату.

2. Економічність і простота обслуговування: у разі забруднення ПТО може бути розібраний, промитий і зібраний двома робітниками невисокої кваліфікації протягом 4-6 годин.

3. Наявність низької забрудненості поверхні теплообміну внаслідок високої турбулентності потоку рідини, що утворюється рифленням, а також якісної поліровки теплообмінних пластин.

4. Високий коефіцієнт регулювання системи – 5.

5. Низький тиск (залежить від висоти об'єкту) у вторинному контурі. Постійна, достатня циркуляція теплоносія вторинного контуру.

6. За рівнем ефективності пластинчастий теплообмінник є найбільш ефективним за більшістю параметрів.

4.2 Система із гідророзподільником

Система із гідророзподільником реалізована в системі теплоспоживання виробничого корпусу ДП «Київприлад». Підключення до системи теплопостачання виконане по залежній схемі (4.5, 4.6).

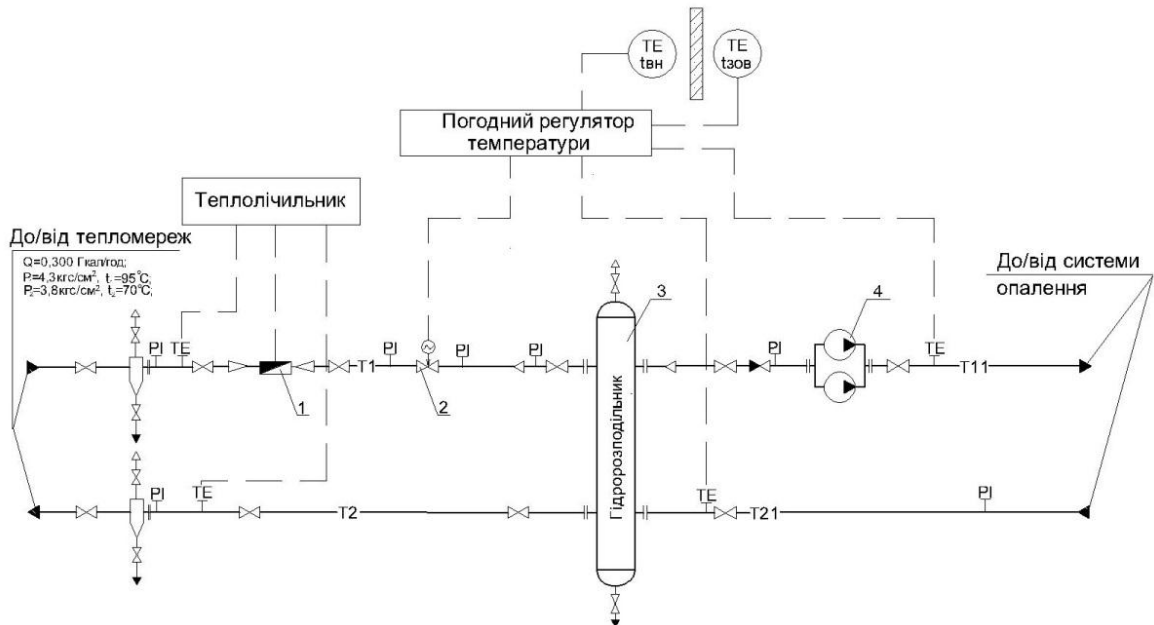


Рис. 4.5. Теплова схема СКТ із гідророзподільником:

1 – витратомір, 2 – регулюючий клапан, 3 – гідророзподільник, 4 – циркуляційні насоси



Рис. 4.6. Зовнішній вигляд СКТ із гідророзподільником

Принцип роботи СКТ з гідророзподільником є наступний. Вузол керування приготуванням теплоносія для системи опалення включає: регулюючий клапан з електроприводом 2 (для реалізації функції погодного та програмного регулювання теплоспоживання), гідророзподільник 3 для реалізації функцій автоматичного відводу повітря та шламу з системи теплопостачання і оптимального змішування прямого мережного і зворотного із системи опалення теплоносія для регулювання теплоспоживання в широкому діапазоні, циркуляційні насоси 4.

Протягом опалювальних сезонів 2013-2016 рр. було досягнуто 23 % зменшення енерговитрат. Відповідно термін окупності даного виду СКТ складає два роки. Приклад показано на рис. 4.7, 4.8.

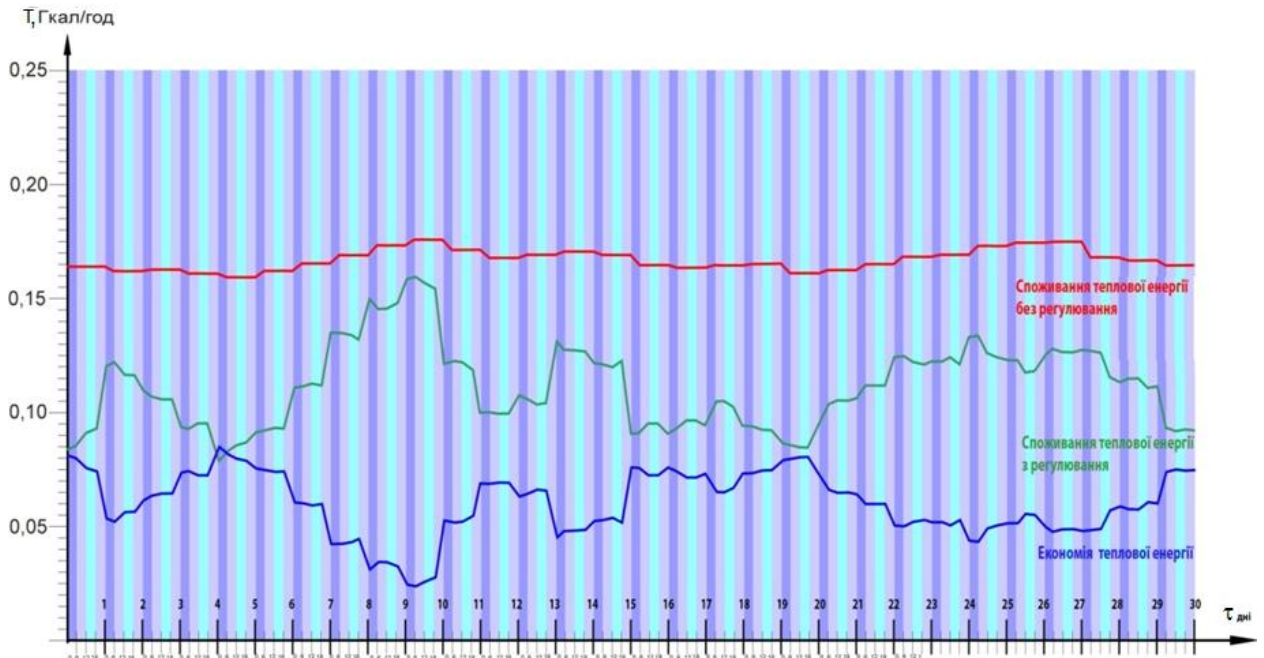


Рис. 4.7. Графік споживання теплової енергії за січень 2013 р.

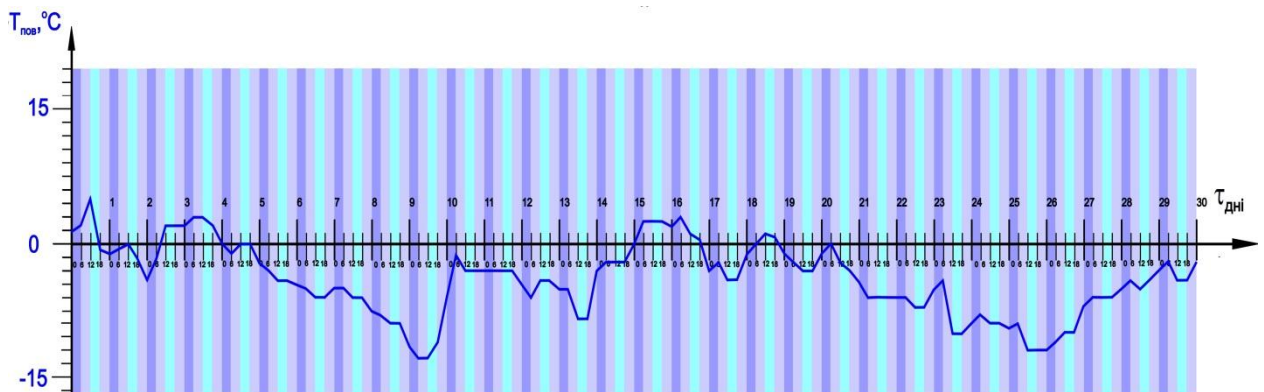


Рис. 4.8. Графік температури зовнішнього повітря за січень 2013 р.

Результати впровадження СКТ з гідророзподільником підтвердило ряд переваг і особливостей впровадження:

1. Коли режим і час функціонування споживання теплової енергії виконується з допомогою колекторів з малим перепадом тиску, використовується СКТ з гідророзподільником.

2. Основна задача гідророзподільника полягає в тому, щоб розділити гідравлічний контур теплоспоживання (із своїми змінними умовами циркуляції теплоносія) з гідравлічним контуром тепlopостачання (із своїм постійним або змінним гідравлічним режимом).

3. Коефіцієнт регулювання даної СКТ – 3.

4. При вертикальному розміщенні додатково виконує функції шламосбірника і повітрязбірника.

4.3 Система із кожухотрубним теплообмінником

Система із кожухотрубним теплообмінником була реалізована в системі теплоспоживання корп. №7 ІТТФ НАН України в сезоні 2012-2013рр. Підключення до системи тепlopостачання виконане по незалежній схемі (рис. 4.9, 4.10).

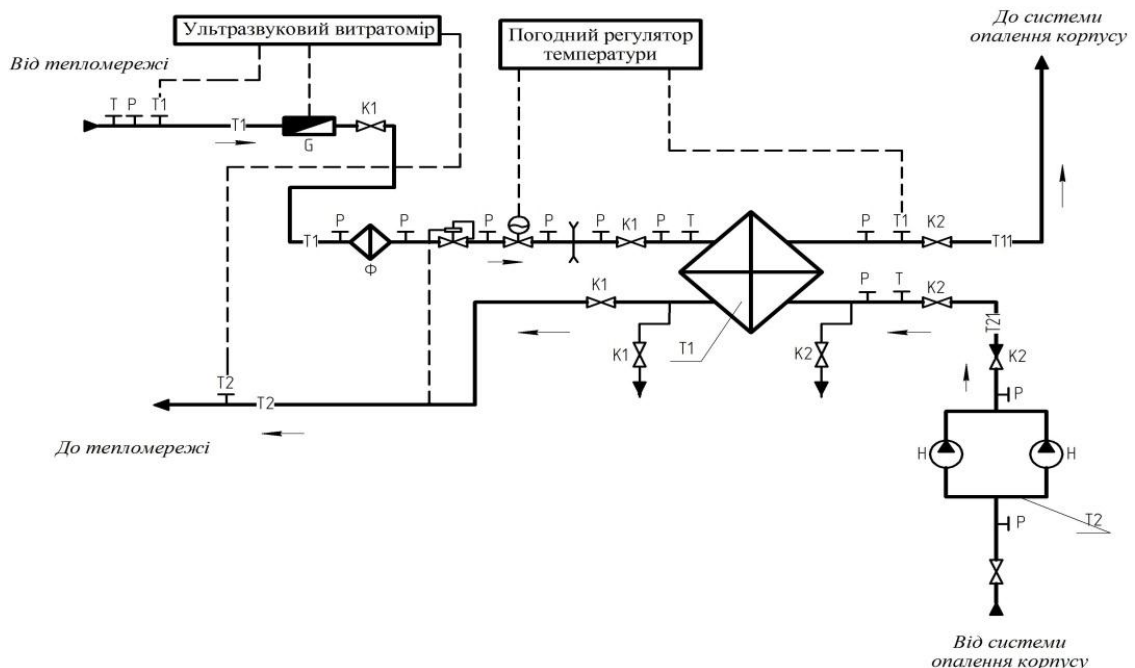


Рис.4.9. Схема підключення теплообмінника в тепловому пункті:

T1 – теплообмінник; G – витратомір ультразвуковий; Н – насоси циркуляційні; F – фільтр; K1 – запірно-регулююча арматура первинного контуру; K2 – запірно-регулююча арматура вторинного контуру; P – манометри; T – датчики температури



Рис.4.10. Кожухотрубний теплообмінник «ТКГ-350» в тепловому пункті під час випробувань

Принцип роботи даного ТП є наступний. Теплоносій надходить з тепломережі через витратомір G (теплочильника), фільтр Φ , регулятор перепаду тиску (підтримує постійний тиск), регулюючий клапан $З$ (регулює кількість теплоносія в залежності від зовнішньої температури за командами погодного регулятора) на теплообмінник $T1$. Гріючий теплоносій передає тепло через теплообмінник до вторинного контуру, який гідравлічно незалежний від теплових мереж. Циркуляцію забезпечують насоси 5 . Погодний регулятор розраховує температуру теплоносія, що подається в систему опалення, в залежності від температури зовнішнього повітря T_E по температурному та добових графіках, які програмуються при налагодженні системи. Принцип роботи кожухотрубного теплообмінника полягає в тому, що гарячий і холодний теплоносії рухаються по двох різних каналах. Процес теплообміну відбувається між стінками цих каналів.

Протягом опалювальних сезонів 2012-2013рр. було досягнуто 23 % зменшення енерговитрат. Відповідно термін окупності даного виду СКТ складає два роки. Деякі порівняльні графіки показано на рис. 4.11, 4.12.

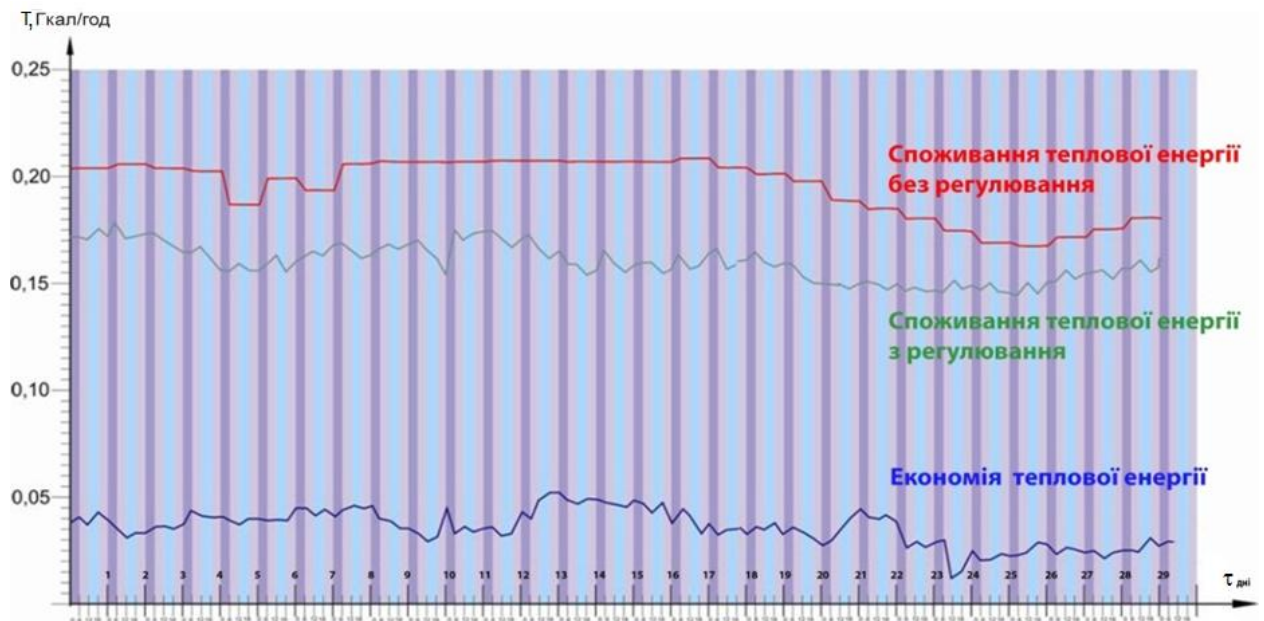


Рис. 4.11. Графіки споживання теплової енергії за лютий 2012 року

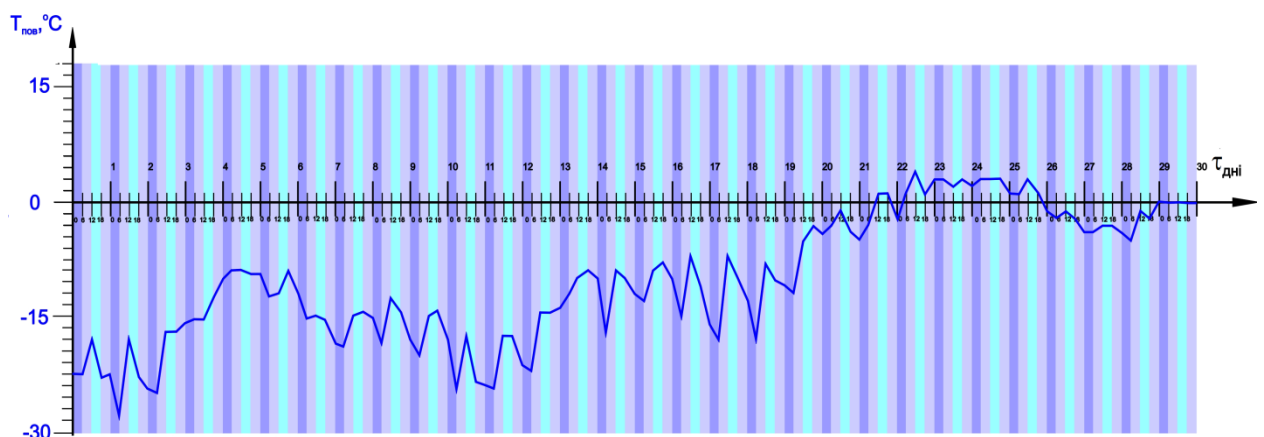


Рис. 4.12. Графік температури зовнішнього повітря за лютий 2012 року

Результати впровадження СКТ з кожухотрубним теплообмінником підтвердили ряд переваг та деякі недоліки:

1. Основною і найбільшою перевагою є висока стійкість даного типу агрегатів до гідроударів.
2. Кожухотрубні агрегати невибагливі до роботи в забрудненому середовищі.
3. Вагомою перевагою кожухотрубних теплообмінників є їх висока ефективність. За рівнем ефективності його можна порівняти з пластинчастим теплообмінником, який за більшістю параметрів є найбільш ефективним.

4. Можна з упевненістю говорити про те, що кожухотрубні теплообмінники є одними з найнадійніших, довговічних і високоефективних агрегатів.

5. Коефіцієнт регулювання даного виду СКТ – 4.

Недоліки кожухотрубних агрегатів:

1. Значний недолік – великі розміри. У деяких випадках від використання таких агрегатів доводиться відмовлятися саме через великі габарити.

2. Висока металоємність, яка є причиною високої ціни кожухотрубних теплообмінників.

3. При обслуговуванні кожухотрубних теплообмінників процес очищення трубок часто приводить до їх руйнації і закупорювання.

4.4 Система житлового будинку з газовими та електрокотлами

Система житлового будинку з газовими та електрокотлами реалізована в системі теплоспоживання житлового будинку ОСББ «ЖБК «Енергетик». Підключення до системи теплопостачання виконано по залежній схемі (рис. 4.13, 4.14).

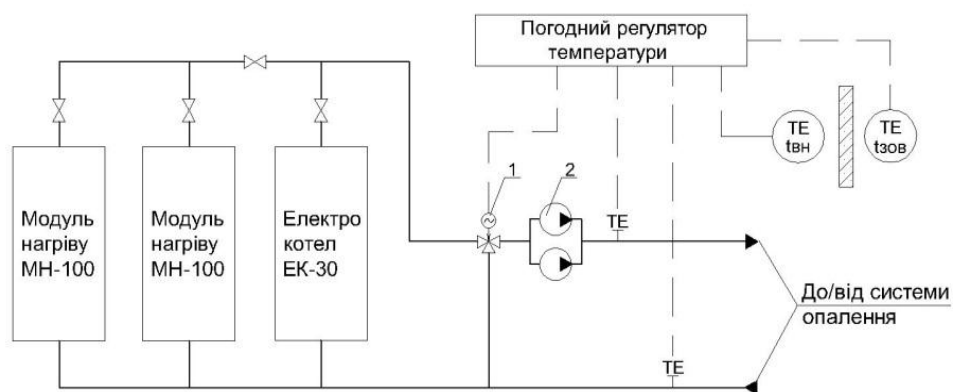


Рис.4.13. Теплова схема СКТ житлового будинку з газовими та електрокотлами:

1 – регулюючий клапан трьохходовий, 2 – циркуляційні насоси



Рис.4.14. Зовнішній вигляд СКТ з газовими та електрокотлами

Принцип роботи СКТ з газовими та електрокотлами наступний. Теплопостачання будинку забезпечується від чотирьох газових модулів нагріву та двох додаткових (альтернативних) електрокотлів. Надходження необхідної кількості теплоносія в систему опалення будинку забезпечується трьохходовим клапаном 1 за командами погодозалежного регулятора.

Протягом опалювальних сезонів 2012-2016 рр. було досягнуто 20 % зменшення енерговитрат. Деякі з порівняльних графіків наведено на рис. 4.12. Відповідно термін окупності даного виду СКТ складає два роки (рис. 4.15, 4.16).

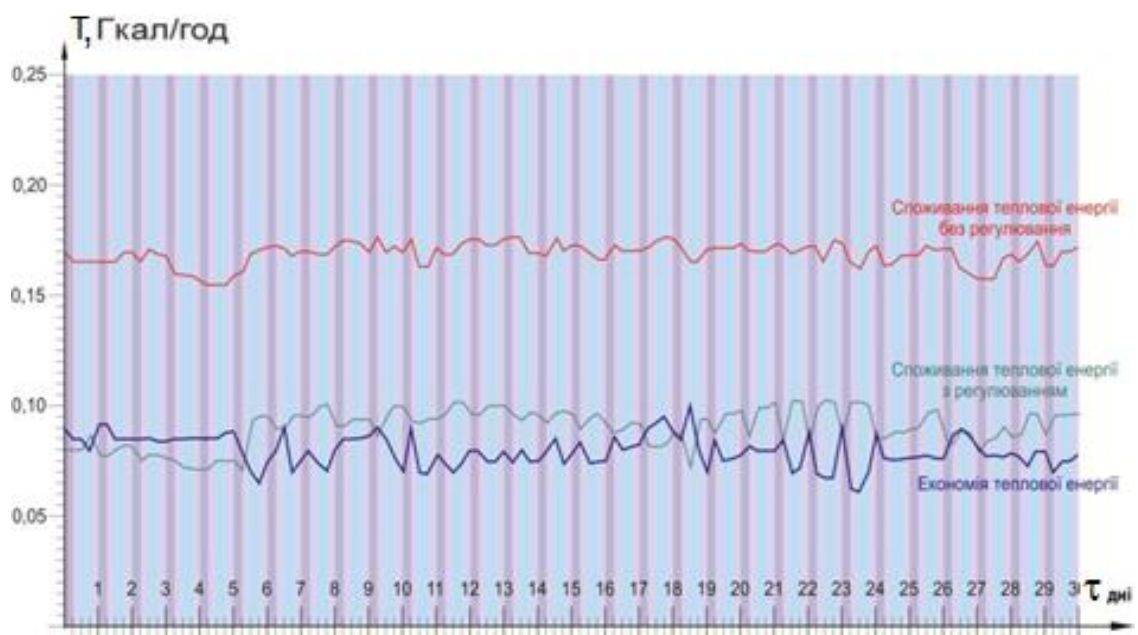


Рис. 4.15. Графік споживання теплової енергії за грудень 2012 р.

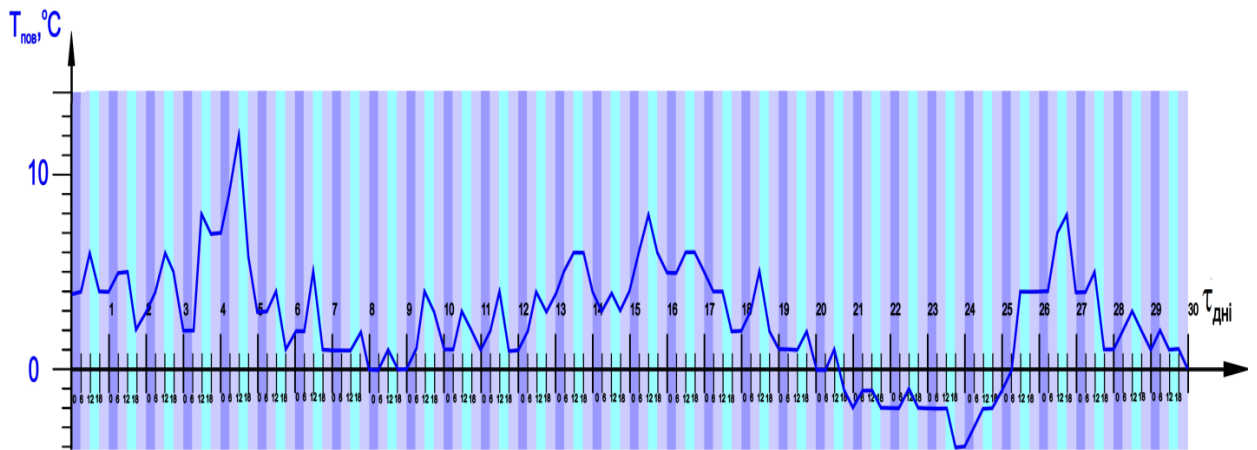


Рис. 4.16. Графік температури зовнішнього повітря за грудень 2012 року

Результати впровадження СКТ з газовими та електродотами підтвердили ряд переваг:

1. Система дозволяє економити на ціні за опалення, використовуючи нічні тарифи на електроенергію.

2. При використанні даної СКТ в житловому будинку економія енергоресурсів дещо нижча. Це пов'язано з неможливістю більшого зниження температури в житлових приміщеннях в нічний період і вихідні дні.

3. Дозволяє використовувати електроопалення в період найменшого споживання теплової енергії (початок і закінчення опалювального сезону) без підключення газового обладнання. Економія на адміністративних невиробничих витратах.

4.5 Система з комбінованим теплопостачанням і використанням сонячної енергії

Система з комбінованим теплопостачанням і використанням сонячної енергії була реалізована в системі теплоспоживання корп. №7 ІТТФ НАН України [85-87]. Підключення до системи теплопостачання виконане по незалежній схемі (рис. 4.17, 4.18).

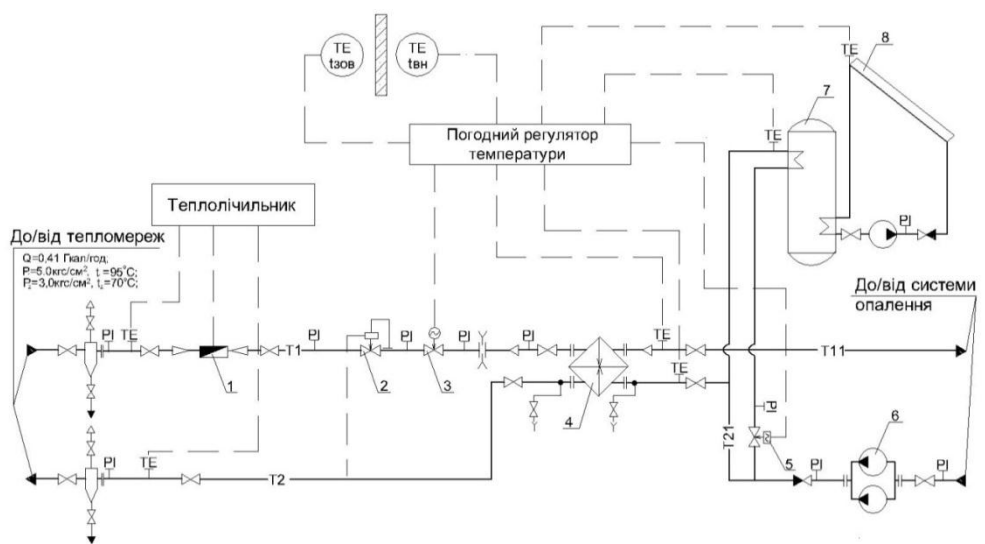


Рис.4.17. Теплова схема системи з комбінованим теплопостачанням і використанням сонячної енергії: 1 – витратомір, 2 – регулятор перепаду тиску, 3 – регулюючий клапан, 4 – теплообмінник, 5 – запірний клапан, 6 – циркуляційні насоси, 7 – бак акумулятора, 8 – сонячний колектор



Рис. 4.18. Зовнішній вигляд системи з комбінованим теплопостачанням і використанням сонячної енергії

Принцип роботи системи з комбінованим теплопостачанням і використанням сонячної енергії. Теплоносій надходить з тепломережі через витратомір 1 (теплолічильника), регулятор перепаду тиску 2 (підтримує постійний тиск), регулюючий клапан 3 (регулює кількість теплоносія в залежності від зовнішньої температури за командами погодного регулятори) на теплообмінник 4. Гріючий теплоносій передає тепло через теплообмінник до вторинного контуру, який гідравлічно незалежний від теплових мереж. Циркуляцію забезпечують насоси 6. Якщо температура зворотного

теплоносія вторинного контуру менша за температуру акумулятора тепла 7, то запірний клапан 5 відкритий, якщо більша, то закритий. Погодний регулятор розраховує температуру теплоносія, що подається в систему опалення, в залежності від температури зовнішнього повітря T_E , по температурному та добових графіках, які програмуються при налагодженні системи.

Система нагрівання від сонячного колектора 8 працює наступним чином. Поки температура теплоносія в системі сонячного колектора більша за температуру акумулятора тепла, насос теплоносія сонячного колектора працює. Теплоносій циркулює через сонячний колектор, нагрівається і віддає своє тепло акумулятору тепла сонячного колектора через теплообмінник. Якщо температура теплоносія в системі сонячного колектора менша за температуру акумулятора тепла, то блок контролю вимикає циркуляційний насос теплоносія сонячного колектора і циркуляція припиняється. Під час роботи системи опалення у весняний та осінній періоди, коли достатня кількість сонячних днів, час від часу буде виконуватись умова – температура акумулятора тепла більша за температуру теплоносія, що подається в систему опалення, система буде переходити в режим роботи від акумулятора тепла сонячного колектора, що збільшить економію енергоресурсів центрального теплопостачання.

4.5.1 Розрахунок геліоустановки для підтримки опалення будівлі

Розрахунок сонячних установок включає визначення наявної кількості сонячної енергії, теплопродуктивності сонячного колектора і установки в цілому, теплового навантаження на опалення, енергетичні та геометричні характеристики геліосистеми, в тому числі площі поверхні колектора, об'єм акумулятора теплової енергії, річної економії палива і терміну окупності [45].

Вихідні дані для розрахунку геліосистеми включають характеристики географічного положення місцевості (як мінімум широту), кліматичні дані - середньомісячна денна кількість сумарної і розсіяної сонячної радіації (або

сумарна річна кількість сонячної радіації для даної місцевості), температуру зовнішнього повітря. В більшості випадків використовуються дані довідників по клімату для даного регіону (СНіП 23-01-99).

Крім того, за даними виробника сонячного колектора використовуються такі його характеристики: ефективний оптичний ККД і коефіцієнт теплових втрат, теплоємність теплоносія, а також геометричні розміри одного модуля колектора.

Коефіцієнт корисної дії сонячного колектора визначається його ефективним оптичним ККД і ефективним коефіцієнтом тепловтрат колектора:

$$\eta_k = \eta_o - \frac{K_k(T_{t1} - T_{\text{зовн}})}{I_k}, \quad (4.1)$$

де η_o – ефективний оптичний ККД; K_k – ефективний коефіцієнт тепловтрат колектора; T_{t1} – температура на вході колектора; I_k – інтенсивність потоку сонячної енергії, що надходить на колектор.

Оптичний ККД визначається добутком коефіцієнта пропускання сонячного випромінювання і коефіцієнта його поглинання абсорбером і не залежить від інтенсивності сонячного потоку і різниці температур колектора і зовнішнього повітря. Оптичний ККД є характеристикою, отриманою при випробуванні і сертифікації колектора, і обов'язково вказується виробником у технічних даних колектора.

Загальний коефіцієнт теплових втрат колектора визначається як сумарні теплові втрати над і під абсорбером:

$$K_k = \alpha_1 + \alpha_2(T_{t1} - T_{\text{зовн}}), \quad (4.2)$$

де α_1 – коефіцієнт тепловтрат колектора над абсорбером; α_2 – коефіцієнт тепловтрат колектора через теплоізоляцію під абсорбером.

Дані величини вказуються виробником в паспорті на сонячний колектор.

Найбільш сильний вплив на ККД колектора мають:

- метеорологічні параметри, це інтенсивність сонячного випромінювання, що залежить від географічного місця, часу доби, сезону і температури зовнішнього повітря;
- конструктивні характеристики колектора і властивості теплопоглинальної поверхні абсорбера – матеріал і його товщина, товщина і коефіцієнт теплопровідності теплової ізоляції (стан вакууму в трубці), крок встановлення труби, число шарів скління і його пропускну спроможність;
- робочі параметри колектора – витрата теплоносія і його температура на вході / виході колектора.

4.5.2 Вибір кута нахилу колектора і розрахунок сонячної енергії, що надходить на колектор

Енерговіддача геліоустановки залежить від нахилу і орієнтації площі колектора. При похилій поверхні поглинання змінюється кут інсоляції, інтенсивність опромінення і, тим самим, кількість енергії. Ця кількість максимальна, якщо випромінювання потрапляє на поверхню під прямим кутом. Так як це на нашій широті щодо горизонтальної лінії не може бути досягнуто, енерговіддачу можна оптимізувати шляхом нахилу поверхні поглинання (рис. 4.19).

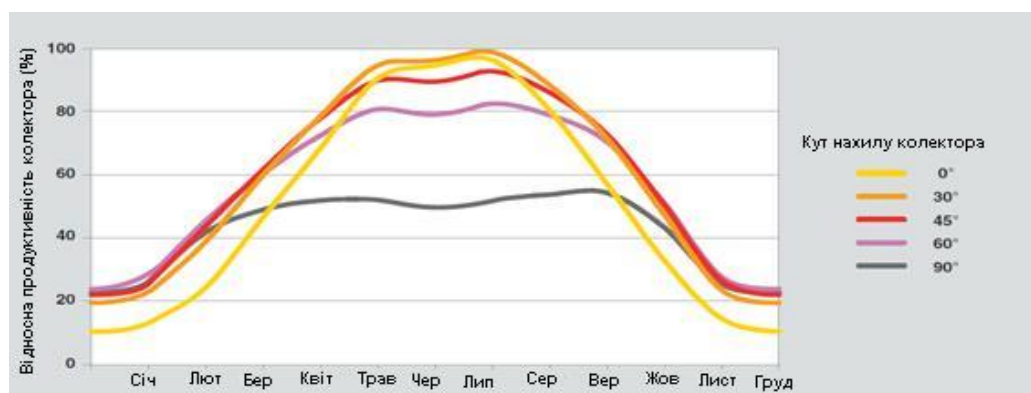


Рис. 4.19. Розподіл продуктивності протягом місяця при орієнтації поверхні колектора на південь в залежності від кута нахилу

Середньомісячна денна сумарна кількість сонячної енергії, що надходить на похилу поверхню сонячного колектора, визначається за формулою:

$$E_k = RE \quad (4.3)$$

де E – середньомісячна денна сумарна кількість сонячної енергії, що надходить на горизонтальну поверхню; R – відношення середньомісячних денних кількостей сонячної радіації, що надходить на похилу і горизонтальну поверхні.

Таблиця 4.1.

Середньомісячне надходження сумарної сонячної радіації E і температура зовнішнього повітря

Київ, широта 50,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	год
E	26,7	41,7	83,8	115,9	161,7	182	176,8	148,9	129	80,8	44,4	28,6	1220,3
T_n	-5,6	-4,2	0,7	8,7	15,1	18,2	19,3	18,6	13,9	8,1	2,1	-2,3	7,7

Застосовуючи показник річного значення надходження сонячної радіації в розрахунковій формулі (4.2) можна оцінити річну ефективність сонячного колектора і його потужність, без урахування поділу по місяцях і навантаження опалення. Як правило, такими розрахунками користуються при вирішенні «зворотної задачі»: оцінка річної ефективності сонячного колектора для даного регіону при заданій площі абсорбера та його характеристик.

Величина R являє собою коефіцієнт перерахунку сонячної енергії з горизонтальної площини на поверхню сонячного колектора, встановленого під кутом до горизонту β . Цей коефіцієнт при південній орієнтації колектора дорівнює сумі трьох складових, які відповідають прямій, розсіяній і відбитій сонячній радіації:

$$R = \left(1 - \frac{E_p}{E}\right) R_{\Pi} + \frac{E_p}{E} \frac{1 + \cos\beta}{2} + \rho \frac{1 - \cos\beta}{2} \quad (4.4)$$

де E_p – середньомісячна денна кількість розсіяного сонячного випромінювання, що надходить на горизонтальну поверхню; E_p/E – середньомісячна денна частка розсіяного сонячного випромінювання; R_{Π} – середньомісячний коефіцієнт перерахунку прямого сонячного випромінювання з горизонтальною на похилу поверхню; β – кут нахилу поверхні сонячного колектора до горизонту; ρ – коефіцієнт відбиття (альbedo) поверхні Землі і навколишніх тіл, приймається рівним 0,7 для зими і 0,2 для літа.

Для узагальнених розрахунків можливо використовувати значення R наведені у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2.

Середньомісячний коефіцієнт перерахунку сумарного потоку сонячної енергії з горизонтальної площини на поверхню колектора

Місяць року	Кут нахилу колектора до горизонту β , град			
	30	45	60	90
1	1,3	1,37	1,37	1,18
2	1,35	1,43	1,44	1,23
3	1,24	1,27	1,23	0,98
4	1,1	1,07	0,99	0,69
5	1,02	0,95	0,84	0,53
6	0,98	0,9	0,78	0,47
7	0,99	0,92	0,81	0,49
8	1,07	1,02	0,93	0,62
9	1,2	1,21	1,15	0,88
10	1,34	1,41	1,4	1,18
11	1,32	1,4	1,4	1,21
12	1,41	1,52	1,56	1,39
Середньорічне значення	1,11	1,09	1,01	0,72

В період опалювального сезону, 60° є найкращим кутом нахилу для Києва та Київської області.

4.5.3 Розрахунок теплопродуктивності сонячного колектора

Теплова потужність плоского колектора сонячної енергії визначається як [90-92]:

$$Q_K = A[I_K \eta_o - K_K(T_{t1} - T_{зовн})] = G_{CK} c_{CK}(T_{t2} - T_{t1}), \quad (4.5)$$

де A – ефективна площа поверхні (апертура) колектора; T_{t2} – температура на виході з колектора; G_{CK} – масова витрата теплоносія в колекторі; c_{CK} – питома теплоємність теплоносія в колекторі.

При виконанні розрахунків значення величин надходження сонячної енергії на поверхню колектора, теплове навантаження на систему опалення, теплова потужність колектора та температури зовнішнього повітря повинні відноситися до одного розрахункового періоду (роздільно для кожного місяця).

Практика показує, що затрати на обігрів ретельно утепленої будівлі в помірній кліматичній зоні можливо зменшити приблизно до 40 ватт на m^2 при стандартній висоті приміщень. Тоді для опалення будівлі площею $4000 m^2$ нам необхідно $4000 \times 40 = 160000$ Вт, або 160 КВт теплової потужності.

В районі екватора поверхні планети потужність сонячного випромінювання може досягти близько 1 КВт/ m^2 .

Враховуючи, що опалення проводиться взимку, коли кут падіння сонячних променів набагато більше від перпендикуляра до поверхні і в атмосфері навіть при ідеальній орієнтації сонячного колектора розсіюється більше теплової енергії, суттєву частину часу зимою стоїть помірно-хмарна або хмарна погода, протяжність світлового дня зимою не перевищує 8 годин, причому частина часу сонце світить під зовсім косим кутом до горизонту: для Центральної України середня кількість сонячної енергії, що попадає на поверхню $1 m^2$ протягом доби, дорівнює:

- 3,3 КВт/год для жовтня;
- 2,1 КВт/год для листопада;
- 1,7 КВт/год для грудня;

- 1,9 кВт/год для січня;
- 3,2 кВт/год для лютого;
- 3,6 кВт/год для березня;
- 4,7 кВт/год для квітня

Середнє значення для опалювального сезону, таким чином, дорівнює $(3,3+2,1+1,7+1,9+3,2+3,6+4,7)/7=2,93$ кВт/год за добу, або 122 Вт за год. ККД сонячних колекторів для опалення будинку беремо рівним 60%, виходячи з середніх характеристик плоских сонячних колекторів.

З поправкою на втрати перетворення, ефективна потужність квадратного метра колектора протягом середньої доби становить $122 \cdot 0,60 = 73,2$ Вт. Тобто за опалювальний період 1 м² сонячного колектора віддає в систему 316 кВт·год.

Враховуючи, що практична площа поверхні колекторів системи – 80 м², середня кількість сонячної енергії – 5,86 кВт/год, то при середньому енергоспоживанні теплової енергії будівлі 160 кВт/год тепла енергія, яку виробляють сонячні колектори складає 3,66 %.

4.5.4 Розрахунок акумулятора тепла

На практиці стає зрозумілим, що потреба в тепловій енергії і енергія, вироблена сонячними системами, не співпадають не тільки по кількості, а і по часовим характеристикам, на відміну від установок з традиційними теплогенераторами, де тепла енергія може бути представлена на вимогу. По цій причині в сонячних системах тепlopостачання особливе значення мають баки-акумулятори, котрі забезпечують надійне зберігання теплової енергії отриманої з сонячної енергії.

Як правило для акумуляування теплової енергії використовується вода – недорогий, доступний теплоносій, який технічно легкий в керуванні (нагрівання, наповнення, злив). Вирішальне значення при виборі бака-акумулятора має не його об'єм, а енергоємність. Енергоємність залежить від

температурного діапазону: чим він більше, тим більше енергоємність на одиницю об'єму бака-акумулятора.

Для визначення необхідного бака-акумулятора необхідно враховувати температурний діапазон системи, а саме: максимально можливу температуру у баку. Враховуючи, що при площі поверхні колекторів 80 м² середня кількість сонячної енергії складала 5,86 кВт/год, необхідно акумулювати кількість енергії в чотири рази більшу, тобто 23,44 кВт.

Об'єм бака-акумулятора вираховується по формулі:

$$V = \frac{Q}{C_v \Delta T_{ат}}$$

де V – об'єм бака-акумулятора; $\Delta T_{ат}$ – різниця температур.

Тож при мінімальній температурі води в баку 18°C, при максимальній 50°C та при необхідності акумулювати 23.44 кВт/ч енергії, об'єм акумулятора складає:

$$V = \frac{23440 \text{ Вт/год}}{1,16 \text{ Вт} \cdot \frac{\text{ГОД}}{\text{КГ}} \cdot (50^\circ - 18^\circ)} \approx 630 \text{ л}$$

Враховуючи, що акумульована енергія використовується в системі опалення постійно, при умові, що температура в баку вище температури в зворотному трубопроводі контуру опалення, об'єм баку 500 л буде достатній.

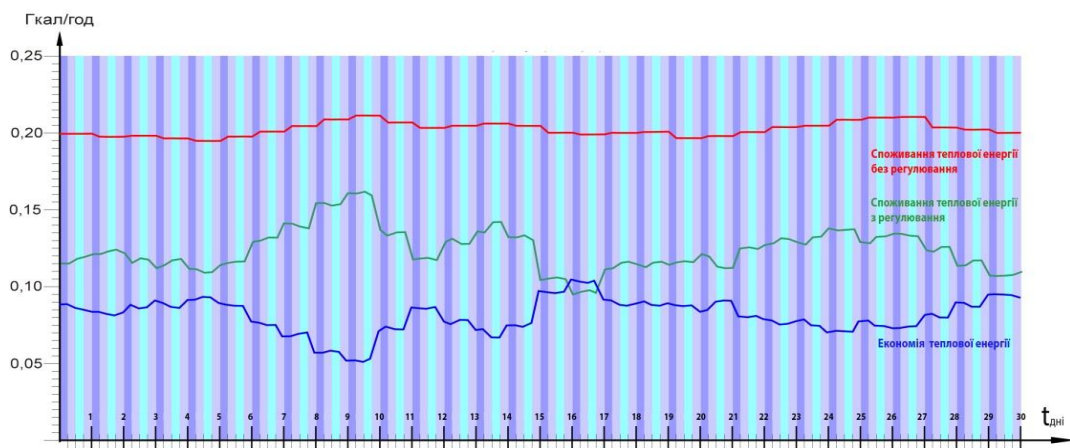


Рис. 4.20 . Графік споживання теплової енергії за січень 2013 р.

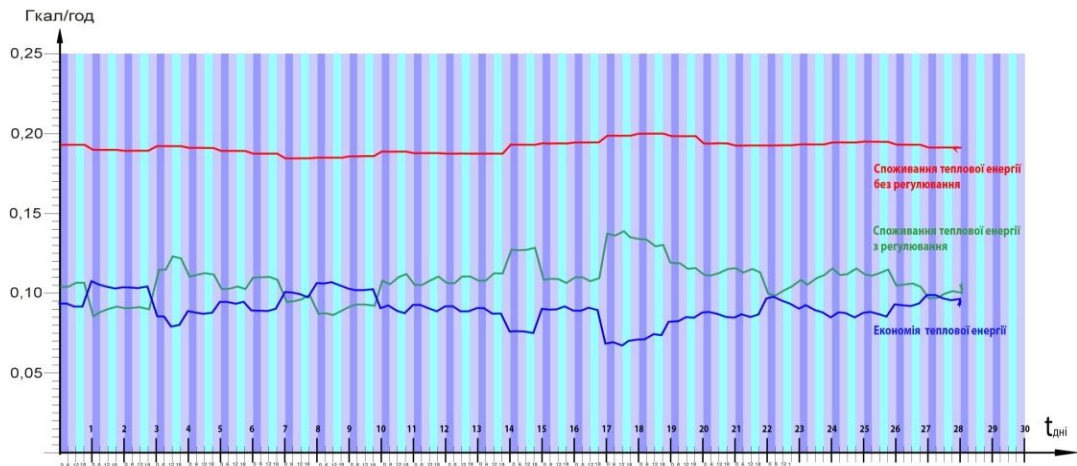


Рис. 4.21. Графіки споживання теплової енергії за лютий 2013 р.

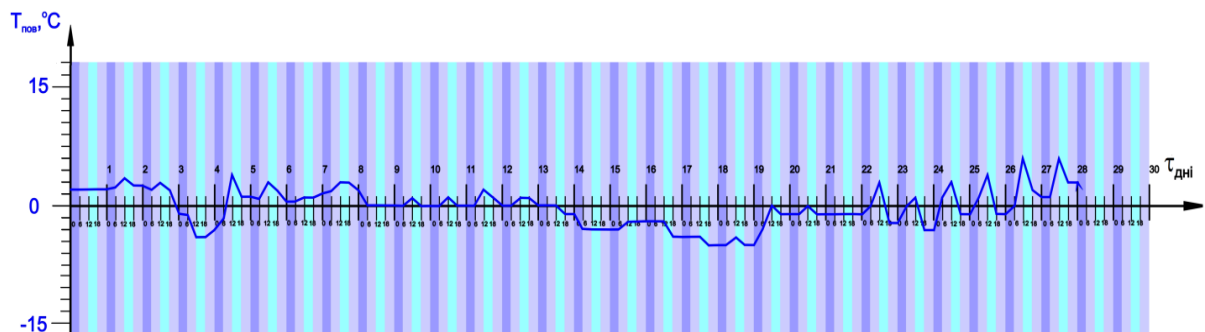


Рис. 4.22. Графік температури зовнішнього повітря за лютий 2013 р.

Експлуатація розробленої системи протягом опалювальних сезонів у 2012-2016 рр. (рис. 4.20 - 4.22) показала 25-35% зменшення енерговитрат в тому числі 4-6% за рахунок сонячної енергії. Термін окупності системи оцінюється у 3-4 роки враховуючи, що вартість сонячних колекторів з обв'язкою складає до 50% всієї вартості системи.

4.6 Оцінка вартості теплової енергії, отриманої за допомогою сонячних колекторів і акумулятора тепла

Основною економічною оцінкою сонячної системи є ціна за кіловат-годину теплової енергії, яка вироблена з використанням сонячної енергії. Основними вихідними даними для розрахунку собівартості теплової енергії отриманої за допомогою сонячної енергії є: капітальні витрати, річні

експлуатаційні витрати, втрата відсотків на використаний капітал і очікувана продуктивність сонячної системи [89-92]. Використані в розрахунку показники порівняні з показниками, котрі використовуються при розрахунку витрат на інші генератори теплової енергії і визначаються наступним чином.

Капітальні витрати: це всі витрати на сонячну систему і всі накладні витрати, необхідні для побудови установки.

Витрати на споживання енергії: тут враховуються тільки затрати на електроенергію для живлення регулятора и насосів. При використанні правильно підібраних насосів можливо використовувати коефіцієнт 50, це значить з допомогою 1 кВт·год електроенергії сонячна система може виробити 50 кВт·год теплової енергії.

Коефіцієнт ануїтету: це коефіцієнт, з допомогою якого проводиться перерахунок капітальних витрат на всю сонячну систему за рік з урахуванням строку експлуатації і прийнятих відсотків на капітал. Це визначає капітальні витрати в залежності від річної процентної ставки. Коефіцієнт ануїтету визначається виходячи із строку експлуатації 20 років:

$$f_a = \frac{(1+p)^t \cdot p}{(1+p)^t - 1},$$

f_a – и коефіцієнт ануїтету; p – ставка відсотку на капітал в вигляді десяткового дробу; t – термін експлуатації установки (кількість років)

Таблиця 4.3.

Коефіцієнт ануїтету в залежності від відсоткової ставки при терміні експлуатації 20 років

Відсоткова ставка капіталу	Коефіцієнт ануїтету
3%	0,067
4%	0,074
5%	0,080

6%	0,087
7%	0,094
8%	0,102
9%	0,110
10%	0,117

Для даної системи було обрано 7% відсоткової ставки капіталу, тобто коефіцієнт ануїтету складає 0,094.

Вартість теплової енергії, отриманої з допомогою сонячної системи вираховується наступним чином. Крім вище названих величин при визначенні вартості теплової енергії, яка отримана за допомогою сонячної системи, включається ще річна продуктивність сонячної системи.

Вартість теплової енергії отримана за допомогою сонячної системи k_{sol} – це вартість однієї кіловат години теплової енергії, вона дійсна протягом всього терміну експлуатації установки:

$$k_{sol} = \frac{K_{inv} \cdot f_a + k_{betr}}{Q_{sol}} + k_{verbr}, \quad (4.6)$$

де k_{sol} – вартість теплової енергії, отриманої від сонячної системи, грн. за; k_{inv} – капітальні витрати; k_{betr} – експлуатаційні витрати; k_{verbr} – витрати на споживання енергії; Q_{sol} – продуктивність сонячної системи.

В СКТ з сонячними колекторами та акумулятором тепла площа колекторів складає 80 м², капітальні витрати 200000 грн., експлуатаційні витрати 3000 грн. за рік (1,5% від вартості), витрати на споживання енергії 0,03 грн. за кВт·год, коефіцієнт ануїтета 0,094, продуктивність сонячної системи 25315 кВт·год за рік.

Підставивши дані значення в формулу (4.6) отримаємо вартість 1 кВт·год, виробленої за допомогою сонячної системи, яка складає 0,89 грн. Для порівняння:

- вартість 1 кВт·год електроенергії складає на сьогодні 1,5 грн.

– вартість 1 кВт·год теплової енергії (при вартості 1 Гкал від теплопостачальних організацій 1892 грн.) складає на сьогодні 1,63грн.

Результати впровадження СКТ з сонячними колекторами та акумулятором тепла підтвердили та виявили ряд нових переваг:

1. Як нам відомо, кількість сонячної радіації нерівномірно розподілена по території України. Існують регіони з більш інтенсивною сонячною радіацією (південь України), а також регіони, де її кількість на 20-40% менша. Таким чином, використовуючи один і той самий сонячний колектор, можна отримати різну кількість теплової енергії. Саме тому географічне розташування сонячного колектора суттєво впливає на ефективність геліосистеми, а також на капітальні витрати на сонячну систему.

2. Використання сонячних колекторів підтвердило свою ефективність в системах опалення, проте термін окупності складає 10 років при нинішніх цінах на теплову енергію. Враховуючи практично вертикальне зростання цін на енергоносії, окупність витрат на створення сонячного обігріву складе максимум декілька років. При тенденції до удорожчання теплової енергії використання сонячних колекторів в системах опалення стає виправданою.

Висновки по розділу 4

1. Наведено результати експериментальних досліджень та описано схеми розроблених та впроваджених систем керування теплоспоживанням, а саме: з комбінованим теплопостачанням і використанням сонячної енергії, з пластинчастим теплообмінником, з гідророзподільником, з експериментальним кожухотрубним теплообмінником «ТГК-350», з газовими та електрокотлами тощо.

2. Розраховано геліоустановки для часткового заміщення витрат на опалення будівлі для реалізації системи з комбінованим теплопостачанням і використанням сонячної енергії.

3. Проведено оцінку вартості теплової енергії, отриманої за допомогою сонячних колекторів і акумулятора тепла, яка склала близько 0,9 грн за 1 кВт·год.

4. Створено експериментальний стенд системи керування теплоспоживанням будівель при комбінованому теплопостачанні з використанням традиційних енергоресурсів і сонячної енергії, який підтвердив свою ефективність протягом трьох років експлуатації. Забезпечено зменшення використання теплової енергії на 25-35% з них 4-6% за рахунок використання сонячної енергії.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальне наукове-прикладне завдання оптимізації режиму теплоспоживання промислових, адміністративних та житлових об'єктів, яке полягає в розробленні та вдосконаленні методів та засобів керування теплоспоживанням з частковим використанням відновлюваних джерел на прикладі сонячної енергії.

Основні висновки та результати:

1. Проведено порівняльний аналіз існуючих теплових пунктів, методів та засобів керування теплоспоживанням, що дало можливість сформулювати завдання оптимізації процесу та розробити структуру системи керування теплоспоживанням.

2. Розроблено статичну та динамічну моделі системи керування теплоспоживанням, в яких враховано процес теплообміну в будівлі з комбінованим тепlopостачанням від зовнішнього теплоносія та сонячних колекторів, що дозволило оптимізувати процес теплоспоживання.

3. Розв'язано обернену задачу визначення коефіцієнтів тепловіддачі на поверхнях огорожувальної конструкції будівлі за експериментальними даними дослідження системи керування теплоспоживанням, що дало можливість отримати значення теплового опору, теплового потоку та коефіцієнта інфільтрації.

4. Розроблено алгоритм оптимізації регулювання за мінімаксним критерієм у впровадженому блоці керування системою та використання сонячної енергії дозволило додатково зменшити споживання теплоносія з системи централізованого тепlopостачання на 10-15%

5. Створено експериментальний стенд системи керування теплоспоживанням будівель при комбінованому тепlopостачанні з використанням традиційних енергоресурсів і сонячної енергії, який підтвердив свою ефективність протягом трьох років експлуатації.

Забезпечено зменшення використання теплової енергії на 25-35% з них 4-6% за рахунок використання сонячної енергії.

6. Матеріали дисертаційної роботи знайшли практичне використання при проектуванні і впровадженні низки систем керування теплоспоживанням, п'ять будівель у м. Києві та Київській області, що підтверджено відповідними актами впровадження. При цьому термін окупності витрат на впровадження складає 1...2 опалювальних сезони.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Козин В.Е. Теплоснабжение: Учеб. пособие для студентов вузов / В.Е. Козин, Т.А. Левина, А.П. Марков и др. - М.: Высш. школа, 1980. – 408с.
2. Павлов И.И. Котельные установки и тепловые сети: Учебник для техникумов. – 2-е изд., перераб. и доп. / И.И. Павлов, М.Н. Федоров. – М.: Стройиздат, 1977. – 301 с.
3. Лямин А. А. Проектирование и расчет конструкций тепловых сетей / А. А. Лямин, А.А. Скворцов. – М.: Издательство литературы по строительству, 1965. – 295 с.
4. Варфоломеев Ю.М. Отопление и тепловые сети: Учебник / Ю.М. Варфоломеев, О.Я. Кокорин. – М.: ИНФРА-М, 2006. – 480 с.
5. Справочник по теплоснабжению и вентиляции. Кн. 1 / Р.В., С.М. Кореневский, Т.Е. Бем и др. – К.: Будівельник, 1976. – 416 с.
6. Невзоров А. Горячее водоснабжение: от общего к частному // Аква-Терм. – 2004. – № 2. – С. 8–10.
7. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 472 с.
8. Водяные тепловые сети: Справочные пособие по проектированию. – И.В. Беляйкина, В.П. Витальев, Н.К. Громов и др. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 376 с.
9. Шираке З.Э. Теплоснабжение. – М.: Энергия, 1979. – 256 с.
10. Богословский В. Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. школа, 1982 - 415 с.
11. Сканави А.Н. Отопление: Учебник для вузов / А.Н. Сканави, Л.М. Махов. – М.: Издательство АСВ, 2008. – 576 с.
12. Кичигин М. А. Теплообменные аппараты и выпарные установки. – М. –Л.: Госэнергоиздат, 1955. – 192 с.

13. Павлов К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков – Л.: Химия, 1981. – 560 с.

14. Пластинчатые теплообменники Ридан.. [Электронный ресурс] – Режим доступа до сайту: <http://www.grat-am.ru/heatexchangers.html>. – Назва з екрану.

15. Узел учёта тепловой энергии и элеваторный узел [Электронный ресурс] / Сайт ТОВ «ЛК ТЕРМ». – Режим доступа до сайту: http://lkterm.com.ua/?page_id=648 – Назва з екрану

16. Реконструкция теплового пункта [Электронный ресурс] / ТОВ «Автоматік сервіс». – Режим доступа до сайту: http://www.avt-service.com.ua/uslugi/teplovye_punkty/rekonstrukciya_teplovogo_punkta/ – Назва з екрану

17. Узлы смешения US [Электронный ресурс] / Компания "Danfoss". – Режим доступа до сайту: <http://heating.danfoss.ru/xxNewsx/f89f02ab-87d9-4540-88e3-cacdlfc2a91f.html> – Назва з екрану

18. Блочные тепловые пункты [Электронный ресурс] / ТОВ "Этон-Энерго". – Режим доступа до сайту: <http://этон-энерго.рф/energoseberegayushhee-oborudovanie/blochnye-punkty/blochnye-teplovye-punkty.html> – Назва з екрану

19. Автоматизированные тепловые пункты [Электронный ресурс] / ТОВ "Промтех". – Режим доступа до сайту: <http://www.promteh61.ru/atp-1.php> – Назва з екрану

20. Альтернативні джерела енергії [Электронный ресурс] / Компания "Сіріус". – Режим доступа до сайту: http://www.siriusone.net/index.php?action=page&page_id=56 – Назва з екрану

21. Пат. 38541 Україна, МПК (2009) G05D 27/00, F24H 1/00. Індивідуальний тепловий пункт систем опалення і гарячого водопостачання / А.А. Долінський, Б.І. Басок, В.Г. Демченко, Д.Ю. Очеретяний, О.М. Недбайло, заявник та власник Інститут технічної теплофізики національної

академії наук україни – № u200809844; заявл. 28.07.2008; опубл. 12.01.2009, Бюл. № 1.

22. Дубсон М. И. Опыт эксплуатации теплових сетей и индивидуальных теплових пунктов предприятия «Ригас Силтумс». [Электронный ресурс] / М. И. Дубсон // Новости теплоснабжения. – 2008. -- №4 (92). – Режим доступа: http://www.nts.ru/4_2008.html.

23. Альбом принципиальных схем блочных теплових пунктов Данфос. – К.: Такі справи, 2006. – 57 с.

24. Пат. 82612 Україна, МПК (2013.01) F24D 12/00. Автоматизований тепловий пункт із пропорційним якісним регулюванням / Б.А. Кутний; А.О. Борисюк, заявник та Полтавський національний технічний університет імені юрія кондратюка. – № u 201303272; заявл. 18.03.2013; опубл. 12.08.2013, Бюл. № 15.

25. Пат. 17972 Україна, МПК (2006) F 24 D 15/00. Індивідуальний тепловий пункт / К. Д. Маргуліс, В. Л. Кисіль, Д. Л. Шквирін, Г. В. Повх, А. Я. Задорожний, заявник та власник К. Д. Маргуліс, В. Л. Кисіль, Д. Л. Шквирін, Г. В. Повх, А. Я. Задорожний. – № u200604825; заявл. 03.05.2006; опубл. 16.10.2006, Бюл. № 10. – 3 с.

26. Пат. 2300709 РФ, F24D3/08, F24D19/10. Автоматизированный тепловой пункт системы отопления (варианты) / В.О. Буровцев – Опубл. бюл. № 16, 2006.

27. Pat. 4671459 United States, F23N 1/08, F24D 3/08, Regulating device for a central heating plant containing a hot water supply / Jan A. Stapensea, assignee B. V. Fasto Buinen, Netherlands – № 798010; filed. Nov. 14, 1985; publ. Jun. 9, 1987. – 4 p.

28. Пат. 51886 Україна, МПК F24D 3/08 (2006.01), F24D 3/18 (2006.01). Тепловий пункт системи тепlopостачання / В. В. Бойчук, В. В. Голеншин, заявник та власник Національний університет кораблебудування імені Адмірала Макарова. – № u200913769; заявл. 28.12.2009; опубл. 10.08.2010, Бюл. №15. – 3 с.

29. Туркин В.П. Автоматическое управление отоплением жилых зданий / В.П. Туркин, П.В.Туркин, Ю.Д. Тыщенко. – М.: Стройиздат, 1987. – 192 с.

30. Пырков В.В. Современные тепловые пункты. Автоматика и регулирование. – К.: ИДП «Такі справи», 2007. – 252 с.

31. Сафонов А.П. Автоматизация систем централизованного теплоснабжения. – М.: Энергия, 1974. – 272 с.

32. Соколов Е.Я. О схемах автоматизации абонентских установок / Е.Я. Соколов, Н.М. Зингер, Ю.В. Канонович // Водоснабжение и санитарная техника. – 1980. – № 10. – С. 17–19.

33. Чистович С.А. Автоматизированные системы теплоснабжения и отопления / С.А. Чистович, В.К. Аверьянов, Ю.Я. Темпель. – Л.: Стройиздат, 1987. – 184 с.

34. Пырков В.В. Современные тепловые пункты. Автоматика и регулирование. – К.: ИДП «Такі справи», 2007. – 252 с.

35. [Электронный регулятор температуры](#) [Электронный ресурс] / ТОВ «Промышленный Союз». – Режим доступа до сайту: <http://promsouz.com/temp10.html> – Назва з екрану

36. Комбинированный регулятор перепада давления - температуры киарм [Электронный ресурс] / ТОВ «КІАРМ». – Режим доступа до сайту: <http://www.kiarm.ua/avtomatic.html> – Назва з екрану

37. Промышленный контроллер для регулирования температуры в системах отопления ОВЕН ТРМ32 [Электронный ресурс] / ТОВ «ОВЕН». – Режим доступа до сайту: http://www.owen.ru/catalog/promishlennij_kontroller_dlya_regulirovaniya_temperaturi_v_sistemah_otopleniya_oven_trm32/opisanie – Назва з екрану

38. Регулятор ECL COMFORT 300 [Электронный ресурс] / Компания «Danfoss». – Режим доступа до сайту: <http://www.danfoss.com/Ukraine/NewsAndEvents/News/ECL-Comfort-200-and->

300-old-version/9A5649EC-33C0-4EC7-8BD9-2B0EE5F85ABC.html – Назва з

екрану.

39. Контроллеры / Серия ASC - контроллеры для солнечных коллекторов [Электронный ресурс] / Компания «Honeywell». – Режим доступа до сайту: <http://honeywell-ec.ru/catalog/163/> – Назва з екрану.

40. Ротов П.В. Способы регулирования тепловой нагрузки систем теплоснабжения. Перспективы развития // Новости теплоснабжения. – 2007. – №2(78). – С. 32–35.

41. Соколов Е.Я. Система группового регулирования отопительной нагрузки, построенная на основе математического моделирования / Е.Я. Соколов, Н.Н. Рожков, А.В. Извеков, Д.Н. Анисимов // Теплоэнергетика. – 1990. – № 9. – С. 40–44.

42. Шарапов В.И. Регулирование нагрузки систем теплоснабжения / В.И. Шарапов, П.В. Ротов. – М.: Изд-во «Новости теплоснабжения», 2007. – 165 с.

43. Витальев В.П. Эксплуатация тепловых пунктов и систем теплоснабжения: Справочник / В.П. Витальев, В.Б. Николаев, Н.Н. Сельдин. – М.: Стройиздат. 1988. – 326 с.

44. Гершкович В.Ф. Энергосбережение в зданиях. – К.: Киев ЗНИИЭП, 2004. – 24 с.

45. Viessmann. Книга о «солнце» [Текст] / Руководство по проектированию систем солнечного теплоснабжения, 2010.

46. Аvezов Р. Р. Солнечные системы отопления и горячего водоснабжения / Р.Р. Аvezов., А.Ю. Орлов . – Ташкент: ФАН, 1988. – 285 с.

47. Технічні характеристики сонячних колекторів промислової групи Viessmann [Електронний ресурс] / ТОВ "ВІССМАНН". – Режим доступу до сайту: <http://www.viessmann.ua>. – Назва з екрану.

48. Материалы по проектированию фирмы Vaillant [Электронный ресурс] / ООО "Вайлант Групп Рус". – Режим доступу до сайту: www.vaillant.ru. – Назва з екрану.

49. Технічні характеристики сонячних колекторів компанії Atmosfera [Електронний ресурс] / Компанія «Атмосфера.УА». – Режим доступу до сайту: <http://shop.atmosfera.ua>. – Назва з екрану.

50. Андрющенко А.И. Теплофикационные установки и их использование / А.И. Андрющенко, Р.З. Алимов, Ю.М. Хлебалов. – М.: Высшая школа, 1989. – 256 с.

51. А.с. 974044 СССР. Устройство для регулирования расхода тепла на отопление / Е.Я. Соколов, Б.Г. Борисов и др. Открытия. Изобретения. 1982. – № 24.

52. Круковский П.Г. Разработка и верификация трехмерных CFD-моделей теплового режима помещений с различными системами отопления / П.Г. Круковский, Г.А. Пархоменко // Промышленная теплотехника. – 2009. – Т.31, № 7. – С. 74–75.

53. Круковский П.Г. Определение параметров теплопотерь помещения на основе трехмерных моделей / П.Г. Круковский, Г.А. Пархоменко, А.С. Полубинский // Промышленная теплотехника. – 2010. – Т.32, №4. – С. 87–93.

54. Гершкович В.Ф. Энергосбережение в зданиях. – К.: Киев ЗНИИЭП, 2004. – 24 с.

55. Babak V.P. Mathematical models automatized unit of heat consumption regulation with solar collectors and the heat accumulator / V.P. Babak, B.D. Bileka, A.O. Nazarenko // NDT days 2013 : Int. Conf., 17 – 21 June 2013. – Sozopol, Bulgaria., 2013 – P. 120-123.

56. Назаренко А.О. Вимірювання теплового опору огорожувальних конструкцій будівлі / А.О. Назаренко // Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах: міжнар. наук. конф., 29-31 жовтня 2013 р.: тези доп. – Вінниця, 2013. – С. 135-139.

57. Назаренко А.О. Система управління теплоспоживанням з сонячними колекторами / А.О. Назаренко // Метрологія та прилади. – 2013. – №2 (40). – С. 151-158

58. Куценко А.С. Математическое моделирование управляемого процесса теплоснабжения зданий / А. С. Куценко, В. И. ТОВАЖНЯНСКИЙ, С. В. Коваленко // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2013. – №1. – С. 36-44.

59. Маляренко В.А. Анализ критерия энергоэффективности зданий и сооружений / В.А. Маляренко, Н.А. Орлова // Інтегровані технології та енергозбереження, 2004. - №2. – С. 43–48.

60. Вороновский Г.К. Усовершенствование практики оперативного управления крупными теплофикационными системами в новых экономических условиях / Г.К. Вороновский. – Х: Харьков, 2002. – 240 с.

61. Дуэль М.А. Автоматизированные системы управления энергоблоками с использованием средств вычислительной техники / М.А. Дуэль. - М.: Энергоиздат, 1983. – 208 с.

62. Табунщиков Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. – 194 с.

63. Маляренко В.А. Основи теплофізики будівель та енергозбереження / В.А. Маляренко. – Х.: «Видавництво САГА», 2006. – 484 с.

64. Сигорский В.П. Математический аппарат инженера / В.П. Сигорский – Киев: Техніка. 1975. – 768 с.

65. Шорин С.Н. Теплопередача / С.Н. Шорин. - М.: Стройиздат, 1952. – 339 с.

66. Куценко А.С. Математическая модель теплового режима здания как объекта управления / А.С. Куценко, С.В. Коваленко Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-25 [текст]: сб. трудов XXV Междунар. науч. конф.: в 10т. Т.4 Секции 6, 7,13 / под общ. ред. А.А. Большакова. – Волгоград: Волгогр. Гос. техн. ун-т 2012; Харьков: Национ. техн. ун-т «ХПИ», 2012. – С. 190–191.

67. Картвелишвили Н.А. Идеализация сложных динамических систем / Н.А. Картвелишвили, Ю.И. Галактионов. – М.: «Наука», 1976. – 272 с.

68. ГОСТ 8.009-84. ГСИ. Нормирование и использование метрологических характеристик средств измерений. – М.: Издательство стандартов, 1984.

69. Назаренко А.О. Результати експериментального дослідження теплового стану офісної будівлі з системою комбінованого теплоспоживання / А.О. Назаренко, Б.Д. Білека, Т.Т. Супрун // IX Міжнародна конференція «Проблеми промислової теплотехніки»: наук. конф., 20-22 жовтня 2015 р.: тези доп. – К., 2015. – С. 75.

70. Опалінський С. Методи заповнення, підживлення й спорожнення систем центрального опалення // Ринок інсталяційний. – 2000. – № 4. – С.7–9.

71. Дзелтис Э.Э. Управление системами кондиционирования микро-климата: Справ. пособ. – М.: Стройиздат, 1990. – 176 с.

72. Petitjean R. Total hydronic balancing: A handbook for design and troubleshooting of hydronic HVAC systems. – Gothenburg: TA AB, 1994. – 530p.

73. Дюскин В.К. Количественно-качественное регулирование тепловых сетей. – М.: Госэнергоиздат, 1959. – 145 с.

74. Бабак В.П. Автоматизація регулювання теплоспоживання об'єктів ЖКГ // Модернізація ЖКГ на засадах державно-приватного партнерства: Матеріали Міжнародної НТК (11-12 вересня 2012 р.). – Запоріжжя, 2012. – С. 25–34.

75. Назаренко О.О. Погодозалежне регулювання в системах теплопостачання / О.О. Назаренко, Є.Г. Жовнорук // Нова тема. – 2010. – № 3. – С. 35–37.

76. Хрилев Л.С. Оптимизация систем теплофикации и централизованного теплоснабжения / Л.С. Хрилев, И.А. Смирнов. – М.: Энергия, 1978. – 264 с.

77. Наумник Е. М. Оптимизация системы теплоснабжения Минска / Е. М. Наумчик // Энергосбережение. – 2011. – №1. С. 15-19

78. Бабак В.П. Автоматизація індивідуальних теплових пунктів з комбінованим використанням енергії // Технологические системы. – 2010. –

№1(50). – С. 96–104.

79. Бабак В.П. Управління автоматизованими індивідуальними тепловими пунктами / В.П. Бабак, А.В. Ковальчук // Комплексное решение проблем энергосбережения в промышленной энергетике: Матеріали ХХVIII Міжнародної конференції “UKR-POWER 2010”. – Ялта, 2010. – С. 68–72.

80. Бабак В.П. Автоматизований пункт керування теплоспоживанням / В.П. Бабак, Б.Д. Білека, А.О. Назаренко // Промышленная теплотехника. – 2013. – №1 (35). – С. 57-65.

81. Бабак В.П. Автоматизовані системи керування теплоспоживанням: сучасний стан та перспективи впровадження / В.П. Бабак, О.О. Назаренко, А.О. Назаренко // Промышленная теплотехника. – 2014. – № 6(36). – С. 38-45.

82. Бабак В.П. Автоматизація і контроль регулювання теплоспоживання з використанням сонячних колекторів та акумуляції тепла / В.П. Бабак, А.О. Назаренко // Неруйнівний контроль і технічна діагностика: наук конф., 20 - 23 листопада 2012 р.: тези доп. – К., 2012. – С. 229-231.

83. Бабак В.П. Контроль и автоматизация регулирования теплопотребления / В.П. Бабак, А.О. Назаренко // Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики : междунар. науч.-техн. конф., 1-5 октября 2012 г. : тезисы. докл. – К., 2012. – С. 40-42.

84. Nazarenko A.O. Automated system for regulation heat consumption / A.O. Nazarenko // Safety in Aviation and Space Technologies : World Congress, 25-27 September 2012: theses – К., 2012. – P. 3.5.54-3.5.58.

85. Назаренко А.О. Експериментальні дослідження автоматизованого пункту керування теплоспоживанням / А.О. Назаренко // Промышленная теплотехника. – 2013. – №2 (35). – С. 43-49.

86. Бабак В.П. Система керування теплоспоживанням з сонячними колекторами та акумулятором тепла / В.П. Бабак, О.О. Назаренко, А.О. Назаренко // Промышленная теплотехника. – 2013. – №4(35). – С. 31-38.

87. Пат. 72168 Україна, МПК (2012.01) F24J 2/00. Автоматизований тепловий пункт / А.А. Долінський, В.П. Бабак, О.О. Назаренко, Є.Г.

Жовнорук, А.В. Тихонюк, А.О. Назаренко, заявник та власник Інститут технічної теплофізики НАН України. – и 201200779; заявл. 25.01.2012; опубл. 10.08.2012, Бюл. №15.

88. Allard F. European actions to improve energy efficiency of buildings / F. Allard , O.Seppänen // *Rehva Journal*. – 2008. – vol. 45. no. 1. – pp. 10-20.

89. Torkar J. Economical heat production and distribution/ J. Torkar , D. Goricanec , J. Krope // *Proceedings of the 3rd IASME/WSEAS Int. Conference on Heat Transfer, Thermal Engineering and Environment – 2005*. – pp. 18-23.

90. Даффи Дж.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии / Дж.А. Даффи, У.А. Бекман. – М.: Мир, 1977.

91. Гамбург П. Ю. Расчёт солнечной радиации в строительстве. – М.: Стройиздат, 1966. - 140 с.

92. Попель О.С., Фрид С. Е., Коломиец Ю. Г. Анализ показателей эффективности использования солнечных водонагревательных установок // *Сантехника, отопление, кондиционирование*. – 2004. – № 4. – С. 104-109

Додатки

Додаток А

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЛОКУ КЕРУВАННЯ

```

#include "ff.h"
#include "diskio.h"
#include "menu_kiu.h"
#include "control_v10.h"

extern TUsart0          Usart0;
extern THoliday        Holiday;
extern TTimeDate       TimeDate;
extern TAnalogSensor   AnalogSensors[];
extern TProfileDaily   WorkDayDiagram;
extern TProfileDaily   HolidayDiagram;
extern TProfileTemperature TemperatureDiagram;

extern TMenu WorkScreen;
extern TMenu PasswordScreen;
extern TMenu MainMenu;
extern TMenu Tuning;

extern void WriteSDMMC();

TNasos Nasos(0, SCAN_TIME);
TRelay TControl::ReleAvariya(&PORTG, PORTG1);

bool TControl::blink;
bool TControl::flag_bell_Off;
bool TControl::FlagSetV;
bool TControl::EditFlag;
bool TControl::FlagViewSetting;

int8_t TControl::cnt;
int8_t TControl::cnt_min_log;
uint8_t TControl::fault;
uint8_t TControl::next_fault;
int8_t TControl::UserTemperature;

int16_t TControl::cnt_sec;
int16_t TControl::direction;
int16_t TControl::coefficient;
int16_t TControl::count_bell;
int16_t TControl::cnt_time_log;

float TControl::AirTemperature;
float TControl::InputWaterTemperature;
float TControl::CurrentInputWaterTemperature;
float TControl::SetInputWaterTemperature;
float TControl::OutputWaterTemperature;
float TControl::RoomTemperature;

```



```

float      TControl::AlarmInputWaterTemperature;
float      TControl::AlarmOutputWaterTemperature;

TControl::TControlSelect  TControl::Selection;
TControl::TModeKlapan     TControl::KlapanMode;

TDAC       TControl::VoltageOut1(DAC_A);
TDAC       TControl::VoltageOut2(DAC_B);

float      deltaTemperatureHeatCarrying;

//-----//

TDIControl::TDIControl()
{
    if (Pause < PAUSE_DI_MIN || Pause > PAUSE_DI_MAX)
        Pause = PAUSE_DI;
    if (Pulse < PULSE_DI_MIN || Pulse > PULSE_DI_MAX)
        Pulse = PULSE_DI;
}

void TDIControl::Update(float sVal, float mVal)
{
    CurrentDeadZone = TControl::GetDeadZone() / 2.0;
    CurrentSetValue = sVal;
    error = CurrentSetValue - mVal;
    switch (State)
    {
        case StartPulse:
            if (fabs(error) <= CurrentDeadZone)
            {
                TControl::direction = 0;
                TControl::OutHighLowOff();
                CurrentPulse = 0;
                TPulse = 0;
                CurrentPause = Pause;
                State = ProcesingPause;
            }
            else
            {
                if (error > 0)
                {
                    TControl::direction = 1;
                    TControl::OutHighOn();
                }
                else
                {
                    TControl::direction = -1;
                    TControl::OutLowOn();
                }
                CurrentPulse = Pulse;
                TPulse = Pulse;
                CurrentPause = Pause;
                State = ProcesingPulse;
            }
            break;
        case ProcesingPulse:
            if (++Count_time == CurrentPulse / T_QUANT)

```

```

        {
            Count_time = 0;
            State = ProcesingPause;
            TControl::OutHighLowOff();
        }
        break;
    case ProcesingPause:
        if (++Count_time == CurrentPause / T_QUANT)
        {
            Count_time = 0;
            State = StartPulse;
        }
        break;
    }
}

void TDIControl::FactorySetting()
{
    Pause = PAUSE_DI;
    Pulse = PULSE_DI;
}

//-----//

TPIDControl::TPIDControl()
{
    if (IsNan(Ku))
        Ku = K;
    else
        if (Ku < KU_MIN || Ku > KU_MAX)
            Ku = K;
    if (Ti < TI_MIN || (uint16_t)Ti > TI_MAX)
        Ti = TI_MAX;
    if (Td < TD_MIN || (uint16_t)Td > TD_MAX)
        Td = TD_MIN;
    if (Period < PERIOD_PID_MIN || Period > PERIOD_PID_MAX)
        Period = PERIOD_PID;
}

void TPIDControl::Procesing()
{
    switch(CalcParameters())
    {
        case -1:
            if (TauPulse > 0)
            {
                TControl::OutLowOn();
                State = ProcesingPulse;
            }
            else
                State = ProcesingPause;
            break;
        case 0:
            TControl::OutHighLowOff();
            State = ProcesingPause;
            break;
        case 1:
            if (TauPulse > 0)

```

```

        {
            TControl::OutHighOn();
            State = ProcesingPulse;
        }
    else
        State = ProcesingPause;
    break;
}
}

void TPIDControl::UpDate(float sVal, float mVal)
{
    CurrentMeasurentValue = mVal;
    CurrentSetValue = sVal;
    CurrentK = Ku;// / 10;
    CurrentTi = Ti;
    CurrentTd = Td;
    CurrentPeriod = Period;
    CurrentDeadZone = TControl::GetDeadZone() / 2.0;
    CurrentTransmitionTime = TControl::TransmitionTime;
    error = (CurrentSetValue - CurrentMeasurentValue);

    switch (State)
    {
        case StartPulse:
            Procesing();
            break;
        case ProcesingPulse:
            if (TauPulse > 0)
            {
                if (++Count_time == TauPulse)
                {
                    TControl::OutHighLowOff();
                    State = ProcesingPause;
                }
            }
            else
            {
                Count_time = 0;
                State = ProcesingPause;
            }
            break;
        case ProcesingPause:
            if (++Count_time >= CurrentPeriod / T_QUANT)
            {
                Count_time = 0;
                Procesing();
            }
            break;
    }
}

int TPIDControl::CalcParameters()
{
    if (fabs(error) < CurrentDeadZone)
    {
        error = 0;
        sum_error = 0;
    }
}

```

```

    }
    // вычисление дифференциальной составляющей
    if(CurrentTd > 0)
        Differential = (CurrentK * CurrentTd / CurrentPeriod)
* (LastProcessValue - CurrentMeasurentValue);
    else
        Differential = 0;
    // вычисление интегральной составляющей
    if (CurrentTi > 0)
    {
        if(abs(error) <= 20.0 * CurrentDeadZone)
        {
            sum_error += error;
            if(sum_error > CurrentPeriod)
                sum_error = CurrentPeriod;
            else
                if(sum_error < -CurrentPeriod)
                    sum_error = -CurrentPeriod;
            Integral = CurrentK * sum_error *
CurrentPeriod / CurrentTi;
            if(Integral < -CurrentPeriod)
                Integral = -CurrentPeriod;
            else
                if(Integral > CurrentPeriod)
                    Integral = CurrentPeriod;
        }
        else
        {
            Integral = 0;
            sum_error = 0;
        }
    }
    else
    {
        Integral = 0;
        sum_error = 0;
    }
    // Полный сигнал
    TPulse = (int)(CurrentK * error + Integral + Differential);

    LastProcessValue = CurrentMeasurentValue;
    TauPulse = (int)(TPulse / T_QUANT); // длительность управляющего
импульса в тиках (0.5 сек)
    TauPulse = abs(TauPulse); // длительность управляющего
импульса в секундах

    if ((error == 0) || (TauPulse == 0))
        TControl::direction = 0;
    else
    {
        if (TPulse < 0)
            TControl::direction = -1;
        else
            TControl::direction = 1;
    }
    return TControl::direction;
}

```

```

void TPIDControl::FactorySetting()
{
    Ku = K;
    Ti = TI;
    Td = TD;
    Period = TRANSMISSION_TIME;
}

//-----//

TControl::TControl(PRG_PTR pn) : TMenuItem(pn)
{
    DDRA_DDA3 = 1;
    DDRC_DDC5 = 1; // Больше
    DDRC_DDC6 = 1; // Меньше
    LED_AVARIYA_OFF();
    ReleAvariya.Off(); // выкл. реле "АВАРИЯ"!!!
    TriacBolsheOff();
    TriacMensheOff();
    if (ControlType != eDI && ControlType != ePID)
        ControlType = eDI;
    if (SetModeControl != ePZU && SetModeControl != eNU &&
        SetModeControl != eRU)
        SetModeControl = ePZU;
    if ((int)(10 * SetUserTemperature) <
        TProfileTemperature::TemperatureProfile[2].Y_value)
        SetUserTemperature =
        (int8_t)(TProfileTemperature::TemperatureProfile[2].Y_value/10.0);
    else
        if ((int)(10 * SetUserTemperature) <
            TProfileTemperature::TemperatureProfile[1].Y_value)
            SetUserTemperature =
            (int8_t)(TProfileTemperature::TemperatureProfile[1].Y_value/10.0);
        else
            if ((int)(10 * SetUserTemperature) >
                TProfileTemperature::TemperatureProfile[0].Y_value)
                SetUserTemperature =
                (int8_t)(TProfileTemperature::TemperatureProfile[0].Y_value/10.0);
            UserTemperature = SetUserTemperature;
            if (TransmissionTime < TRANSMISSION_TIME_MIN || TransmissionTime >
                TRANSMISSION_TIME_MAX)
                TransmissionTime = TRANSMISSION_TIME;
            if (DeadZone < DEAD_ZONE_MIN || DeadZone > DEAD_ZONE_MAX)
                DeadZone = DEAD_ZONE;
                if (TimeLog < TIME_LOG_MIN || TimeLog > TIME_LOG_MAX)
                    TimeLog = TIME_LOG_MIN;
                if (Thmin < T_HOME_MIN || Thmin > T_HOME_MAX)
                    Thmin = T_HOME_MIN;
                if (Tpvmin < T_PV_MIN || Tpvmin > T_PV_MAX)
                    Tpvmin = T_PV_MIN;
                if (Tpvmax < T_PV_MIN || Tpvmax > T_PV_MAX)
                    Tpvmax = T_PV_MAX;
                if (Tovmin < T_OV_MIN || Tovmin > T_OV_MAX)
                    Tovmin = T_OV_MIN;

            switch(SetModeControl)
            {
            case ePZU:

```

```

        case eNU:
            switch (GetControlType())
            {
                case eDI:
                    DI.ClearCountTime();
                    break;
                case ePID:
                    PID.ClearCountTime();
                    break;
            }
            break;
        case eRU:
            SetControlHAND();
            break;
    }
    InitTimer3();
}

void TControl::InitTimer3()
{
    DisableTimer3CompAInterrupt();
    StopTimer3();
    TCNT3 = 0x0000;
    OCR3A = 0x1C1E;
    OCR3B = 0x1C1E;
    OCR3C = 0x1C1E;
    ICR3 = 0x1C1E;
    TCCR3A = 0x00;
    TCCR3C = 0x00;
    TCCR3B_WGM32 = 1; // установили CTC режим работы таймера
}

void TControl::Start()
{
    TIFR3_OCF3A = 1;
    StartTimer3();
    EnableTimer3CompAInterrupt();
    switch (SetModeControl)
    {
        case ePZU:
        case eNU:
            Nasos.On();
            break;
        case eRU:
            break;
    }
}

void TControl::Stop()
{
    StopTimer3();
    DisableTimer3CompAInterrupt();
}

void TControl::UpDate(float sVal, float mVal)
{
    switch (ControlType)
    {

```

```

        case eDI:
            DI.UpDate(sVal, mVal);
            break;
        case ePID:
            PID.UpDate(sVal, mVal);
            break;
    }
}

void TControl::SetControlDI()
{
    ControlType = eDI;
    DI.ClearCountTime();
    Nasos.On();
}

void TControl::SetControlPID()
{
    ControlType = ePID;
    PID.ClearCountTime();
    PID.ClearSumError();
    Nasos.On();
}

void TControl::SetControlHAND()
{
    DI.ClearCountTime();
    PID.ClearCountTime();
    OutHighLowOff();
    switch (GetSelection())
    {
        case TControl::NASOS:
            SetSelectionNasos();
            break;
        case TControl::KLAPAN:
            SetSelectionKlapan();
            break;
        case TControl::ZVONOK:
            SetSelectionZvonok();
            break;
    }
}

void TControl::FactorySetting()
{
    ControlType = eDI;
    DI.FactorySetting();
    PID.FactorySetting();
    SetUserTemperature =
(int8_t)(TProfileTemperature::TemperatureProfile[1].Y_value/10.0);
    UserTemperature = SetUserTemperature;
    TransmitionTime = TRANSMITION_TIME;
    DeadZone = DEAD_ZONE;
    TimeLog = TIME_LOG_MIN;
    Thmin = T_HOME_MIN;
    Tpvmin = T_PV_MIN;
    Tpvmax = T_PV_MAX;
}

```

```

void TControl::OutHighLowOff()
{
    TriacMensheOff(); // выключили управление МЕНЬШЕ
    TriacBolsheOff(); // выключили управление БОЛЬШЕ
    direction = 0;
    KlapanMode = STOP;
}

void TControl::OutHighOn()
{
    if (GetMode() == TControl::RUCHNOY)
    {
        TriacMensheOff(); // выключили управление
МЕНЬШЕ
        OS::sleep(17);
        TriacBolsheOn(); // включили управление БОЛЬШЕ
        KlapanMode = RIGHT;
        VoltageOut1.Increment();
        VoltageOut2.Increment();
    }
    else
    {
        if (Nasos.GetState() == WORK)
        {
            TriacMensheOff(); // выключили
управление МЕНЬШЕ
            OS::sleep(17);
            TriacBolsheOn(); // включили управление
БОЛЬШЕ
            KlapanMode = RIGHT;
            VoltageOut1.Increment();
            VoltageOut2.Increment();
        }
        else
            OutHighLowOff();
    }
}

void TControl::OutLowOn()
{
    if (GetMode() == TControl::RUCHNOY)
    {
        TriacBolsheOff(); // выключили управление
БОЛЬШЕ
        OS::sleep(17);
        TriacMensheOn(); // включили управление МЕНЬШЕ
        KlapanMode = LEFT;
        VoltageOut1.Decrement();
        VoltageOut2.Decrement();
    }
    else
    {
        if (Nasos.GetState() == WORK)
        {
            TriacBolsheOff(); // выключили
управление БОЛЬШЕ
            OS::sleep(17);

```



```

TriacMensheOn(); // включили управление
МЕНЬШЕ
        KlapanMode = LEFT;
                                VoltageOut1.Decrement();
                                VoltageOut2.Decrement();
        }
        else
            OutHighLowOff();
    }
}

void TControl::IncUserTemperature()
{
    UserTemperature++;
    if (UserTemperature >
(char) (TProfileTemperature::TemperatureProfile[0].Y_value/10.0))
        UserTemperature--;
}

void TControl::DecUserTemperature()
{
    UserTemperature--;
    if (UserTemperature <
(char) (TProfileTemperature::TemperatureProfile[2].Y_value/10.0))
        UserTemperature++;
}

void TControl::CheckSensorTrpv() // проверка термометра прямой воды
{
    if (AnalogSensors[INPUT_WATER_THERMOMETER].GetState() !=
NORMAL)
        SetFaultChanel(eSensorInputWaterTemperature); //
термометр прямой воды НЕ ИСПРАВЕН
}

void TControl::CheckSensorTov() // проверка термометра обратной воды
{
    if (AnalogSensors[OUTPUT_WATER_THERMOMETER].GetState() !=
NORMAL)
        SetFaultChanel(eSensorOutputWaterTemperature); //
термометр обратной воды НЕ ИСПРАВЕН
}

void TControl::CheckSensorTnv() // проверка термометра наружного
воздуха
{
    if (AnalogSensors[AIR_THERMOMETER].GetState() != NORMAL)
        SetFaultChanel(eSensorAirTemperature); //
термометр наружного воздуха НЕ ИСПРАВЕН
}

void TControl::CheckTrpv() // проверка температуры
прямой воды
{
    CurrentInputWaterTemperature =
AnalogSensors[INPUT_WATER_THERMOMETER].GetTemperature();
    if ((int8_t)CurrentInputWaterTemperature > Trpvmax ||
(int8_t)CurrentInputWaterTemperature < Trpvmin)

```

```

        { // температура прямой воды выше нормы
          AlarmInputWaterTemperature =
CurrentInputWaterTemperature;
          SetFaultChanel (eInputWaterTemperature);
        }
    }

void TControl::CheckTov() // проверка температуры
обратной воды
    {
        OutputWaterTemperature =
AnalogSensors[OUTPUT_WATER_THERMOMETER].GetTemperature();
        if ((int8_t)OutputWaterTemperature < Tovmin)
            { // температура обратной воды ниже нормы
                AlarmOutputWaterTemperature =
OutputWaterTemperature;
                SetFaultChanel (eOutputWaterTemperature);
            }
    }

void TControl::Point_of_heat() // управление теплопунктом
    {
        if (Holiday.Search(TTimeDate::RTC.mday,
TTimeDate::RTC.month) == -1)
            coefficient =
WorkDayDiagram.GetCoefficient(TTimeDate::RTC);
        else
            coefficient =
HolidayDiagram.GetCoefficient(TTimeDate::RTC);

        switch (GetMode())
        {
            case POGODNIY:
                CheckSensorTnv();
                CheckSensorTpv();
                CheckSensorTov();
                AirTemperature =
AnalogSensors[AIR_THERMOMETER].GetTemperature();
                InputWaterTemperature =
TemperatureDiagram.CalcCarrierTemperature(AirTemperature);
                CheckTpv();
                CheckTov();
                if ((fault & ~(1 << eNasos) | (1 <<
eSensorRoomTemperature)) == 0)
                    {
                        deltaTemperatureHeatCarrying =
InputWaterTemperature * coefficient / 100;
                        SetInputWaterTemperature =
InputWaterTemperature + deltaTemperatureHeatCarrying;
                        Update(SetInputWaterTemperature,
CurrentInputWaterTemperature);
                    }
                else
                    OutHighLowOff();

            break;

            case NEZAVISIMIY:
                AirTemperature =
AnalogSensors[AIR_THERMOMETER].GetTemperature();

```

```

        CheckSensorTpv();
        CheckSensorTov();
        CheckTpv();
        CheckTov();
        if ((fault & ~((1 << eNasos) | (1 <<
eSensorRoomTemperature))) == 0)
        {
            deltaTemperatureHeatCarrying =
UserTemperature * coefficient / 100;
            SetInputWaterTemperature =
UserTemperature + deltaTemperatureHeatCarrying;
            Update(SetInputWaterTemperature,
CurrentInputWaterTemperature);
        }
        else
            OutHighLowOff();

        break;
        case RUCHNOY:
            CurrentInputWaterTemperature =
AnalogSensors[INPUT_WATER_THERMOMETER].GetTemperature();
            OutputWaterTemperature =
AnalogSensors[OUTPUT_WATER_THERMOMETER].GetTemperature();
            AirTemperature =
AnalogSensors[AIR_THERMOMETER].GetTemperature();
            break;
        }
    }

void TControl::DrawWeekDay()
{
    if (Holiday.Search(TTimeDate::RTC.mday,
TTimeDate::RTC.month) == -1)
        TRDX0154::DrawIcon(71, STR1, 8, 8, false,
WeekDayBlank8x8);
    else
        TRDX0154::DrawIcon(71, STR1, 8, 8, false, WeekDay8x8);
}

void TControl::DrawHeatInputWaterT()
{
    switch (GetMode())
    {
        case POGODNIY:
            TRDX0154::DrawText(TRDX0154::Font7x8Bold,
false, 34, STR6, (PRG_PTR) "      ");
            TRDX0154::DrawIcon(51, STR2, 32, 40, false,
HeatExchanger32x40);
            TRDX0154::DrawText(TRDX0154::Font6x8, false,
56, STR3, (PRG_PTR) "%+2.2d%", GetCoefficient()); // k
            break;
        case NEZAVISIMIY:
            TRDX0154::DrawText(TRDX0154::Font7x8Bold,
false, 34, STR6, (PRG_PTR) "      ");
            TRDX0154::DrawIcon(51, STR2, 32, 40, false,
HeatExchanger32x40);
            TRDX0154::DrawText(TRDX0154::Font6x8, false,
56, STR3, (PRG_PTR) "%+2.2d%", GetCoefficient()); // k
            if (EditFlag == false)

```

```

                                TRDX0154::DrawText(TRDX0154::Font6x8,
false, 56, STR5, (PRG_PTR)"%3.0f°", (float)UserTemperature); // t
                                else
                                TRDX0154::DrawText(TRDX0154::Font6x8,
true, 56, STR5, (PRG_PTR)"%3.0f°", (float)UserTemperature); // t
                                break;
                                case RUCHNOY:
                                TRDX0154::DrawIcon(51, STR2, 32, 40, false,
HeatExchangerBlank32x40);
                                break;
                                }
                                switch(GetControlType())
                                {
                                case TControl::ePID:
                                switch (GetDirection())
                                {
                                case -1:
                                if (PID.GetTauPulse() == 0)
                                TRDX0154::DrawIcon(59,
STR7, 16, 16, false, KlapanStop16x16);
                                else
                                TRDX0154::DrawIcon(59,
STR7, 16, 16, false, KlapanRight16x16);
                                break;
                                case 0:
                                TRDX0154::DrawIcon(59,
STR7, 16, 16, false, KlapanStop16x16);
                                break;
                                case 1:
                                if (PID.GetTauPulse() == 0)
                                TRDX0154::DrawIcon(59,
STR7, 16, 16, false, KlapanStop16x16);
                                else
                                TRDX0154::DrawIcon(59,
STR7, 16, 16, false, KlapanLeft16x16);
                                break;
                                }
                                break;
                                case TControl::eDI:
                                switch (GetDirection())
                                {
                                case -1:
                                if (DI.GetPulse() == 0)
                                TRDX0154::DrawIcon(59,
STR7, 16, 16, false, KlapanStop16x16);
                                else
                                TRDX0154::DrawIcon(59,
STR7, 16, 16, false, KlapanRight16x16);
                                break;
                                case 0:
                                TRDX0154::DrawIcon(59,
STR7, 16, 16, false, KlapanStop16x16);
                                break;
                                case 1:
                                if (DI.GetPulse() == 0)
                                TRDX0154::DrawIcon(59,
STR7, 16, 16, false, KlapanStop16x16);
                                else

```

```

TRDX0154::DrawIcon(59,
STR7, 16, 16, false, KlapanLeft16x16);
break;
    }
    break;
}
}

void TControl::DrawMotorState()
{
    //----- индикация работы насоса -----
    if (Nasos.GetState() == WORK)
    {
        if (Nasos.GetStateRelay() == ON)
            TRDX0154::DrawIcon(43, STR7, 16, 16, false,
NasosOn16x16);
        else
            TRDX0154::DrawIcon(43, STR7, 16, 16, false,
NasosOff16x16);
    }
    else
    {
        SetFaultChanel(eNasos);
        if (blink == false)
            TRDX0154::DrawIcon(43, STR7, 16, 16, false,
NasosOn16x16);
        else
            TRDX0154::DrawIcon(43, STR7, 16, 16, false,
NasosBlank16x16);
    }
}

void TControl::DrawPogodnyj()
{
    TRDX0154::DrawText(TRDX0154::Font7x8Bold, false, 29, STR6,
(PRG_PTR) " ");
    TRDX0154::DrawText(TRDX0154::Font6x8, false, 96, STR6,
(PRG_PTR) " ");
    TRDX0154::DrawIcon(0, STR7, 16, 16, false,
PogodoZavisimoeUpravlenie16x16);
    switch (GetControlType())
    {
        case TControl::ePID:
            TRDX0154::DrawIcon(17, STR7, 24, 16, false,
PID24x16);
            break;
        case TControl::eDI:
            TRDX0154::DrawIcon(17, STR7, 24, 16, false,
DI24x16);
            break;
    }
    DrawHeatInputWaterT();
    DrawMotorState();
}

void TControl::DrawNezavisimyj()
{

```

```

        TRDX0154::DrawText(TRDX0154::Font7x8Bold, false, 29, STR6,
(PRG_PTR) "      ");
        TRDX0154::DrawIcon(0, STR7, 16, 16, false,
NezavisimoeUpravlenie16x16);
        switch (GetControlType())
        {
            case TControl::ePID:
                TRDX0154::DrawIcon(17, STR7, 24, 16, false,
PID24x16);
                break;
            case TControl::eDI:
                TRDX0154::DrawIcon(17, STR7, 24, 16, false,
DI24x16);
                break;
        }
        DrawHeatInputWaterT();
        DrawMotorState();
    }

void TControl::DrawRuchnoj()
{
    DrawHeatInputWaterT();
    TRDX0154::DrawText(TRDX0154::Font6x8, false, 96, STR7,
(PRG_PTR) "      ");
    TRDX0154::DrawIcon(0, STR7, 41, 16, false,
RuchnoeUpravlenie41x16);
    switch (GetSelection())
    {
        case ZVONOK:
            TRDX0154::DrawText(TRDX0154::Font7x8Bold,
false, 29, STR6, (PRG_PTR) "\x01F      ");
            break;
        case NASOS:
            TRDX0154::DrawText(TRDX0154::Font7x8Bold,
false, 29, STR6, (PRG_PTR) "      ");
            TRDX0154::DrawText(TRDX0154::Font7x8Bold,
false, 47, STR6, (PRG_PTR) "\x01F");
            break;
        case KLAPAN:
            TRDX0154::DrawText(TRDX0154::Font7x8Bold,
false, 29, STR6, (PRG_PTR) "      ");
            TRDX0154::DrawText(TRDX0154::Font7x8Bold,
false, 63, STR6, (PRG_PTR) "\x01F");
            break;
    }

    if (ReleAvariya.GetState() == ON)
        TRDX0154::DrawIcon(25, STR7, 16, 16, false,
ZvonokOn16x16);
    else
        TRDX0154::DrawIcon(25, STR7, 16, 16, false,
ZvonokOff16x16);

    if (Nasos.GetStateRelay() == OFF)
        TRDX0154::DrawIcon(43, STR7, 16, 16, false,
NasosOff16x16);
    else

```

```

        TRDX0154::DrawIcon(43, STR7, 16, 16, false,
NasosOn16x16);

        switch (KlapanMode)
        {
            case STOP:
                TRDX0154::DrawIcon(59, STR7, 16, 16, false,
KlapanStop16x16);
                break;
            case LEFT:
                TRDX0154::DrawIcon(59, STR7, 16, 16, false,
KlapanRight16x16);
                break;
            case RIGHT:
                TRDX0154::DrawIcon(59, STR7, 16, 16, false,
KlapanLeft16x16);
                break;
        }
    }

void TControl::DrawWorkMode()
{
    switch(GetMode())
    {
        case POGODNIY:
            DrawPogodnyj();
            break;
        case NEZAVISIMIY:
            DrawNezavisimyj();
            break;
        case RUCHNOY:
            DrawRuchnoj();
            break;
    }
}

void TControl::DrawAirTemperature()
{
    //
    //----- индикация температуры воздуха -----
    //
    TRDX0154::DrawIcon(0, STR2, 16, 8, false,
AirTemperature16x8);
    switch (AnalogSensors[AIR_THERMOMETER].GetState())
    {
        case NORMAL:
            TRDX0154::DrawText(TRDX0154::Font6x8, false,
20, STR3, (PRG_PTR) "%3.0f°C", AirTemperature);
            break;
        case SHORT_CIRCUIT:
        case DISCONNECTION:
            if(GetMode() == NEZAVISIMIY)
            {
                TRDX0154::DrawText(TRDX0154::Font6x8, false, 20, STR3, (PRG_PTR) "
--- ");
                break;
            }
    }
}

```

```

switch(GetMode())
{
    case TControl::POGODNIY:
        SetMode(TControl::eNU);
        (GetControlType())
        switch
        {
            case
                TControl::eDI:
                    SetControlDI();
                TControl::ePID:
                    SetControlPID();
                TControl::eRU:
                    SetMode(TControl::eRU);
                TControl::ePZU:
                    SetMode(TControl::ePZU);
                false;
                VoltageOut1.RestoryVoltage();
                VoltageOut2.RestoryVoltage();
                ReleAvariya.Off();
            case TControl::NEZAVISIMIY:
                SetControlHAND();
                break;
            case TControl::RUCHNOY:
                Nasos.On();
                if (FlagSetV == true)
                {
                    FlagSetV =
                }
                if (next_fault)
                    ReleAvariya.On();
                else
                    break;
        }
        }
    return;
}
if (Key_Up.IsClick())
{
    Sound();
    if (FlagViewSetting == false)
    {
        switch(GetMode())
        {
            case TControl::RUCHNOY:
                switch
                (GetSelection())

```



```

TControl::NASOS:
    SetSelectionZvonok();
    break;
TControl::KLAPAN:
    SetSelectionNasos();
    break;
}
break;
}
return;
}
if (Key_Down.IsClick())
{
    Sound();
    switch (GetMode())
    {
        case TControl::RUCHNOY:
            switch (GetSelection())
            {
                case TControl::ZVONOK:
                    SetSelectionNasos();
                    break;
                case TControl::NASOS:
                    SetSelectionKlapan();
                    break;
            }
            break;
    }
    return;
}
if (Key_Down.IsHoldDown())
{
    Sound();
    if (GetMode() != TControl::RUCHNOY)
    {
        if (FlagViewSetting == false)
        {
            cnt_sec = 0;
            FlagViewSetting = true;
            TInfo::ViewSetting();
        }
    }
    return;
}
if (Key_Menu.IsClick())
{
    Sound();
    if (FlagViewSetting == false)
    {
        if (flag_bell_Off == false)

```

```

        OffBellFault();
        TModbus::Off();
        TMenu::ptr = &PasswordScreen;
        TMenu::ptr->getCurMenu()->InitValue();
    }
    return;
}
if (Key_Esc.IsClick())
{
    Sound();
    if (FlagViewSetting == true)
    {
        cnt_sec = 0;
        FlagViewSetting = false;
        TRDX0154::FillVideoBuffer('\x00');
    }
    else
        OffBellFault();
    return;
}
}

void TControl::SetFaultChanel(TSensorName name)
{
    // установить канал индикации аварийного состояния
    if (fault == 0) //
первая аварийная ситуация?
    {
        // да
        fault = (1 << name);
        // фиксируем канал, по которому произошла авария
        eFault = fault;
        TTimeDate::DisableClock();
        // зафиксировали время
    }
    if ((next_fault & (1 << name)) == 0)
    {
        next_fault |= (1 << name);
        // зафиксировали очередную аварию
        eNextFault = next_fault;
        flag_bell_Off = false;
        // сбросили флаг отключения звонка
        LED_AVARIYA_ON();
        // включили индикатор "АВАРИЯ"
        ReleAvariya.On();
        // включили реле "АВАРИЯ"!!!
        if (SOCKINS)
        {
            WriteSDMMC();
            SPCR = 0;
        }
    }
}

void TControl::Alarm()
{
    // сигнализация аварии
    if (next_fault && !flag_bell_Off)

```

```

        {
            switch(++count_bell)
            {
                case 1:
                    BEEP_ON();
                    break;
                case CNT_TIME_ALARM_ON:
                    BEEP_OFF();
                    break;
                case CNT_TIME_ALARM_OFF:
                    count_bell = 0;
                    break;
            }
        }
    else
        count_bell = 0;
}

void TControl::OffBellFault()
{
    // выключить звонок авария
    if (flag_bell_Off == false)
        flag_bell_Off = true;
    else
    {
        // сброс всех аварийных каналов
        fault = 0;
        next_fault = 0;
        flag_bell_Off = false;
        Nasos.Off();
        // выкл. реле "НАСОС"
        ReleAvariya.Off(); // выкл.
        реле "АВАРИЯ"!!!
        TTimeDate::EnableClock(); // вкл. часы
        TTimeDate::ReadTimeDate(); // обновили время
        Nasos.On();
        LED_AVARIYA_OFF();
    }
}

bool TControl::IsFault(TSensorName name)
{
    // проверить аварийное состояние канала, если "1" - авария
    return (fault & (1 << name));
}

bool TControl::IsNextFault(TSensorName name)
{
    // проверить пред аварийное состояние канала, если
    // "1" - предварительная авария
    return (next_fault & (1 << name));
}

//-----
-----

uint32_t get_fatime (void)
{

```

```

/* Pack date and time into a DWORD variable */
return      (((uint32_t)(TTimeDate::RTC.year - 1980) << 25) |
             ((uint32_t)TTimeDate::RTC.month <<
21)          |
             ((uint32_t)TTimeDate::RTC.mday << 16)
             |
             ((uint32_t)TTimeDate::RTC.hour << 11)
             |
             ((uint32_t)TTimeDate::RTC.min << 5)
             |
             ((uint32_t)TTimeDate::RTC.sec >> 1));
}

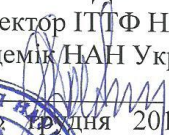
void TControl::WriteLogFile()
{
    if (TTimeDate::RTC.sec == 0)
    {
        if (cnt_min_log ^ TTimeDate::RTC.min)
        {
            cnt_time_log++;
            cnt_min_log = TTimeDate::RTC.min;
        }
    }
    if (SOCKINS)
    {
        if (fault == 0 && next_fault == 0)
        {
            if (cnt_time_log == TimeLog)
            {
                WriteSDMMC();
                cnt_time_log = 0;
                SPCR = 0;
            }
        }
    }
    else
        cnt_time_log = 0;
}

```

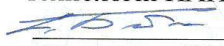
Додаток Б

АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ІТТФ НАН України,
академік НАН України А.А. Долінський
«01» грудня 2013р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ДП «НТЦ новітніх
технологій НАН України» С.В.Бабак
«01» грудня 2013 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

Інститут технічної теплофізики НАН України розробив систему керування теплоспоживання (СКТ), а ДП «НТЦ енергетичного приладобудування ІТТФ НАН України» спільно з ДП «НТЦ новітніх технологій НАН України» встановили СКТ в адміністративній будівлі ДП «НТЦ новітніх технологій НАН України».

СКТ використовується як постійно діючий тепловий пункт.

Особливість розробки: оптимізація теплових режимів та алгоритмів керування, контролю та автоматичного регулювання тепломеханічних параметрів обладнання теплового пункту на базі сучасного оригінального електронного регулятора з можливістю архівування всіх параметрів.

Економія енерговитрат за опалювальний період складає до 28% теплоти, що досягається за рахунок регулювання температури теплоносія в системі опалення залежно від зовнішньої температури, часу доби, дня тижня, зниження температури повітря в приміщеннях в період відсутності людей.

Директор ДП «НТЦ ЕП»
ІТТФ НАН України О.О.НазаренкоГол. інженер ДП «НТЦ новітніх
технологій НАН України»

В.О. Гурін

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Директор ДП «НТЦ енергетичного
 приладобудування» ІТТФ НАНУ

 О.О.Назаренко
 2011 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Директор ІТТФ НАН України,
 академік НАН України


 А.А.Долінський
 2011 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

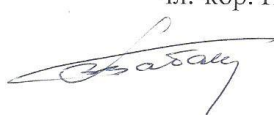
ДП «НТЦ енергетичного приладобудування ІТТФ НАН України» спільно з відділом діагностики та оптимізації Інституту технічної теплофізики НАН України розробили та встановили в головному корпусі ІТТФ НАН України автоматизований пункт керування теплоспоживанням (АПКТС) з погодозалежним регулюванням температури (прототип індивідуального теплового пункту). АПКТС використовується як постійно діючий дослідно-промисловий експериментальний стенд. При виконанні робіт використані результати завершеної пошукової НДР «Дослідження вдосконаленого індивідуального теплового пункту для ефективного керування опаленням та гарячим водопостачанням з комбінованим використанням енергії». Особливість розробки: оптимізація теплових режимів та алгоритмів керування, які забезпечуються оригінальним електронним регулятором.

Економія енерговитрат за опалювальний період складає до 25% теплоти, що досягається за рахунок регулювання температури теплоносія в системах опалення залежно від зовнішньої температури, часу доби, дня тижня, зниження температури повітря в приміщенні в період відсутності людей.

Заст. директора ДП «НТЦ
 ЕП» ІТТФ НАН України


 О.Л.Рудий

Зав. відділом ДОО
 чл.-кор. НАН України


 В.П.Бабак

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ДП «НТЦ енергетичного
приладобудування» ІТТФ НАН України



О.О.Назаренко
2013 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ДП ВО «Київприлад»



О.В.Осадчий
2013 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

ДП «НТЦ енергетичного приладобудування ІТТФ НАН України» спільно з ДП ВО «Київприлад» розробили і встановили в головному корпусі №3 ДП ВО «Київприлад» автоматизований пункт керування теплоспоживанням (АПКТС) з погодозалежним та програмним регулюванням температури. АПКТС використовується як постійно діючий дослідно-промисловий стенд.

Особливість розробки: оптимізація теплових режимів та алгоритмів керування, контролю та автоматичного регулювання тепломеханічних параметрів обладнання теплового пункту на базі сучасного оригінального електронного регулятора.

Економія енерговитрат за опалувальний період складає до 25% теплоти, що досягається за рахунок регулювання температури теплоносія в системі опалення залежно від зовнішньої температури, часу доби, дня тижня, зниження температури повітря в приміщеннях в період відсутності людей.

Заст. директора ДП «НТЦ ЕП»
ІТТФ НАН України

О.Л. Рудий

Гол. інженер ДП ВО
«Київприлад»



В.М. Білий

ЗатверджуюДиректор ДП «НТЦ енергетичного
приладобудування» ІТТФ НАН України

О.О.Назаренко

2012 р.

Затверджую

Голова ОСББ «ЖБК«Енергетик»



В. Іванчук

2012 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

ДП «НТЦ енергетичного приладобудування ІТТФ НАН України» спільно з ТОВ «Промел Енергоавтоматика» розробили і встановили в житловому багатоквартирному будинку ОСББ «Енергетик» за адресою: Київська обл., К. Святошинський р-н, с. Тарасівка, вул.. Шевченка 3 а, автоматизовану систему керування теплоспоживанням (АСКТС) при комбінованому тепlopостачанні з використанням газу та електроенергії, з погодозалежним та програмним регулюванням температури в житлових приміщеннях.

Економія енерговитрат за опалювальний період складає до 20% теплоти, що досягається за рахунок регулювання температури теплоносія в системі опалення залежно від зовнішньої температури, часу доби, при комбінованому використанні для вироблення теплової енергії газу та електричної енергії.

Заст. директора ДП «НТЦ ЕП»
ІТТФ НАН України

О.Л. Рудий

Директор

ТОВ «Промел Енергоавтоматика»



Є.Г. Жовнорук

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ІТТФ НАН України,
академік НАН України


А.А.Долінецький
«10» _____ 2012 р.


ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ДП «НТЦ енергетичного
приладобудування при ІТТФ НАН
України»


О.О.Назаренко
«16» _____ 2012 р.


АКТ**впровадження результатів науково-технічного проекту**

Даний акт складено про впровадження результатів науково-технічного проекту Інституту технічної теплофізики НАН України «Розробка та впровадження автоматизованого теплового пункту керування теплоспоживанням з сонячними колекторами та акумулятором тепла».

В результаті виконання науково-технічного проекту була створена діюча установка автоматизованого теплового пункту (АТП) керування теплоспоживанням з сонячними колекторами та акумулятором тепла та рекомендації по використанню комбінованих схем теплоспоживання з альтернативними джерелами теплової енергії, відповідні модулі управління та алгоритми їх роботи. АТП розміщений на корпусі № 7 Інституту технічної теплофізики НАН України за адресою: м. Київ, вул. Желябова 2а. Нові науково-технічні рішення підтверджені патентом України на корисну модель за № 72168 від 10.08.2012 «Автоматизований тепловий пункт».

Дослідна експлуатація АТП на корпусі №7 площею 4,4 тис. кв. м показала, що протягом жовтня - грудня 2012 р. була досягнута економія теплової енергії до 40%.

Гол. наук. співр. ІТТФ НАН України
член-кореспондент НАН України


В.П.Бабак

Заст. директора ДП «НТЦ ЕІП
ІТТФ НАН України»


О.Л.Рудий