

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. Кафедри КСУ
_____ Леонтєв П.В.
_____ 2023р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

на тему:

«Оптимізація режимів кондиціонування Базової станції мобільного зв'язку»

Керівник:

к. т. н., доцент

Кулінченко Г.В.

Дипломник:

Студент групи СУм-21

Печерський О.С.

Суми 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедри КСУ
_____ П.В. Леонтєв
_____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра студенту
Печерському Олександрю Сергійовичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Оптимізація режимів кондиціонування Базової станції мобільного зв'язку»

затверджена наказом ректора СумДУ № 1097-VІ від « 9» жовтня 2023р.

2. Термін здачі студентом закінченої роботи "10" грудня 2023 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: звіт з переддипломної практики, публікації, статті.

4. Зміст кваліфікаційної роботи (питання, що підлягають розробленню):
аналіз завдання кліматозабезпечення Базової станції мобільного зв'язку;
функції керування процесами кліматозабезпечення Базової станції;
моделювання процесів кліматозабезпечення;
scada система моніторингу стану Базової станції.

5. Перелік графічних матеріалів: 30 рисунків, 1 додаток.

6. Календарний план виконання роботи

Номер етапу	Зміст етапу виконання роботи	Термін виконання
1	Проаналізувати завдання кліматозабезпечення Базової станції мобільного зв'язку	07.11.2023-11.11.2023
2	Визначити функції керування процесами кліматозабезпечення Базової станції	10.11.2022-25.11.2022
3	Розробити моделі процесів кліматозабезпечення та синтезувати регулятори процесів кліматозабезпечення Базової станції	10.11.2023-01.12.2023

4	Розробити SCADA систему моніторингу стану Базової станції	02.12.2023- 07.12.2023
5	Оформлення кваліфікаційної роботи магістра	08.12.2023- 10.12.2023

7. Дата видачі завдання " 07 " листопада 2023 р.

Керівник проекту:

К. Т. Н., ДОЦЕНТ

(науковий ступінь, вчене звання, посада)

(підпис)

Кулінченко Г.В.

(прізвище, ініціали)

До виконання прийняв:

студент гр. СУ.м-21

(шифр групи)

(підпис)

Печерський О.С.

(прізвище, ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи магістра

Оптимізація режимів кондиціонування Базової станції мобільного зв'язку

Керівник:

к.т.н., доцент

Кулінченко Г.В.

Дипломник:

Студент групи СУ.м-21

Печерський О.С.

Реферат

Печерський Олександр Сергійович. Кваліфікаційна робота. Сумський державний університет. Суми, 2023 р.

Кваліфікаційна робота містить 56 аркуші, 30 рисунків, 1 додаток. При виконанні дипломного проекту було використано 16 літературних джерел.

Метою роботи є оцінка можливостей оптимізації режимів кондиціонування базової станції мобільного зв'язку. Ця мета досягається шляхом розробки моделей та побудови регуляторів параметрів кліматозабезпечення приміщення базових станцій мобільного зв'язку.

По результатам аналізу об'єкту керування сформовані завдання керування його кліматозабезпеченням та фактори, що впливають на збереження енергії, яка споживається для забезпечення надійного функціонування станції.

Розглянуто функції керування, які забезпечують температуро-вологісний режим базової станції мобільного зв'язку. Алгоритми керування кліматозабезпеченням будуються на базі критерію оптимізації – мінімізація енергоспоживання.

Функції керування забезпечують наступні процеси:

- регулювання температури базової станції охолодженням;
- регулювання температури положенням засувки повітряного обміну;
- регулювання вологовмісту повітря базової станції;
- дистанційного моніторингу базової станції.

У середовищі MATLAB Simulink розроблено моделі регуляторів наступних параметрів:

- співвідношення температура/вологість, яке базується на врахуванні параметрів ід діаграми;
- концентрація пилу ;
- регулювання температури шляхом зміни напрямків охолоджуючих потоків.

Розробка моделей супроводжувалася імітацією збурень параметрів, в результаті чого показана ефективність розроблених регуляторів.

Для вирішення задач дистанційного моніторингу кліматичних параметрів

базової станції прийнято структуру сенсорної мережі на базі пристрою UniPing server solution v3/SMS, який забезпечує зв'язок з верхнім рівнем по мережі Ethernet/Internet.

У SCADA – системі кліматозабезпеченням БС використовується платформа ПЛК S7-400 виробництва фірми Siemens. При розробці програмного забезпечення системи задіяно програмний продукт SIMATIC STEP 7.

Проведені дослідження показали можливості непрямой оптимізації параметрів кліматозабезпечення базової станції мобільного зв'язку внаслідок складних та нелінійних зв'язків параметрів об'єкту керування.

Ключові слова: кліматозабезпечення; дистанційний моніторинг; регулятор; вологовміст повітря; енергозбереження.

Abstract

Pecherskyi Oleksandr S. Qualification work. Sumy State University. Sumy, 2023.

The qualification work contains 56 sheets, 30 figures, 1 appendix. 16 literary sources were used during the completion of the diploma project.

The aim of the work is to evaluate the possibilities of optimizing the conditioning modes of the base station of mobile communication. This goal is achieved by developing models and building climate control parameters for the room of mobile base stations.

Based on the results of the analysis of the control object, the tasks of managing its climate control and factors influencing the conservation of energy consumed to ensure the reliable operation of the station were formed.

The control functions that ensure the temperature and humidity regime of the base station of mobile communication are considered. Climate control algorithms are built on the basis of the optimization criterion - minimization of energy consumption.

Management functions provide the following processes:

- regulating the temperature of the base station by cooling;
- temperature regulation by the position of the air exchange valve;

- regulation of air moisture content of the base station;
- remote monitoring of the base station.

In the MATLAB Simulink environment, models of regulators of the following parameters were developed:

- the temperature/humidity ratio, which is based on taking into account the parameters of the id diagram;
- dust concentration;
- temperature regulation by changing the directions of the cooling flows.

The development of the models was accompanied by the simulation of parameter disturbances, as a result of which the effectiveness of the developed regulators was shown.

To solve the problems of remote monitoring of climatic parameters of the base station, the structure of the sensor network based on the UniPing server solution v3/SMS device, which provides communication with the upper level via the Ethernet/Internet network, is adopted.

The S7-400 PLC platform manufactured by the Siemens company is used in the SCADA system of the BS climate control system. The SIMATIC STEP 7 software product was used in the development of the system software.

The conducted studies showed the possibility of indirect optimization of the air conditioning parameters of the mobile communication base station due to the complex and non-linear relationships of the parameters of the control object.

Key words: air conditioning; remote monitoring; regulator; moisture content of air; energy saving.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	9
<u>ВСТУП</u>	<u>10</u>
1 АНАЛІЗ ЗАВДАНЬ КЛІМАТОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БАЗОВОЇ СТАНЦІЇ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ	12
2 ФУНКЦІЇ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСАМИ КЛІМАТОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БАЗОВОЇ СТАНЦІЇ.....	21
2.1 Оперативне та програмне керування	21
2.2 Заходи по енергозбереженню	23
2.3 Функції регулювання	25
2.4 Функції регулювання вологовмісту повітря	27
2.5 Функції дистанційного моніторингу БС	29
3 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ КЛІМАТОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	32
3.1 Побудова моделі температурно -вологісного режиму	33
3.2 Побудова моделі керування концентрацією пилу	41
3.3 Побудова моделі керування охолодженням обладнання БС	44
4 SCADA СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ СТАНУ БАЗОВОЇ СТАНЦІЇ	48
ВИСНОВОК.....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	54
ДОДАТОК А	

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АПК – апаратно програмний комплекс

АД – асинхронний двигун

БС– базова станція

ВМ– виконавчі механізми

ЗА – запірна арматура

КЗО– кліматозабезпечуюче обладнання

ОК – об'єкт керування

ПЗ – програмне забезпечення

РР –релейний регулятор

ТТР – температура точки роси

ТКА – телекомунікаційна апаратура

ПЛК – програмований логічний контролер

SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition(Диспетчерське керування та збір даних)

ВСТУП

Динаміка ринку телекомунікацій стимулює розвиток нових архітектур та інтенсифікує впровадження систем 3G. Розглядаючи тенденції розвитку нових технологій, можна констатувати, що становиться більш масштабним використання оптичних каналів зв'язку, централізація ресурсів програмного забезпечення та реалізація моделей хмарних технологій.

Відповідно до розвитку цих тенденцій змінюються вимоги до інженерно-сервісних систем кліматозабезпечення та електроживлення, які забезпечують та підтримують функціонування основного телекомунікаційного устаткування. Зважаючи на безперервне удосконалення обладнання: IP-маршрутизаторів, оптоволоконних систем, апаратури мереж радіодоступу (RAN), актуальним напрямком цього удосконалення є суттєве зменшення габаритних розмірів та ваги обладнання, що використовується. Не менш важливим фактором розвитку є скорочення питомого енергоспоживання (на 1 Мбіт/с або 1 Гбіт/с пропускної спроможності).

Згадані фактори сприяють полегшенню вирішенню задачі забезпечення необхідною потужністю електричного живлення апаратури і, навпаки, відведення тепла, що виділяється цією апаратурою. Протилежна тенденція, що ускладнює надійну експлуатацію телекомунікаційного обладнання є темпи зростання трафіку. При зростаючих об'ємах трафіку сумарне споживання енергії засобами телекомунікацій суттєво збільшуватиметься.

Такий виклик по зростанню потужностей енергоспоживання та енергій тепловіділення вдасться подолати лише при використанні енергозберігаючих технологій. Найбільше затребуваними у телекомунікаційних засобах виявляються системи кондиціонування, оскільки потужність, яку вони споживають, можна порівняти з потужністю, що споживається телекомунікаційним обладнанням.

Не дивлячись на те, що розробники телекомунікаційного обладнання працюють над розширенням діапазону робочих температур, проте зміна погодних умов в Україні у бік збільшення, повинна передбачати певні резерви можливос-

тей охолодження апаратури, зокрема за рахунок використання альтернативних джерел енергії

Метою роботи є оцінка можливостей оптимізації режимів кондиціонування базової станції мобільного зв'язку.

Додаткова мета досліджень полягає в розробці моделей регуляторів параметрів кліматозабезпечення приміщення БС мобільного зв'язку, які мінімізують енерговитрати БС.

Іншою метою є оцінка можливостей дистанційного моніторингу параметрів, які забезпечують функціонування обладнання БС.

Для досягнення поставленої мети повинні бути вирішені наступні **завдання**

1. Ідентифікувати параметри об'єкту керування.
2. Розробити математичну модель керування процесом кліматозабезпечення приміщення БС мобільного зв'язку.
3. Побудувати структуру сенсорної мережі моніторингу параметрів функціонування БС мобільного зв'язку

Методи досліджень. Моделювання процесів кліматозабезпечення приміщення БС ґрунтується на додатках теорій інтегрально-диференціального числення. Відображення термодинамічних процесів у приміщенні БС шляхом побудови і відображення ексергетичних діаграм з урахуванням складових ексергії вологого повітря. Лінеаризація об'єкту керування виконується на базі обчислень матриць Якобі в середовищі MATLAB. Засоби керування будуються на базі методів теорії автоматичного регулювання.

1 АНАЛІЗ ЗАВДАНЬ КЛІМАТОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БАЗОВОЇ СТАНЦІЇ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

Телекомунікаційне обладнання базових станцій (БС) стільникового зв'язку, зазвичай розміщується у спеціальних контейнерах (шелтерах) (рис. 1).



Рис. 1 Зовнішній вигляд контейнера для обладнання базової станції

Уніфіковані габарити шелтера обумовлюють обмеження монтажного та сервісного простору щодо встановлення кліматозабезпечуючого обладнання (КЗО), зокрема кондиціонерів. Крім того, на більшості БС регулярність сервісного обслуговування складає один раз на півроку.

При аналізі факторів, що впливають на побудову системи КЗО, доцільно розглядати досліджувану структуру як об'єкт керування (ОК). При цьому вважається, всі процеси в ОК відбуваються в результаті дії керуючих впливів. У конкретному випадку – досліджень системи кондиціонування повітря суб'єктом керування є повітря у приміщенні, що обслуговується із необхідними параметрами (температура, вологість, складові цього повітря), а параметрами впливу – температура вхідного та вихідного повітря, а також кількість витраченої електроенергії.

Другою складовою сучасних систем кондиціонування є програмно-технічні засоби автоматизації. Вони реалізують різні функції керування, які повинні з

одного боку забезпечити підтримку необхідних режимів мікроклімату у технологічному приміщенні, а з іншого боку – економічне та надійне функціонування технологічного обладнання. Функції керування, що виконуються засобами автоматизації відрізняються по кількості і складності реалізації. Це задачі, як простого керування типу «увімкнути – вимкнути», так і задачі диспетчерського централізованого керування КЗО певною ділянкою мережи зв'язку.

Функції диспетчерського керування досить ефективно реалізуються з допомогою SCADA-систем і є перспективним напрямком розвитку не тільки систем КЗО, але й мереж стільникового зв'язку.

Аналіз технічних розробок сучасних КЗО, показує, що функції керування складаються з двох категорій. *Перша* представляє функції керування, що визначаються технологією та обладнанням обробки повітря. *Друга* – об'єднує додаткові функції, які здебільше є сервісними, виставляються як ноу-хау фірм і вимагають додаткових витрат.

Функції керування КЗО є класичними, і відрізняються одна від іншої способом реалізації, відповідно, якістю та надійністю функціонування. Більшість цих функцій формується із вимог нормативних документів до систем керування КЗО. Тому при ескізній розробці КЗО зазвичай розглядаються відомі засоби, що наявні на ринку.

Відповідно до визначеного кошторису аналізуються параметри такого обладнання та здійснюється попередній вибір. При цьому зазвичай рідко ставляться питання енергозбереження та енергоефективності, оскільки їх вирішення вимагає додаткових досліджень, які враховують конфігурацію ОК.

Підвищення згаданих показників потребує комплексного підходу до процесів взаємодії засобів автоматизації з технологічними потоками, що діють у конкретній технологічній схемі. Наявність даних про розподіл волого-температурних полів дає можливість для корекції цих полів за рахунок додаткових засобів автоматизації, відповідно, синтезу регуляторів, що забезпечують енергоефективне керування КЗО.

Для технічних засобів, що забезпечують трафік даних, існують певні діапазони

кліматичних параметрів навколишнього середовища, порушення яких знижує надійність їх роботи. Забрудненість повітря значно знижує безперервність і надійність роботи технічних засобів технологічного обладнання БС. Тому повітря, що подається у простір приміщення з обладнанням, має містити мінімальну кількість пилу, тобто концентрація пилу в повітрі не повинна перевищувати 0,1 - 0,3 мг/м³. Концентрація корозійно активних речовин у припливному повітрі не повинна перевищувати гранично допустимих концентрацій цих речовин у атмосферному повітрі населених місць.

Технічні умови на експлуатацію мікропроцесорних засобів допускають різницю температур вхідного та вихідного повітря не більше 20° С. При цьому необхідно забезпечувати відносну вологість повітря, що видаляється з обладнання на рівні не менше 40%. Повітря, що формує вхідний потік, повинно мати температуру 14-20°С і відносну вологість 70-80%. Верхня межа температур на виході з обладнання +55°С.

Застосування тієї чи іншої схеми кондиціонування та розподіл повітря в окремих зонах приміщення визначаються плануванням технологічного обладнання. По мірі збільшення тепловиділень на 1 м² підлоги зростають значення швидкості подачі і видалення повітря.

Слід враховувати, що телекомутаційна апаратура (ТКА) виділяє явне тепло, при цьому вологовміст повітря не змінюється. Проте повітря, що надходить до приміщення, змінює вміст вологи в повітрі відповідно до часу року. При цьому 30 - 40% енергії кондиціонерів спрямовується на асиміляцію тепла, що надійшло до приміщення, а лише 60 - 70% енергії використовується на боротьбу із видаленням теплових надлишків. Отже, близько третини енергії витрачається марно. Професійні системи КЗО в основному орієнтовані на охолодження приміщень з працюючим обладнанням. Тому відведення тепла від технічних здійснюється охолодженим повітрям; крім того, влаштовується загальнообмінна вентиляція, яка забезпечує підтримку заданих метеорологічних умов.

Вентиляція технічних засобів телекомутаційного обладнання може здійснюватися за розімкнутою схемою та ізольовано, тобто за замкненою схемою.

Залежно від конструктивних рішень згаданого обладнання в охолоджувальну систему вводиться кондиціонер для підтримки необхідних параметрів циркулюючого повітря. Оскільки вентиляція і кондиціонування повітря у БС в основному здійснюються рециркуляційним повітрям, то в системі кондиціонування та охолодження зазвичай передбачається 90%-на рециркуляція зовнішнього середовища. Підтримка таких співвідношень дозволяє суттєво знизити витрати на електричну енергію.

Рециркуляція, або режим фрикулінгу застосовується в чилерах (сухих градирнях), призначених для охолодження теплоносіїв, кондиціонерах складських, виробничих комплексів, серверних, будинках з регульованими температурними режимами. Як тільки температура підвищується, включається режим *фрикулінгу* (природного охолодження), з вулиці надходить холодне повітря, і ситуація стабілізується.

Електроенергію витрачають тільки працюючі вентилятори [1]. Особливість принципу роботи чиллера з фрикулінгом полягає в тому, що основне холодильне обладнання або не використовується, або включається із заданою періодичністю. Виробники КЗО використовують два основні методи кліматозабезпечення – прямий та непрямий.

При використанні *прямого* фрикулінгу холодне повітря циркулює за одноконтурною схемою, тобто безпосередню подається у контур. Завдяки лінійній організації знижуються енерговитрати, полегшується циркуляція. Але необхідний монтаж додаткових елементів, що зволожують та фільтрують повітря.

Непряме вільне охолодження здійснюється через теплообмінні установки. Холодне повітря надходить з навколишнього простору у проміжний теплообмінник, де охолоджується спочатку зовнішній, потім внутрішній теплоносієм. Така двоконтурна схема має меншу ефективність, але пристосована до зміни метеобстановки. Зменшення ефективності пов'язане з необхідністю використання чилерів.

У разі використання кондиціонера з прямим фрикулінгом при низьких температурах зовнішнього простору, охолодження здійснюється безпосередньо повіт-

рям, яке надходить до контейнера через відкриту повітряну заслінку. Тоді у компресорне охолодження, що характеризується високим рівнем споживання електроенергії, не запускається.

Якщо зовнішня температура перевищує задане порогове значення і природного охолодження недостатньо, то запускається компресорне охолодження (змішаний режим), але керування процесом передбачає мінімальне використання ресурсів компресора.

На рис. 2 зображена схема вентиляції, в якій використовується принцип руху повітря «знизу догори». Цей принцип є дієвим при питомому виділенні тепла більше 350 ккал/м^2 .

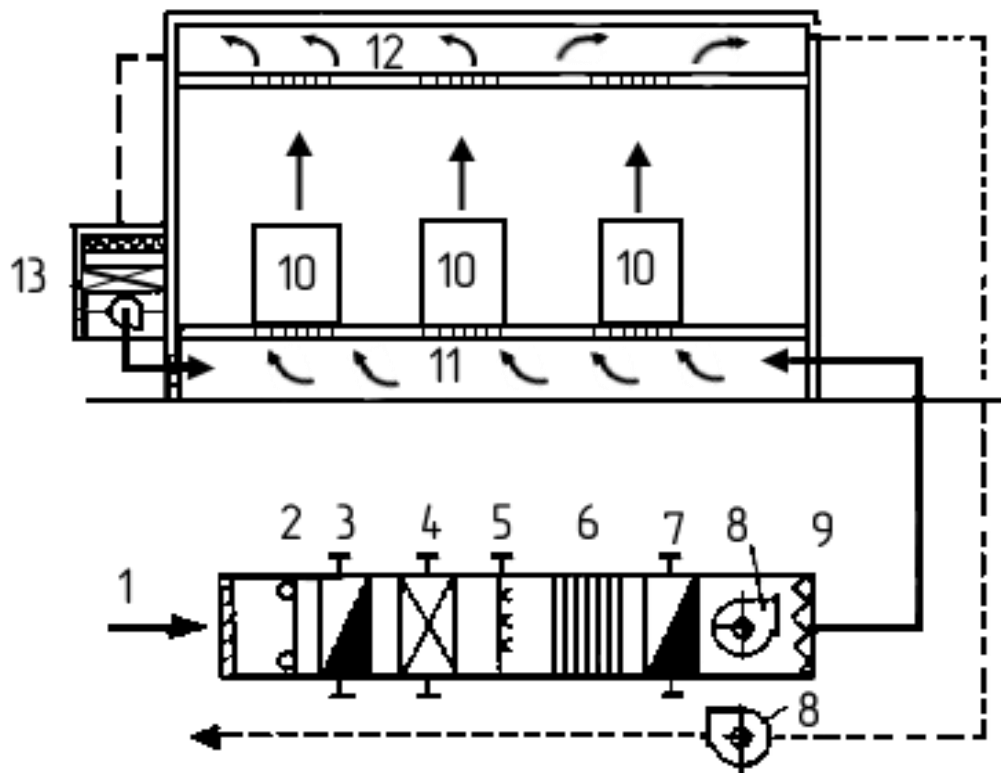


Рис. 2. Схема вентиляції БС з рухом повітря знизу догори:

1 – решітка для забору повітря з навколишнього середовища; 2 – рулонний фільтр; 3, 7 – калорифери першого та другого підігріву; 4 – поверхневий охолоджувач повітря; 5 – зволожувач повітря; 6 – сепаратор вологи; 8 – вентилятор; 9 – глушник; 10 – телекомутаційне обладнання; 11 – припливний канал; 12 – витяжний канал; 13 – автономний кондиціонер

У схемі центральний кондиціонер обробляє 10% зовнішнього повітря, змішує його в підпільному каналі з рециркуляційним повітрям, що охолоджується автономним кондиціонером. При цьому центральний кондиціонер має мінімальні розміри і виконує функції очищення повітря від пилу, підігріву, охолодження та зволоження.

Технологічна схема обробки повітря в кондиціонері представляється у вигляді набору елементів, що забезпечують процес тепломасообміну або переміщення повітря. Як *основний* контур стабілізації розглядається контур регулювання температури. Для забезпечення нормальної роботи кондиціонерів у режимі дистанційного керування використовуються пристрої блокування.

Беручи до уваги завдання енергозберігаючих технологій КЗО, функціональну схему (рис. 3), яка вирішує завдання енергозбереження, можна подати у вигляді взаємопов'язаних процесів обробки повітря.

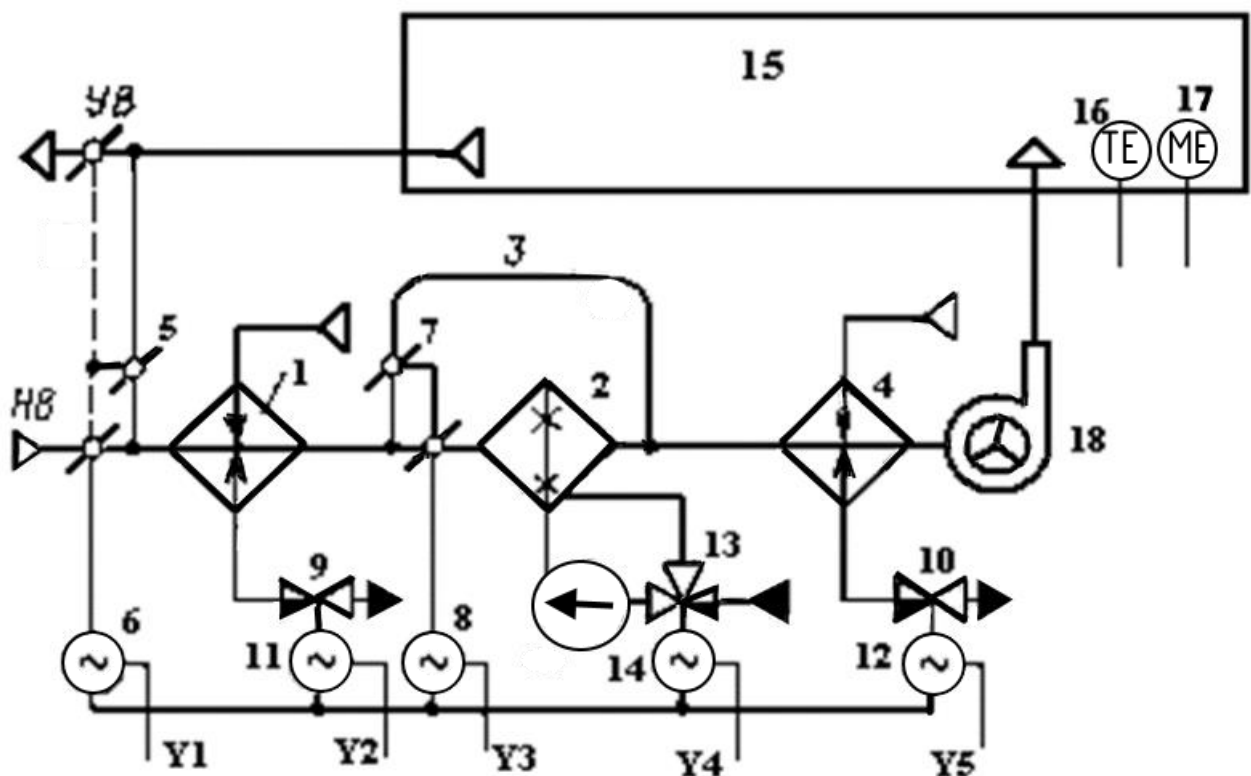


Рис. 3. Функціональна схема КЗО, що реалізує теплову обробку повітря. До складу КЗО, що забезпечує кондиціонування приміщення 15 входять нагрівачі першого 1 і другого підігріву 4, камера зрошення 2 з обвідним повітроводом 3, повітряні клапани рециркуляції 5 і обвідного повітроводу 7, давачі тем-

ператури 16 і вологості 17. Регулювання здійснюється клапанами на зворотних лініях 10, а також триходового клапана 13 на трубопроводі холодоносія та електричних виконавчих механізмів (ВМ) 6, 8, 11, 12, 14.

Для забезпечення заданого температурного режиму приміщення БС обробка повітря здійснюється шляхом змішування рециркуляційного повітря та повітря, що надходить ззовні у певній пропорції. За наявності регульованого (повітря) і регулюючого (теплоносії) середовищ керуючий вплив може бути спрямований на зміну теплової потужності повітрянагрівача або об'єму повітря, що проходить крізь вентилятор 18.

Регулювання вологості БС базується на принципі *непрямого* регулювання вологістю приміщення, оскільки закономірність виділення вологи відома. У цьому випадку вимірюється не відносна вологість, а температура точки роси (ТТР) після вентилятора. В даний час цей принцип знайшов переважне поширення, хоча точність підтримки ТТР в приміщенні, у порівнянні з прямим регулюванням температури знижується.

Зміна вологості здійснюється завдяки змішуванням сухого і зволоженого повітря. Під дією керуючих впливів Y_1 і Y_3 виконавчі пристрої приводять в дію засувку 5 або спарені засувки 7, що змінюють співвідношення витрат повітря. Зволожувач 2 функціонує по впливу Y_4 , прикладеного до триходового клапана 13 на трубопроводі холодоносія.

Поряд із забезпеченням температурного режиму БС при зниженій температурі зовнішнього повітря, у схемі КЗО при підвищенні температури використовуються охолоджувачі, які монтуються в канал подачі обробленого повітря. (Рис. 2, поз. 4).

Основними регульованими величинами охолоджувача є температура, тиск, рівень і витрата холодильного агента, що впливають на визначальний параметр – холодопродуктивність.

Методи керування холодопродуктивністю встановлюються функціональною залежністю

$$Q_0 = \lambda_0 q_v V k \quad (1)$$

де $\lambda_0=f(P_k/P_o)$ – коефіцієнт наповнення;

P_k, P_o – тиск конденсації та випаровування;

V_k – об'єм пари, засмоктуваної компресором;

q_v – об'ємна холодопродуктивність

Аналізуючи формулу (1), можна визначити основні керуючі впливи при регулюванні холодопродуктивності: вимикання компресора; перепуск холодоагента P_k/P_o , зміна швидкості обертання насоса, яка змінює об'ємну холодопродуктивність q_v .

Спрощена функціональна схема охолоджувача зображена на рис. 4

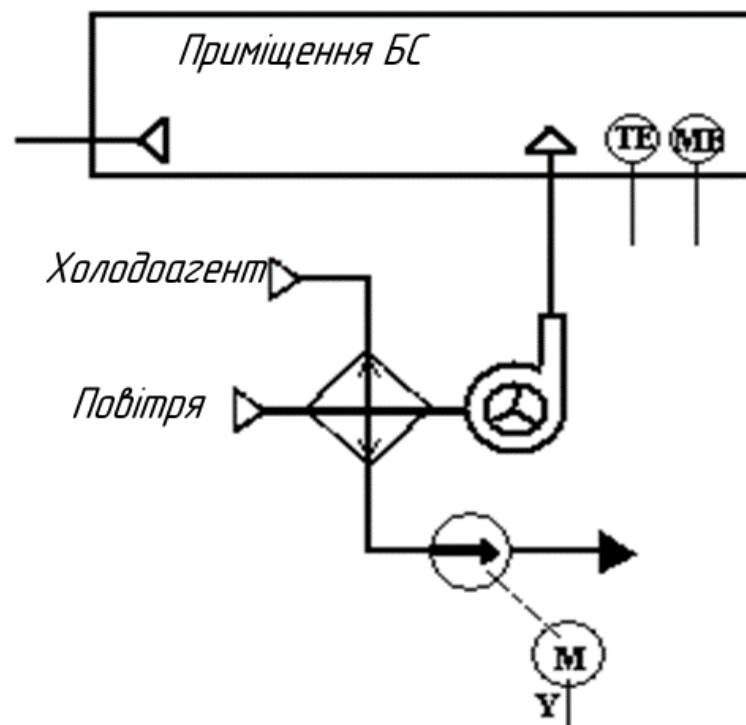


Рис 4. Функціональна схема охолоджувача повітря

У наведеній схемі (рис.4) зміна швидкості обертання насоса приводить до зміни швидкості циркуляції холодоагента, відповідно до зміни температури повітря, що надходить до нагнітаючого вентилятора.

Аналізуючи параметри різних типів кондиціонерів, можна побачити, що вони відрізняються об'ємами повітря, що нагнітається та швидкостями його руху у приміщенні кондиціонування. Таким чином, для забезпечення відчутого коефіцієнта охолодження, слід орієнтуватися на використання «прецизійних» кондиціонерів, які мають продуктивність 900-2500 м³/год.

Зазначена продуктивність дає змогу подолати щільне теплове навантаження у БС та підтримувати необхідну температуру і вологість. Певний запас продуктивності, що дозволяє переміщувати великі об'єми повітря, сприяє кращому фільтруванню цих об'ємів.

У випадку обробки великих об'ємів повітря досягається його кращий розподіл по простору приміщення. В результаті теплові навантаження знімаються навіть з кутів та застійних зон, що дає змогу підтримувати рівномірний розподіл вологості та температури, не використовуючи складних алгоритмів регулювання.

Склад завдань кліматозабезпечення БС не обмежується функціями підтримання заданої температури та вологи. Останнім часом до складу КЗО входять фільтри, які повинні очищувати повітря від пилу та бруду [2]. Це пов'язане з тим, що бруд накопичується на електронному обладнанні, внаслідок чого руйнуються його складові та окремі компоненти. Пил, що потрапляє у пристрої, швидко акумулюється на заряджених поверхнях обладнання. Наявність запиленості поверхні знижує здатність охолодження, що призводить до того, що обладнання працює при температурах, які перевищують розрахункові значення. Внаслідок цього зменшується термін служби обладнання та збільшується вірогідність передчасного виходу його з ладу.

Фільтри, встановлюються в прецизійних системах кондиціонування повітря, мають продуктивність не менше 40%. Забрудненість фільтра оцінюється падінням тиску на ньому, яке вимірюється диференціальним давачем тиску. Допустиме падіння тиску на фільтрі вказується в його паспорті (зазвичай 150-300 Па). При досягненні заборонених значень граничної запиленості фільтра здійснюється його обслуговування або заміни. Якщо протягом певного часу, після видачі сигналу граничної запиленості, фільтр не буде очищений або замінений, необхідно передбачити аварійну зупинку системи.

2 ФУНКЦІЇ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСАМИ КЛІМАТОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БАЗОВОЇ СТАНЦІЇ

Програмно-технічні засобами автоматизації вирішують завдання командного пуску та зупинки виконавчих пристроїв, автоматичної підтримки сформованих режимів роботи, як окремих, так і блочних агрегатів системи. У загальному вигляді основні технологічні функції керування КЗО поділяються на такі групи (рис. 5): контроль та реєстрація параметрів; оперативне та програмне керування; функції захисту та блокування; регулюючі функції.

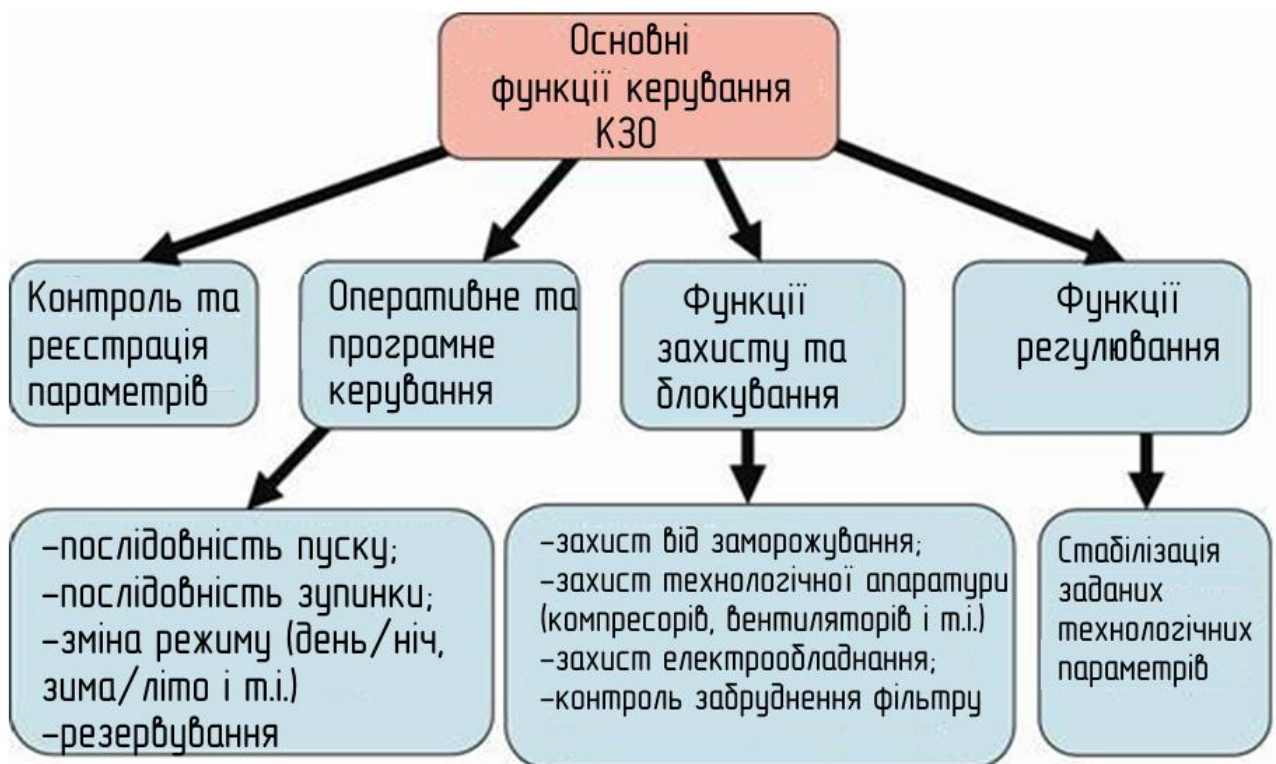


Рис. 5– Основні технологічні функції керування КЗО.

2. 1 Оперативне та програмне керування

Послідовність запуску. Для забезпечення нормального пуску системи кондиціонування або вентиляції слід враховувати:

Попереднє відкриття повітряних заслінок до запуску вентиляторів. Це виконується у зв'язку з тим, що не всі заслінки в закритому стані можуть витримати перепад тисків, створюваний вентилятором, а час повного відкриття заслінки електроприводом доходить до двох хвилин.

Рознесення моментів запуску модулів обладнання. Якщо одночасно запуснути вентилятори, холодильні машини та інші приводи, то через велике навантаження на електричну мережу приміщення сильно впаде напруга, і електродвигуни можуть не запуститися. Тому запуск обладнання, особливо великої потужності, необхідно розносити за часом.

Попереднє прогрівання калорифера. Якщо включити кондиціонер, не прогрівши калорифер, то при низькій температурі зовнішнього повітря може працювати захист від заморожування. Тому при включенні кондиціонера необхідно відкрити заслінки припливного повітря, відкрити триходовий клапан калорифера і прогріти калорифер. Як правило, ця функція включається при температурі зовнішнього повітря нижче 12°C.

Послідовність зупинки. При відключенні системи слід враховувати:

затримка зупинки вентилятора припливного повітря в установках з електрокалорифером. Після зняття напруги з електрокалорифера слід охолоджувати його деякий час, не вимикаючи вентилятора повітря. В іншому випадку нагрівальний елемент калорифера (тепловий електричний нагрівач - ТЕН) може вийти з ладу.

Затримка вимикання холодильної машини. При вимиканні холодильної машини холодоагент зосередиться в найхолоднішому місці холодильного контуру, тобто у випарнику. При наступному запуску можливий гідроудар. Тому перед вимкненням компресора, спочатку закривається клапан, що встановлюється перед випарником, а потім при досягненні тиску всмоктування 2,0–2,5 бар, компресор вимикається. Разом із затримкою вимикання компресора здійснюється затримка вимикання припливного вентилятора.

2.2 Заходи по енергозбереженню

Завдання побудови енергозберігаючого кліматозабезпечення БС передбачають впровадження вентиляційного обладнання з рекуперацією тепла. Процес рекуперації відбувається в результаті взаємодії повітряних потоків різної температури. Нагріті потоки передають своє тепло вхідним холодним, таким чином утворюється необхідний температурний баланс.

У рекуператорах, де за рахунок змішування повітряних потоків утилізується теплота, відбувається і розділення теплого забрудненого повітря та свіжого припливного.

При теплообміні витяжне повітря охолоджується, що при температурі теплообмінної поверхні нижче 0°C призводить до утворення конденсату, в результаті чого конденсат кристалізується. Наслідком цього є зниження продуктивності та ефективності утилізації теплоти. Щоб запобігти такому наслідку використовується циклічне перемикання режиму «рекуперація – розморожування».

Інший варіант – попередній підігрів холодного повітря припливу до температури, що виключає обмерзання. Для цього варіанту необхідно використовувати додатковий електрокалорифер.

Альтернативою до згаданих методів рекуперації виступає спосіб динамічного регулювання рекуперативної установки, за умови підтримки температури теплообмінної стінки вище 0°C . Реалізація цієї умови здійснюється шляхом зменшення витрати повітря припливу пропорційно зниженню його температури (рис. 6). На рис. 6 позначено: 1 – припливний вентилятор; 2 – давач температури; 3 – витяжний патрубков; 4 – рекуперативний теплообмінник; 5 – конденсатовідводник; 6 – витяжний вентилятор; 7 – випускний повітропровід; 8 – засувка; МК – контролер; М – електропривод; ТЕ, ФЕ – давачі температури та витрат.

У схемі рекуператора встановлюється система регулювання частоти обертання припливного вентилятора, а у випускному повітроводі 7 розміщується засувка з електричним приводом 8. Пластинчастий рекуперативний теплообмінник 4 розміщений у корпусі.

При зниженні продуктивності припливного вентилятора (витрат) виникає

дисбаланс продуктивностей припливної і витяжної систем. Для компенсації дисбалансу рециркуляційна засувка 8 переміщається в положення, яке необхідно для компенсації дисбалансу. Тоді частина витяжного повітря, частково охолодженого в теплообміннику 4, прямує назад у приміщення.

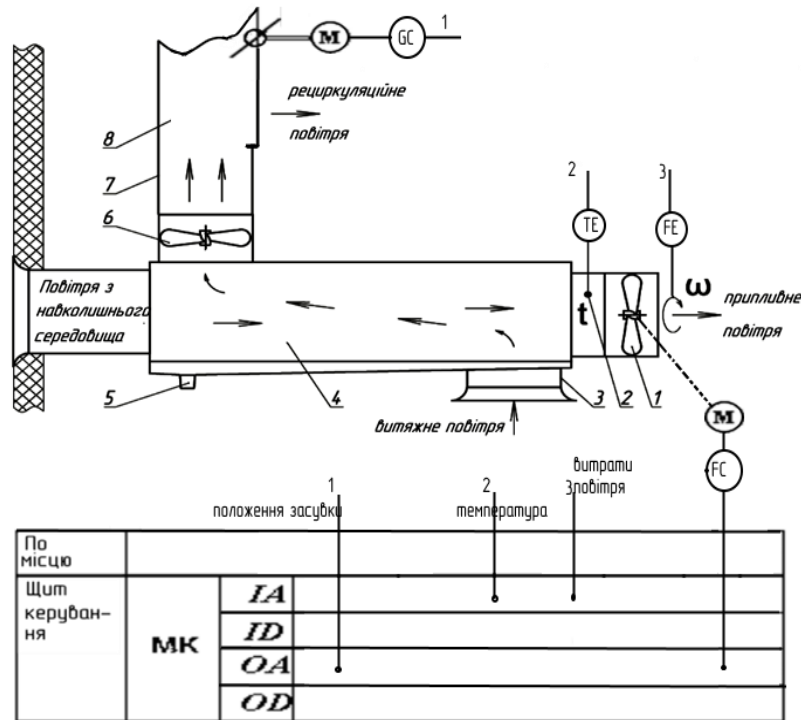


Рис. 6– Схема повітряно-повітряного рекуператора

Витяжне тепле повітря підігріває холодне свіже припливне повітря. При цьому конденсат, що утворюється, стікає в піддон і відводиться черга конденсатовідводник 5 в каналізацію. Для запобігання обмерзанню конденсату температура теплообмінної стінки підтримується вище 0°C .

Контролер МК підтримує частоту обертання припливного вентилятора 1 « ω » відповідно до кута повороту заслінки 8 в діапазоні, що забезпечує позитивну температуру припливного повітря "t".

Рекуператор забезпечує необхідний повітрообмін, що унеможливорює обмеження теплообмінника. Охолодження витяжки супроводжується утворенням конденсату, тобто осушенням повітря. Разом з конденсатом у каналізацію направляється пил та розчинені у ньому гази, що викликають корозію контактів. Це забезпечує додаткове очищення рециркуляційного повітря.

2.3 Функції регулювання

Для систем кондиціонування точність підтримки параметрів повітря становить $\pm 1^{\circ}\text{C}$ за температурою та $\pm 7\%$ щодо відносної вологості (у точках встановлення датчиків). Стабілізація цих параметрів здійснюється в умовах зміни витрати, рециркуляції повітря, режимів роботи, зовнішньої температури та вологості. Ці функції реалізуються за допомогою замкнутих контурів регулювання, в яких принцип зворотного зв'язку присутній у явному вигляді – інформація про об'єкт, що надходить від датчиків, перетворюється регулюючими пристроями в керуючі дії.

Регулювання температури охолодженням.

На рис. 7 наведено контур регулювання температури припливного повітря у приміщенні БС.

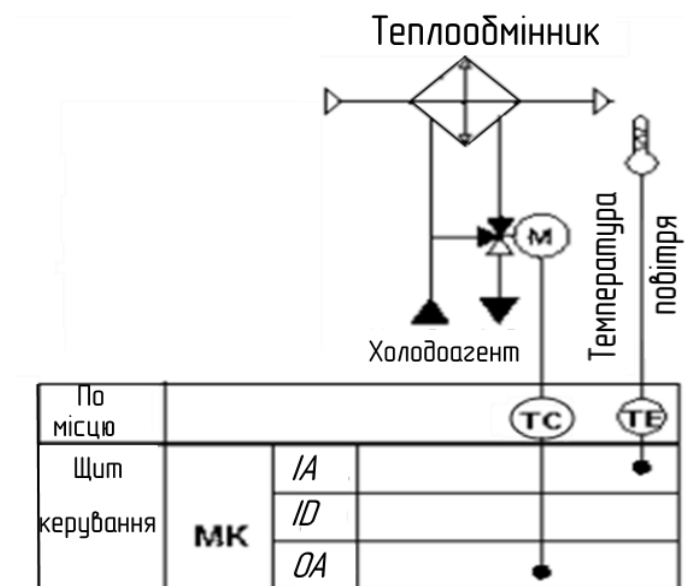


Рис. 7– Контур регулювання температури припливного повітря

Температура повітря підтримується водяним калорифером, через який пропускається теплоносій. Повітря, проходячи через калорифер, нагрівається. Температура повітря після водяного калорифера вимірюється датчем температури, далі сигнал надходить на вхід МК, де порівнюється із заданим значенням температури. Залежно від різниці між температурою уставки та вимірним значенням температури, МК виробляє сигнал, що впливає на виконавчий механізм (М - електропривод триходового клапана). Електропривод відкриває або закри-

ває триходовий клапан до положення, коли помилка по температурі буде мінімальною.

Регулювання температури положенням засувки.

Альтернативним методом регулювання витрат та характеру перебігу теплоносія може бути вплив на температурний режим приміщення шляхом зміни співвідношення обсягів повітря, що надходить у приміщення і залишає його. Це реалізується з використанням керуючих дій на позиціонування поворотних секційних засувок (рис. 8). Таким чином здійснюється комбіноване керування вентиляційними установками. При цьому використовується сигнали, що надходять від датчика температури зовнішнього повітря та датчика температури приміщення БС.

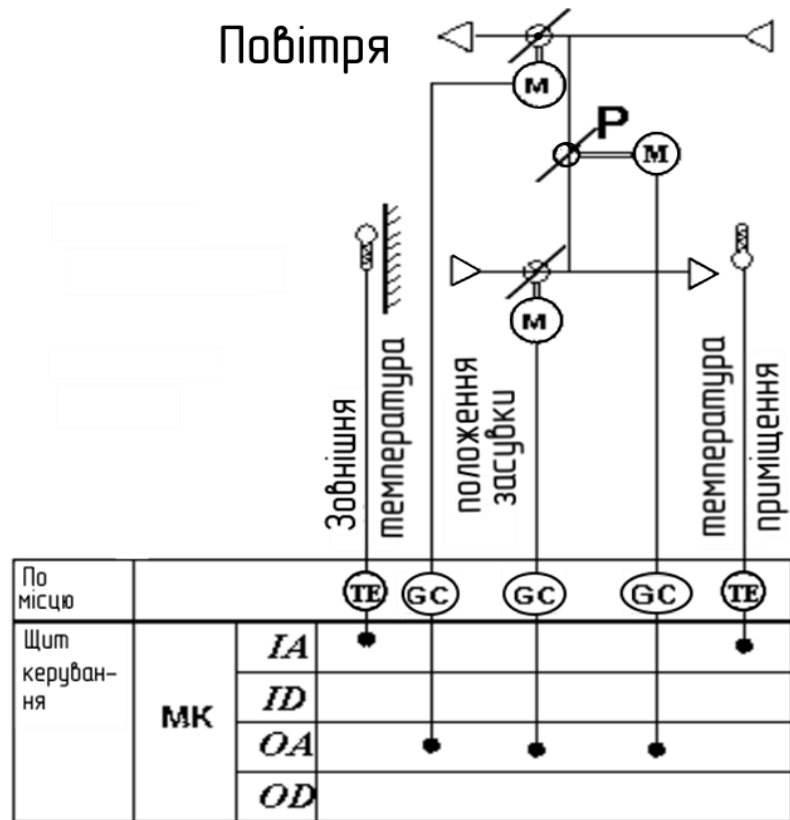


Рис. 8– Контур регулювання температури поворотними засувками

У схемі рис. 8 для економії теплоти використовується рециркуляція, із застосуванням, при можливості, переналаштування на літній і зимовий режими. При підвищенні температури влітку і зниженні температури взимку здійснюється балансування ступеня відкриття / закриття засувки зовнішнього повітря, а також засувки рециркуляції *P* теплого і холодного повітря.

Крім загальних підходів до побудови КЗО, слід враховувати, що для БС, які знаходяться на відстані від електричних мереж живлення, суттєвим чинником є термін дії акумуляторних батарей. Саме вплив підвищених температур скорочує час їх експлуатації. Тому для зменшення енергетичних витрат на охолодження обладнання у КЗО станції використовують акумуляторні секції, які є додатком до *фрикулінг*-боксів. При цьому доцільно встановлювати теплоізолюваний акумуляторний відсік із вмонтованим до нього кондиціонером для акумуляторів. Акумулятори знаходяться всередині відсіку з температурою середовища 20–25°C, що і забезпечує відпрацювання паспортного ресурсу. Тепло з акумуляторів з допомогою кондиціонера відводиться у шелтер, а з нього з використанням вентиляторів – в атмосферу.

Така локальна система охолодження споживає приблизно 350–500 Вт і будується, як окремий контур керування КЗО за спрощеною схемою, наприклад релейного регулятора.

2.4 Функції регулювання вологовмісту повітря

Завдання кліматозабезпечення БС не обмежуються функціями регулювання температури приміщення [3]. Регулювання температури впритул пов'язане із забезпеченням необхідного вологовмісту повітря приміщення БС. Це обумовлено специфікою функціонування електронного обладнання, що використовується на БС. Встановлення діапазону значень вологості викликане тим, що перевищення рекомендованих значень вологості загрожує відмовою процесів, мікросхем та інших компонентів, що входять до складу обладнання.

У результаті надмірної *сухості*, що утворюється при низькій вологості, на елементах обладнання накопичується статична електрика. Дія статичної електрики (при достатньому заряді) в результаті взаємодії зарядів викликає електричний пробій.

У той же час надмірна *вологість* спричиняє випадання (поява) конденсату, особливо на холодних поверхнях. При наявності, як холодних, так і гарячих зон збільшується ймовірність утворення конденсату цих поверхнях. Рух повітря,

викликаний примусовою вентиляцією, сприяє перенесенню частинок вологи та їх осіданню на електронних компонентах техніки. Скупчення вологи може призвести до короткого замикання, яке часто становиться причиною пожежі.

Таким чином обмеження відносної вологості БС – режим, який передбачає функціонування КЗО за алгоритмами, які забезпечують керування виконавчими механізмами фрикулінгу та додатковим кондиціонером так, щоб значення відносної вологості повітря у приміщенні знаходилося у межах 30-60%.

Функціональна схема непрямого регулювання вологості приміщення БС зображена на рис. 9. Бажане співвідношення витрат зовнішнього повітря $Z_{ов}$ та повітря рециркуляції приміщення Pr встановлюється відповідно положення засувок $З1/З2$, схема регулювання якими показана на рис. 8.

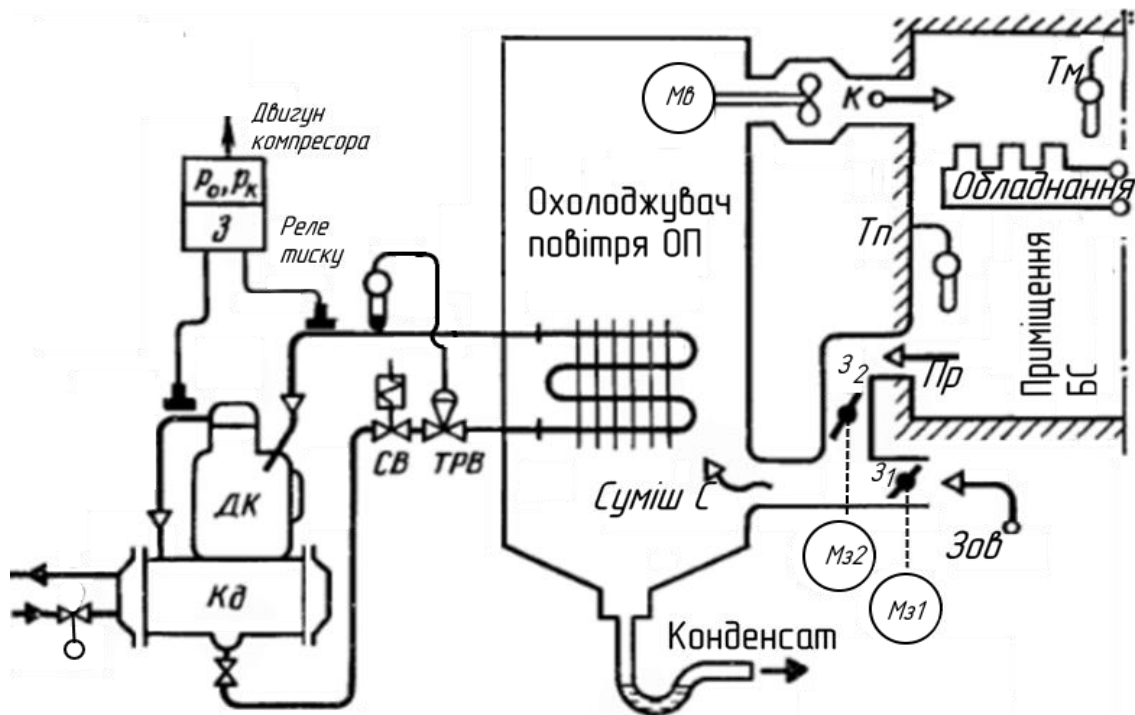


Рис. 9 – Функціональна схема непрямого регулювання вологості БС
 ДК–дренажний колектор; Кд– конденсатор; СВ– соленоїдний вентиль;
 ТРВ– вентиль терморегулювання; Мв– привод вентилятора;
 Мз1, Мз2– привод засувок

Суміш потоків $Z_{ов}$ та Pr охолоджується *Охолоджувачем* повітря до 16 – 18°C, а потім через вентилятор, (точка К) подається до приміщення БС. Влітку пасивне підсушування повітря можливе у випадку, коли відносна вологість або

температура зовнішнього повітря перевищують температуру точки роси (ТТР), що відповідає рівню вище 16–18°C. При охолодженні зовнішнього повітря до згаданої ТТР спостерігається випадання вологи.

Ефективність осушення повітря при непрямому регулюванні можна збільшити, якщо охолоджувати повітря не до 16–18°C, а до 9–10 °C. Для цього необхідно задіяти контур регулювання ТТР, тому датчик T_m встановлюється після Охолоджувача повітря.

В залежності від параметрів зовнішнього та внутрішнього повітря, формуються керуючі впливи по його охолодженню або нагріванню. Енергозберігаюче регулювання вологості середовища БС здійснюється шляхом змішування холодного та теплого повітря, тобто перерозподілом потоків при позиціонуванні засувки кондиціонера.

2.5 Функції дистанційного моніторингу БС

Окрім безпосереднього регулювання кліматичних параметрів БС із завданням мінімізації енергетичних витрат, суттєвим фактором зменшення зайвих витрат енергії є дистанційний моніторинг стану КЗО. Особливе значення дистанційний моніторинг має для БС, що знаходяться на віддаленні від центру та мереж живлення.

Зазвичай система дистанційного моніторингу складається з декількох функціональних модулів, які дозволяють не тільки відстежувати стан КЗО, але й інформувати про нештатні ситуації та стан електроживлення телекомунікаційного обладнання. На рис. 10 зображені додаткові функції моніторингу стану приміщення БС, які дозволяють мінімізувати енергетичні витрати на функціонування БС мобільного зв'язку.



Рис. 10 – Додаткові функції моніторингу стану приміщення БС

Одним із варіантів реалізації функцій моніторингу є використання тих чи інших ПЛК, що наявні на ринку з наступною розробкою необхідного програмного забезпечення. Альтернативний варіант, що розглядається у цій роботі, – застосування вітчизняної розробки «Пристрою контролю доступу ТТА-08» фірми TERRATEL м. Хмельницький [4].

«Пристрій призначений для дистанційного моніторингу (через мережу Ethernet, GSM/GPRS) віддаленого обладнання та об'єктів (винесення АТС, технологічне обладнання, автономні станції, промислові приміщення). Можливе підключення датчиків і сенсорів для моніторингу кліматичних параметрів (температура, вологість), а також стандартного охоронного обладнання (датчі руху, датчі відкриття вікон/дверей). Наявність зовнішніх гальванічно - розв'язаних інтерфейсів RS-485 і RS-232 дозволяють підключити широкий спектр додаткових пристроїв третіх виробників: лічильники електроенергії, зчитувачі смарт-карт і RFID. Дані від датчиків обробляються контролером і передаються по мережі Ethernet або GSM/GPRS на комп'ютер диспетчера/користувача або на мобільний телефон за допомогою SMS».

Деяко спрощений варіант можна реалізувати на базі мікроконтролера ESP32

або ESP2866 з інтерфейсом Wi-Fi [5]. У цьому проекті передача даних по інтерфейсу Wi-Fi здійснюється на базі протоколу 802.11n. «При цьому швидкість передачі даних становить до 150 Мбіт/с на частотах 2,4 ГГц або 5 ГГц. Перевагою використання такої архітектури є те, що існує можливість використовувати збір інформації на відстанях більших, ніж безпосередньо біля самого комп'ютера, при цьому не втрачається швидкість передачі даних. Окрім цього, канал передачі даних є захищеним, що задовольняє вимоги надійності та авторизованого доступу до системи контролю параметрами мікроклімату». Іншими перевагами запропонованого проекту є змога використання реєстратора/ веб-сервера; координатора, який є шлюзом між бездротовими перетворювачами і реєстратором–вебсервером; програмного забезпечення, що організовує зв'язок між елементами системи.

У разі вирішення задач по розробці алгоритмів обробки інформації із давачів та алгоритмів керування параметрами мікроклімату, описаний підхід можна використати для побудови системи оптимізації енергозбереження мережи БС.

Розглядаючи загальну структуру системи забезпечення умов надійного функціонування мережи БС, можна констатувати, що КЗО із додатковими функціями БС утворюють «польовий» рівень, а мережеве обладнання із диспетчерськими керуючими функціями– верхній рівень системи забезпечення.

3 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ КЛІМАТОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Відомі системи керування, що встановлюються для забезпечення кліматичних умов експлуатації обладнання, орієнтуються на задачі підтримки постійних температурних умов незалежно від завантаження комп'ютера та зовнішньої температури. Для побудови ефективної системи керування необхідними тепловими режимами потрібна динамічна модель зміни температури для кожного режиму функціонування [6]. Це дає змогу прогнозувати подальшу тенденцію розподілу поля температур та вологовмісту. Тому завдання моделювання цієї роботи полягає в побудові опису динаміки перехідних процесів вологості (M) і температури (T) у приміщенні БС у функції часу (t) спостереження.

Підходи до побудови системи керування процесами кліматозабезпечення можна визначити в результаті аналізу схеми ОК, що представлений на рис. 11.

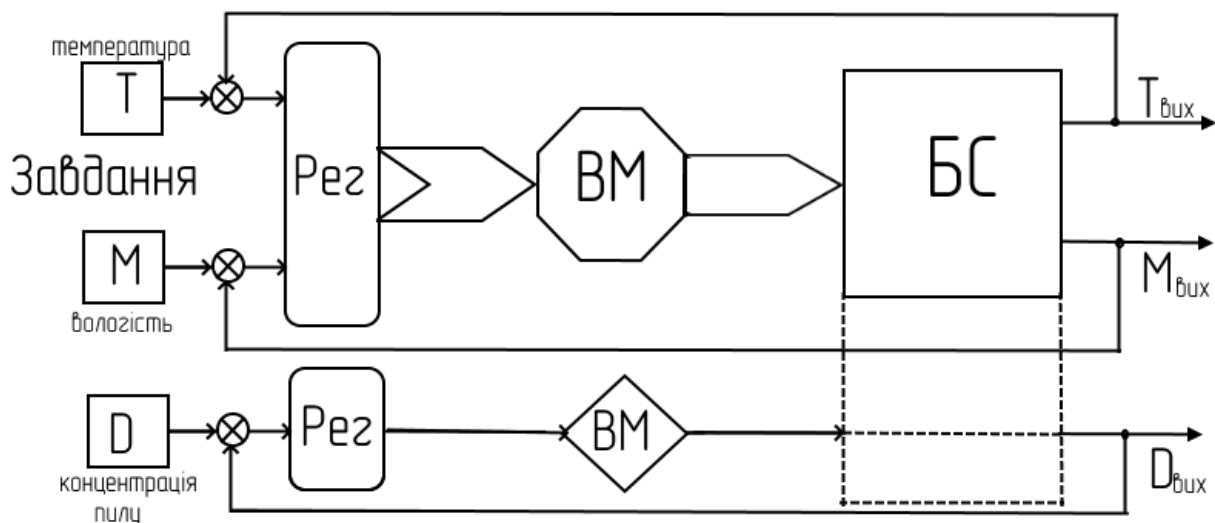


Рис. 11 – Схема керування процесами кліматозабезпечення приміщення БС

На відміну від традиційних систем кліматозабезпечення, де стабілізується тільки температура повітря приміщення [7], наведена схема передбачає утримання вологісного балансу, який необхідний для експлуатації телекомунікаційної апаратури (ТКА). Крім того, відслідковується концентрація пилу, що необхідно для нормальної експлуатації ТКА.

Відхилення значень параметрів кліматозабезпечення від заданих, з допомогою регуляторів (Reg) компенсуються керуючими впливами на виконавчі механізми (ВМ) до потрібних значень.

3.1 Побудова моделі температурно - вологісного режиму

Для побудови моделі скористаймося рівняннями балансів статички вмісту у приміщенні тепла і вологі повітря [8] (рис. 12).

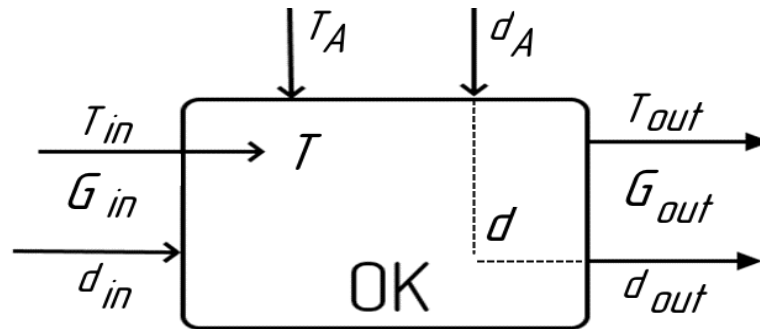


Рис. 12 – Схема теплового балансу та балансу вологості приміщення БС
 T_{in} , d_{in} , G_{in} – температура, вологість, витрати потоку, що надходить у приміщення; T_{out} , d_{out} , G_{out} – температура, вологість, витрати потоку, що залишає приміщення; T , d – температура та вологість повітря всередині приміщення БС.

Рівняння теплового балансу енергії, що впливає на зміну температури повітря приміщення БС, має вигляд:

$$\rho V C \frac{dT}{dt} = Q_A \pm Q_B - Q_{OUT} \quad (2),$$

де ρ – щільність повітря; V – об'єм повітря приміщення БС; C – теплоємність цього повітря; Q_A – теплові надходження від апаратури БС; Q_B – теплова енергія балансування параметрів пори року; Q_{OUT} – теплова енергія, що залишає приміщення БС.

$$\text{При цьому } Q_A = G_A * C * (T_A - T) \quad (3)$$

де G_A – потік повітря від апаратури; C – теплоємність повітря; T_A – температура апаратури; T – температура повітря приміщення БС.

$$\text{крім того } Q_{OUT} = G_{OUT} C * (T - T_3) \quad (4)$$

$$Q_B = G_B C * (T - T_3) \quad (5)$$

де T_3 – температура зовнішнього середовища; G_{OUT} , G_B – потоки повітря, що формують температуру повітря приміщення БС.

Знак теплової енергії балансування залежить від пори року, тобто від зовнішньої температури.

Рівняння масового балансу вологи повітря приміщення БС має вигляд

$$\rho V \frac{d * d_a(t)}{dt} = G_{IN} d_{aIN} - G_{OUT} d_{aOUT} \quad (6)$$

де $d_a(t)$ – абсолютна вологість повітря приміщення БС;

$G_{IN} G_{OUT}$ – витрати повітря, що надходять та залишають приміщення БС;

$d_{aIN}(t), d_{aOUT}(t)$ – абсолютна вологість повітря, що надходять до приміщення БС та залишає його.

По результатам вимірювання кліматичних параметрів приміщення БС формуються керуючі впливи, які забезпечують задану температуру повітря приміщення та вологість БС. Як зазначалося у розділі 2 цієї роботи, для отримання заданих параметрів використовуються ВМ– засувки, вентилятори та насоси. В залежності від вибраної потужності та швидкодії електроприводу ВМ отримується відповідна динаміка зміни регульованих параметрів потоків повітря.

Оскільки *відносна вологість* повітря приміщення БС залежить від *температури цього повітря* та є взаємозалежними параметрами, то регулювання кліматозабезпеченням ТКА доцільно здійснювати за двома контурами: температури та вологості (рис. 13).

Значення цих параметрів задаються оператором БС та можуть змінюватися в залежності від навантаження на ТКА, яка створює тепловий нагріваючий повітря БС потік, та погодних умов навколишнього середовища.

Значення параметрів відносної вологості та температури змінюються завдяки перерозподілу потоків повітря, що надходять та залишають приміщення БС. Перерозподіл потоків здійснюється шляхом переміщення засувки, положення якої визначає витрати керованих потоків.

Збуреннями до сталих режимів експлуатації обладнання є зміна вологості та температури вхідного потоку повітря, що надходить до БС, а також зміна трафіку радіоканалів ТКА. В залежності від теплової енергії, що виділяється ТКА, відбувається конденсація або випаровування вологи. Розгляд різних систем автоматизації процесів кондиціонування та вентиляції показує, що зазвичай метою керування цими процесами є регулювання температури повітря, що конди-

ціонується. Проте, зважаючи на наявність коливань вологості потоків повітря, що надходить до каналу вентиляції, а також коливань вологості повітря приміщення є доцільним будувати основний канал регулювання по структурі «температура (вхід)/вологість (вихід)». Зважаючи на умови конденсації води на обладнанні БС, в якості датчиків вологи можна використовувати не класичний вимірювач на базі «сухий/мокрый» термометр, а вологомір, заснований на вимірюванні температури точки роси (ТТР).

В той же час, безпосередній зв'язок параметрів клімату – вологості та температури повітря вимагає відповідної корекції температури повітря при видаленні зайвої вологи із приміщення БС. Таким чином температура повітря у приміщенні БС регулюється не тільки зміною витрат теплових потоків, але й співвідношенням цих потоків з допомогою зміни положення засувки припливних /витяжних трубопроводів.

Для оцінки можливостей пов'язаного керування температурою та вологістю приміщення БС розроблена модель, структурна схема якої зображена на рис. 13.

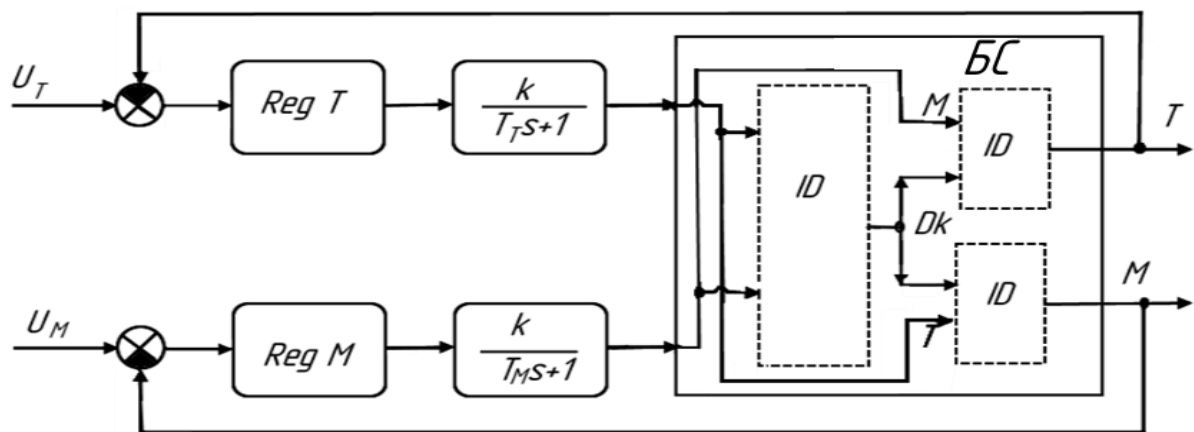


Рис. 13 – Структурна схема моделювання процесу кліматозабезпечення. Дослідження процесів сушіння базується на уявленні ОК аперіодичною ланкою першого порядку [9], що підтверджується іншими дослідженнями.

Проте, для побудови коректної моделі каналу регулювання «температура/вологість приміщення» необхідно враховувати абсолютний вміст вологи в об'ємі приміщення. Взаємозв'язок параметрів, що визначають тепловологісний

стан повітря: відносної вологості, температури, ентальпії, вологовмісту— відображується *id*-діаграмою вологовмісту та вологого повітря [10]. Цей зв'язок позначений на схемі рис. 13 елементами ID.

Відповідно до структурної схеми моделювання (рис. 13) процесів кондиціонування/вентиляції та даних *id*-діаграми, яка наведена у Додатку А, можна побудувати схему математичної імітаційної моделі у середовищі MATLAB Simulink, яка зображена на рис. 14.

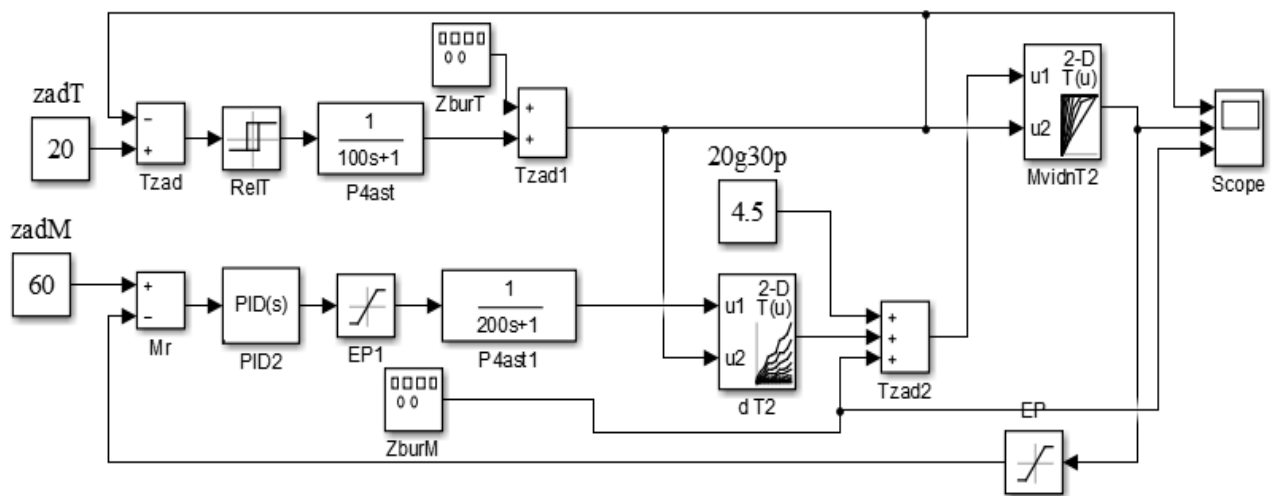


Рис. 14 – Схема моделювання у середовищі MATLAB Simulink

Початковими умовами моделювання передбачається, що приміщення БС має мінімальну вологість 30% при 20°C, що відповідає абсолютній вологості 4, 5 г/м³.

Використання масивів *id*-діаграм у схемі моделі здійснюється в результаті побудови блока «Look-Up Table 2D» середовища MATLAB Simulink. Змістом *id*-діаграм є функції, в яких кожному значенню температури повітря приміщення в діапазоні 0–100°C та величині абсолютного вологовмісту в об'ємі приміщення відповідає значення відносної вологості 0–100%. Навпаки, кожному значенню температури приміщення та його відносній вологості в *id*-діаграмі відповідає значення абсолютного вологовмісту. Відповідно до структури 2D, таблиці *id*-діаграм будуються за вузловим принципом.

Як показано на рис. 15, ці таблиці відображують взаємозв'язок параметрів *id*-діаграми: абсолютної вологості $d=f(T, M)$; відносної вологості $M=f(T, d)$.

Таким чином, в залежності від значень відомих кліматичних параметрів приміщення, визначається невідомий. Необхідність використання таких таблиць пов'язана з суттєво нелінійним характером двомірних функцій.

Опції MATLAB Simulink при використанні таких таблиць дають можливість отримати значення функції для даних, що не попадають точно у вузол таблиці «Look - Up Table 2D». При цьому значення функції, що точно не попадають у вузол таблиці, обчислюються з використанням операцій інтерполяції та екстраполяції. Це дає змогу в процесі моделювання отримувати значення температури та вологовмісту, які не вносилися до таблиці Look - Up Table 2D.

В процесі моделювання з таблиці моделі « $d T2$ » по значенням температури T та відносної вологості M обчислюється значення вологовмісту повітря сушіння d .

Природно, що при видаленні вологи з об'єму приміщення завдяки вентиляції, вологовміст повітря змінюється, тому виникає необхідність обчислень корегованих результатів відносної вологості з допомогою таблиці « $M \text{ vidn} T2$ ».

	M %	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
T °C											
10		0,8	1,58	2,3	3,1	3,9	4,7	5,5	6,3	7,3	10,7
20		1,5	3	4,5	6,2	7,6	9,1	10,7	12,2	13,8	19,5
30		2,8	5,44	8	11,2	13,6	16	19,2	21,6	24,3	30,8
40		4,7	9,2	13,4	19,6	23,1	26,8	32,8	36,5	41	49,3
50		7,7	15,2	21,6	32,9	37,8	43	54,2	59,4	66,9	80
60		12,1	24	33,6	53,3	60	67	86,6	93,6	105,2	127,6
70		18,7	36,9	50,8	83,6	92,3	101,4	134	143,1	160	196,8
80		27,8	55,1	74,9	126,8	137,7	149,3	201,1	212,6	236,2	292,6
90		40,35	80,1	107,5	186,6	200,1	214,3	293,4	307,6	339,4	419,7
100		57	113,5	150,8	267,1	283,4	300,6	416,9	434,2	476,3	582,9
		<i>вологовміст $d=f(M,T)$</i>									
	d	1	3	8	20	38	67	134	213	339	583
T °C											
10		11	37,5	92							
20		6	20	52,5							
30		3,2	11	30	73						
40		2	6	17,5	41	86,2					
50		1,25	3,8	9,8	27,5	50,5	90				
60		0,9	2,3	6,5	16,8	32,2	60				
70		0,5	1,45	4,1	10,7	20,9	34,8	70			
80		0,35	1,05	2,75	6,9	12,5	26	46,5	80,2		
90		0,25	0,75	1,9	4,8	9,5	16,2	33,2	59	89,9	
100		0,2	0,55	1,35	3,4	6,6	11,5	25,4	35,5	57,4	100
		<i>відносна вологість $M=f(d,T)$</i>									

Рис. 15 – Таблиці параметрів іd-діаграми, яка визначає стан повітря

Внаслідок зміни вологовмісту при кондиціонуванні повітря відповідно змінюється температура повітря приміщення. Тому ця температура, яка при функ-

ціонуванні ОК вимірюється датчиком температури, в моделі обчислюється за допомогою таблиці «Т1М».

Перевірка функціонування таблиць Look - Up Table 2D здійснюється по схемі, що наведена на рис. 16. У схемі використовується дисплей, на який виводяться результати обчислень функції двох параметрів вхідних даних.

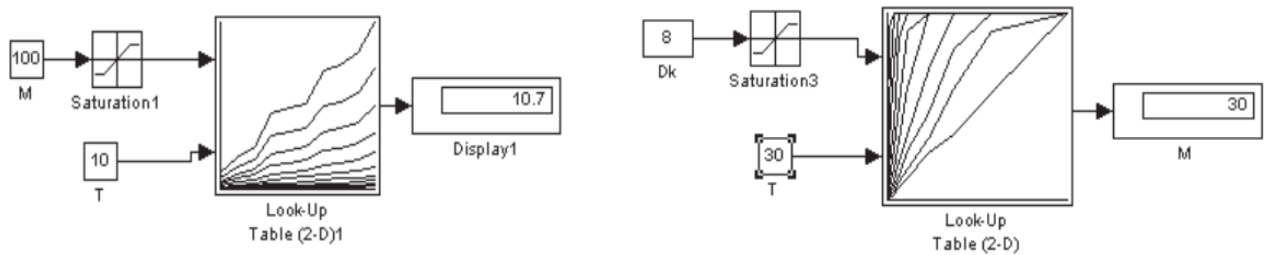


Рис. 16 – Схема налаштувань таблиці Look - Up Table 2D

Регулювання процесів кліматозабезпечення, що описувалося у розділі 2, здійснюється шляхом зміни положення засувок витяжного, припливного та циркуляційного повітря. Використання необхідних регуляторів дозволяє отримати рівень вологості та температура повітря приміщення БС, які задаються оператором.

Аналіз результатів регулювання процесів кондиціонування повітря в різних приміщеннях [7, 11, 12] дає змогу ідентифікувати сталі часу ланок електроприводу засувок, відповідно до них, отримати передатні функції ланок ОК, що входять до складу моделі.

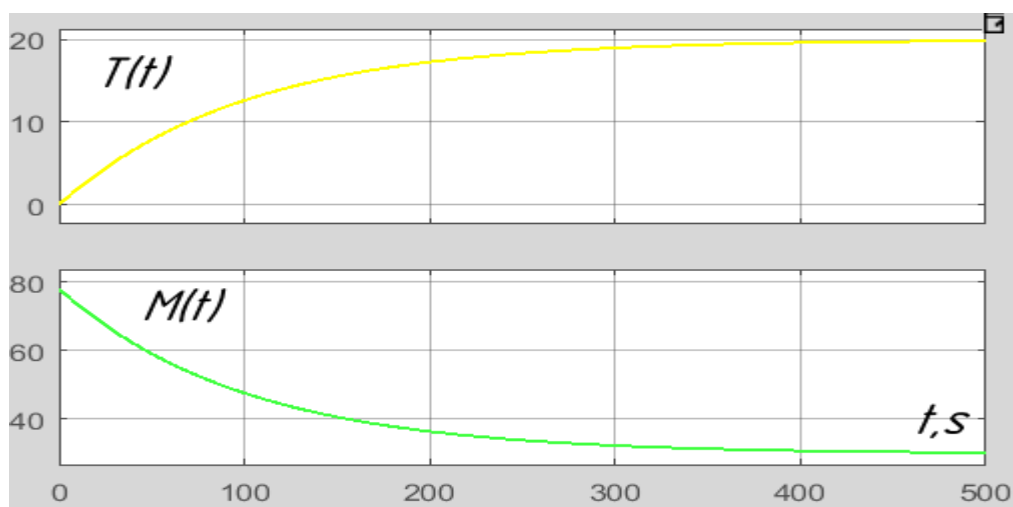


Рис. 17 – Перехідна характеристика каналу температура /вологість приміщення

На рис. 17 показані перехідні характеристики (розгінні криві) ОК по кана-

лам температури та вологості без зворотнього зв'язку та регулятора. При постійному значенні абсолютної вологості повітря збільшення його температури, приводить до зменшення відносної вологості.

Монотонність характеру перехідного процесу характеризує ОК як стійкий із довготривалим перехідним процесом. Для покращення динаміки перехідного процесу та якості регулювання застосуємо класичний ПД –регулятор та налаштуємо його параметри по методу Зіглера-Нікольса, який використовується у середовищі Simulink. Перехідна характеристика ОК, що отримана в результаті налаштувань, зображена на рис. 18.

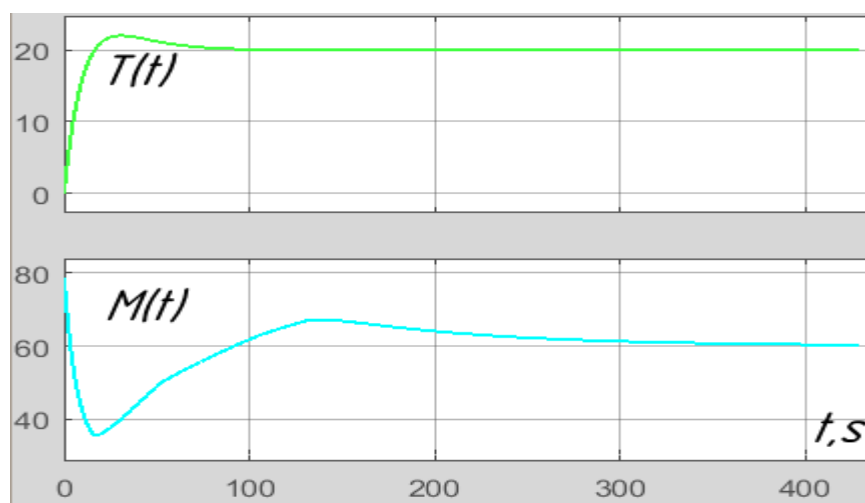


Рис. 18 – Перехідна характеристика параметрів з налаштованим регулятором.

Як видно із рис. 18, в результаті налаштувань параметрів ПД регулятора вдалося підвищити швидкодію процесу ОК та отримати більш точні показники регулювання.

Зважаючи на наявність збурень в ОК, які проявляються у зміні температури внаслідок зміни навантажень на телекомунікаційне обладнання та зміни абсолютної вологості повітря, що надходить у приміщення, для перевірки ефективності регулятора у схемі моделі були задіяні симулятори збурень (рис. 14).

Оскільки зміни температури та вологості є досить повільними процесами, та стрибкоподібно змінюватися не можуть, то генератори збурень імітували синусоподібні сигнали різної частоти.

На рис. 19 а) показано процес зміни параметрів в умовах збурень температури Z_T ОК, а на рис. 19 б) – при коливаннях абсолютної вологості Z_d .

Оскільки специфікою нашого об'єкта є великі значення його сталих часу, то подальші налаштування застосованого ПД – регулятора не змогли мінімізувати вплив збурень в моделі ОК, оскільки при підвищенні пропорційної складової ПД– регулятора ОК втрачає стійкість

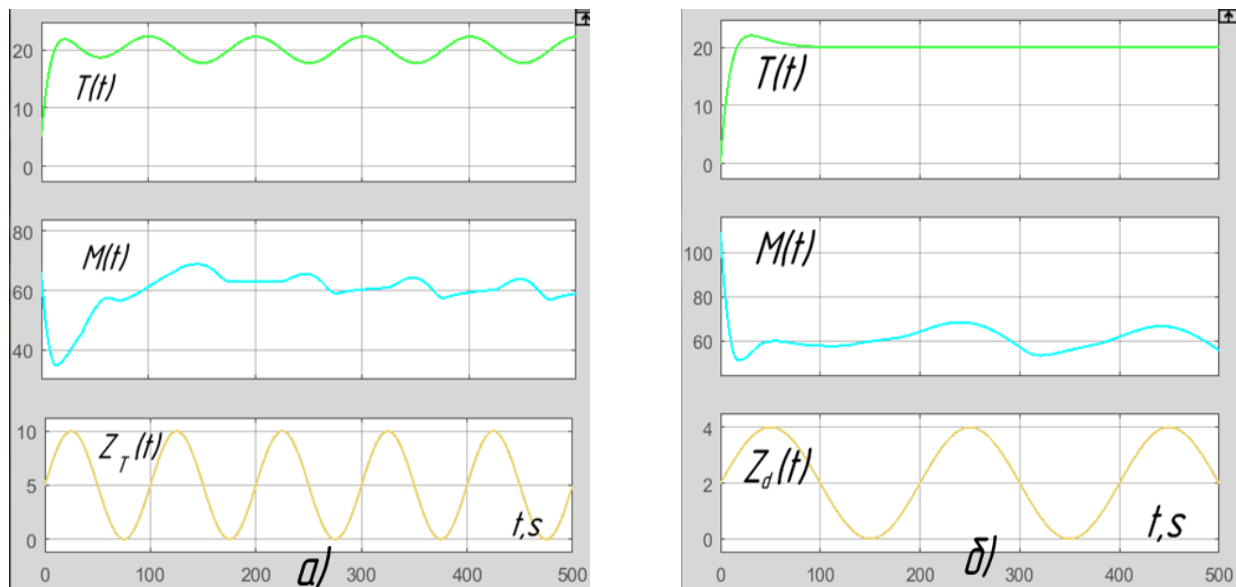


Рис. 19 – Осцилограми сигналів в умовах дії збурень

Альтернативою до використання ПД– регулятора є релейний регулятор (РР), який є ефективним саме для ОК, що мають значні сталі часу. На рис. 20 показані осцилограми, що відображають зміни кліматичних параметрів БС при використанні РР в умовах дії тих самих збурень, які показані на рис.19.

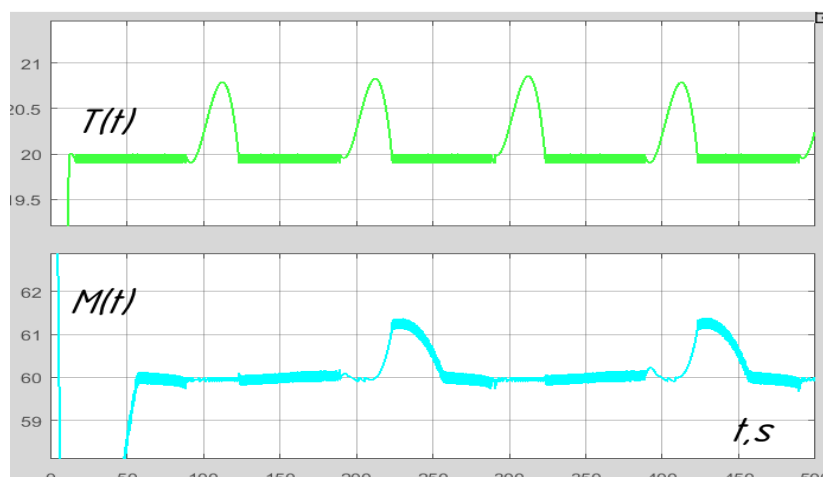


Рис. 20 – Осцилограми мінімізації збурень з використанням РР

На осцилограмах видно, що дії завод мінімізуються за рахунок частих перемикань РР, з амплітудою, що задається параметрами РР. Отримані результати регулювання кліматичних параметрів БС підтверджують ефективність РР.

3.2 Побудова моделі керування концентрацією пилу

Усвідомлюючи необхідність надходження зовнішнього повітря до приміщення БС, слід враховувати наслідки потрапляння у приміщення пилу разом з повітрям. Для контролю та керування рівнем запиленості приміщення використовується параметр «концентрація пилу».

Для оцінки можливостей коректної роботи обладнання БС в умовах дії забруднення пилом необхідно визначити залежність концентрації пилу від керуючих впливів і факторів збурення.

На сьогоднішній день математичний опис залежності концентрації пилу у повітрі технологічного приміщення недостатньо повний, оскільки враховується тільки основний фактор – кратність повітрообміну. Ця кратність залежить від співвідношення об'єму приміщення та напору повітря, що надходить до приміщення. Проте, на процес запилення впливає конфігурація розташування обладнання та наявність застійних зон. В результаті циркуляції повітря змінюється зважування пилу та емісія частинок твердими поверхнями приміщення БС. Зв'язок циркуляції повітря з вхідними /вихідними потоками можна задати диференціальним рівнянням:

$$\rho V \frac{dD_U(t)}{dt} = G_a(t)D_{Ua}(t) - G_{OUT}(t)D_{UOUT}(t) - G_o(t)D_U(t) \quad (7)$$

де ρ – щільність повітря (кг/м³), V – об'єм приміщення (м³);

$D_U(t)$, – вміст пилу в повітрі приміщення;

D_{Ua} – вміст пилу в атмосфері (часток/кг м³);

$D_{UOUT}(t)$ – вміст пилу в повітрі, що залишає приміщення;

$G_a(t)$, $G_{OUT}(t)$ – швидкість вхідного та вихідного потоків повітря (кг/с);

$G_o(n, t)$ – швидкість виділення пилу твердими елементами всередині приміщення (частинок/с м³).

Відносно витрат повітря G_o рівняння (7) виглядає:

$$\frac{\rho V}{G_o} \frac{dD_U(t)}{dt} = \frac{G_a}{G_o} D_{Ua}(t) - D_U(t) - \frac{G_{OUT}}{G_o}(t) D_U(t) \quad (8)$$

Припускаючи, що концентрація пилу у приміщенні D_U дорівнює концентрації

пилу у потоці повітря, що залишає приміщення D_{OUT} , то після введення позначення

$$T_{DU} = \rho V / G_o(t)$$

можна записати наступне рівняння

$$T_{DU} \frac{dD}{dt} + D = K_1 D_a - K_2 D_{OUT} \quad (9)$$

Коефіцієнти рівняння (9) – K_1, K_2 знаходяться з умов функціонування об'єкту в номінальному режимі, для випадку, коли $dD/dt = 0$

Операторна передатна функція, що відповідає рівнянню (9) для припливного та вихідного потоків має вигляд:

$$W_a(p) = \frac{D(p)}{G_a(p)} = \frac{K_1}{T_{DU} p + 1} \quad (10)$$

$$W_{OUT}(p) = \frac{D(p)}{G_{OUT}(p)} = -\frac{K_2}{T_{DU} p + 1} \quad (11)$$

Оскільки для приміщення БС не висувається жорстких вимог до концентрації пилу в повітрі, а керування цим параметром здійснюється шляхом циркуляції потоків повітря, то для побудови керуючого пристрою використаємо класичний ПД регулятор. Завдання керування для цього регулятора полягає у забезпеченні припустимого рівня запиленості приміщення БС. При перевищенні заданого максимального рівня передбачається збільшення обертів вентилятора витягуючого повітря, що створить умови для переваги потоку, що залишає приміщення БС G_{OUT} над припливним потоком G_a .

На рис. 21 показана схема моделі керування концентрацією пилу в повітрі приміщення БС, що будується на базі рівняння (9). Крім ланки, що відображує аеродинаміку приміщення, до схеми моделі входить ланка, що враховує швидкодню давача концентрації пилу. В цій схемі не враховується динаміка електроприводу засувки вентиляції, оскільки стала часу приводу засувки значно менше сталої часу зміни витрат потоку повітря.

Крім того до схеми входить імітатор збурень значення концентрації пилу (Gen Zbur), що відображує зміні концентрації пилу в потоці G_a , що надходить із навколишнього середовища

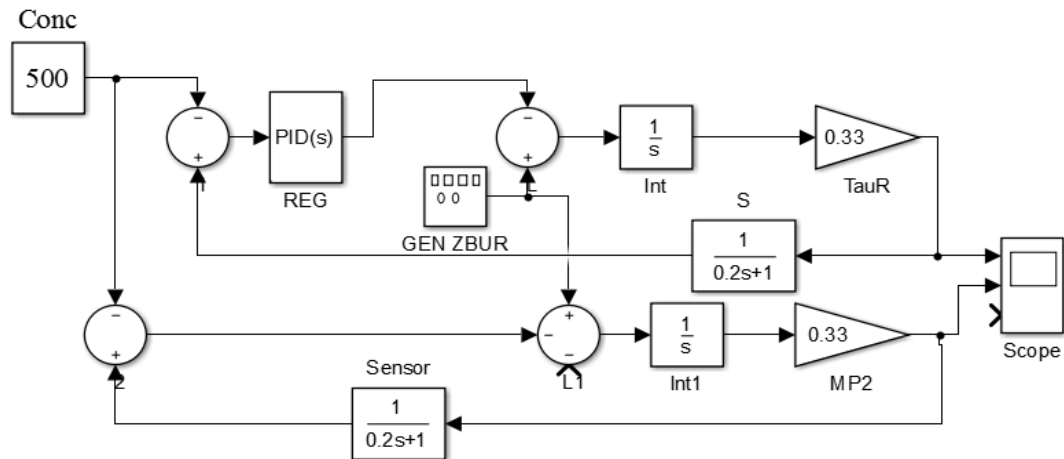


Рис. 21– Схема моделювання регулятора концентрації пилу

На рис. 22 а) показана осцилограма сигналу, що характеризує зміни концентрації пилу в повітрі БС без регулятора, а на рис. 22 б) – з використанням налаштованого ПІД-регулятора.

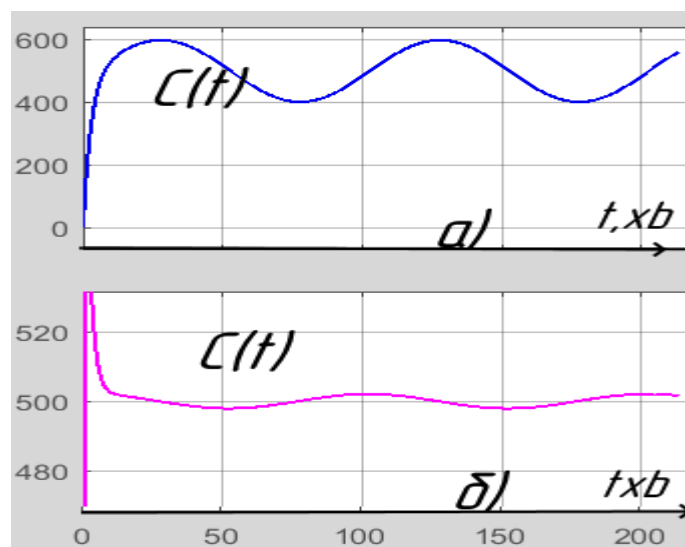


Рис. 22 – Перехідна характеристика ОК

Ці осцилограми отримуються із схеми моделі рис. 21, при умові ідентичних параметрів діючих збурень. Із аналізу характеристик, наведених на рис. 22 видно, що використання в контурі керування налаштованого ПІД-регулятора створює умови мінімізації накопичення пилу у приміщенні БС. Зменшення концентрації пилу до рівня, що менше заданого, дає змогу відключити вентилятор витяжного потоку та перейти у режим енергозбереження. Отримані результати дозволяють рекомендувати використання ПІД регулятор (з відповідними налаштуваннями) для забезпечення необхідних умов експлуатації ТКА.

3.3 Побудова моделі керування охолодженням обладнання БС

Необхідною умовою функціонування ТКА є забезпечення її охолодження, якого досить важко забезпечити теплою порою року при мінімальних енерговитратах. Розглядаючи різні варіанти теплових режимів ТКА [13], можна констатувати, що в більшості випадків охолодженням повітря здійснюється в результаті керування приводом вентиляторів. Електропривод реалізується на базі швидкісних двигунів, які здатні динамічно змінювати швидкість обертання, тим самим витрати охолоджуючого повітря.

У загальному вигляді процес теплообміну, що відбувається при охолодженні ТКА навколишнім повітрям, можна описати диференціальним рівнянням [14]:

$$-QC_P \frac{dT_O}{dt} = \alpha * S * (T_O - T_P) \quad (12)$$

де Q – тепловий потік до охолоджуючого середовища;

S – поверхня теплообміну;

dT_O/dt – швидкість зміни температури обладнання у часі;

T_O – температура обладнання; °С;

T_P – температура охолоджуючого повітря;

C_P – теплоємність обладнання, Дж/кг °С;

α – коефіцієнт теплопровідності повітря, що охолоджує.

Від’ємне значення теплоти формули (12) є ознакою, що тепла енергія відбирається від поверхні обладнання.

Схему моделі, що відображує процес охолодження ТКА можна представити у вигляді, як показано на рис. 23.



Рис. 23–Структурна схема моделі охолодження

Завдяки керуванню швидкістю циркулюючих потоків повітря змінюється розподіл поля температур приміщення БС. Якщо не ставиться завдання побудови цього теплового поля [15], як у нашому випадку, то можна припустити рівномірний розподіл температур у приміщенні БС. Тоді процес охолодження ТКА можна представити рівняннями із зосередженими параметрами.

Як видно із схеми моделювання рис. 23, узагальнений ОК представляється двома ланками. Ці ланки відображують вплив параметрів аеродинамічних процесів, тобто аеродинамічного опору, та результати змін процесів теплообміну.

Апаратна частина, що забезпечує автоматизацію керування процесом охолодження, складається з мікропроцесорного регулятора температури, давачів температури та частотного перетворювача електроприводу для регулювання обертів вентиляторів.

Таким чином, для регулювання швидкості потоку повітря V , відповідно, витрат охолоджуючого повітря Q , змінюється частота обертання електроприводу вентиляторів n . Збурюючими зовнішніми впливами на ОК є температура ТКА, яка змінюється відповідно до електричного навантаження та потоки рекуперації або обезпилювання Q_o .

Відповідно до рівняння (12), динаміка процесу зміни температури при регулюванні потоку охолоджуючого повітря у просторі приміщення БС представляється аперіодичною передатною функцією:

$$W_T(s) = \frac{\Delta T_g}{\Delta V} = \frac{k_T}{T_o s + 1} \quad (11)$$

де k_T – коефіцієнт передачі ОК по керуючому впливу; T_o – стала часу ОК; s – оператор Лапласа.

Динамічні характеристики приводу вентиляторів охолоджувача також представляються аперіодичною ланкою із сталою часу, яка визначається навантаженням двигунів вентилятора. Значення сталої часу обраховується із довідкових джерел для різних типів двигунів, електричних частотних перетворювачів.

Завдання по розбудові регулятора температури охолодження спрямоване на

досягнення максимальної швидкодії приводу вентиляторів охолодження.

Швидкодія приводу досягається в результаті використання потужних двигунів при формуванні відповідних керуючих впливів, тобто форсуванні змін частоти обертання вентиляторів. Проте, такі режими викликають динамічні перевантаження механічної частини приводу, що викликає зношення обладнання вентиляції та пов'язані з перебільшеними енергетичними витратами.

Тому налаштування регулятора повинно відбуватись в результаті врахування співвідношення сталих часу теплових та механічних процесів та доцільності енергетичних витрат.

Аналіз згаданих факторів по вибору критерію керування та характеристик ланок блоків моделі дає змогу розробити модель процесу охолодження в середовищі MATLAB, що зображена на рис. 24. Реалізація моделі здійснюється з урахуванням паспортних даних двигунів, вентилятора та довідникових даних по площі поверхні теплового випромінювання ТКА. Змінними параметрами є початкові умови охолодження та параметри режиму охолодження.

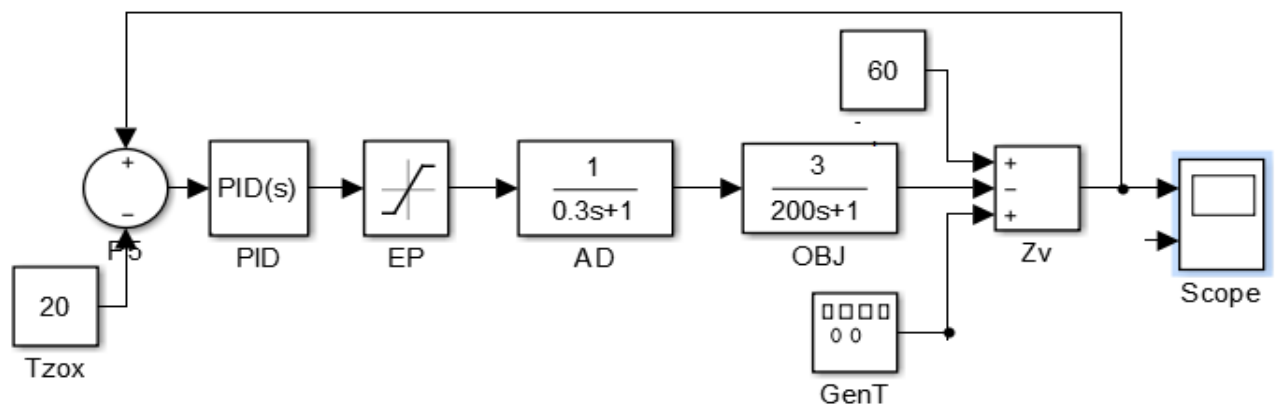


Рис. 24– Модель охолоджувача в MATLAB

Імітація збурень температури, що відбувається внаслідок зміни режимів ТКА, здійснюється за допомогою генератора GenT. В моделі використовується блок обмеження EP, щоб відобразити обмежену (кінцеву) потужність джерела живлення приводу.

На рис. 25 наведено графіки перехідного процесу охолодження неналаштованого (а) та налаштованого ПІД регулятора (б) за відсутності збурень.

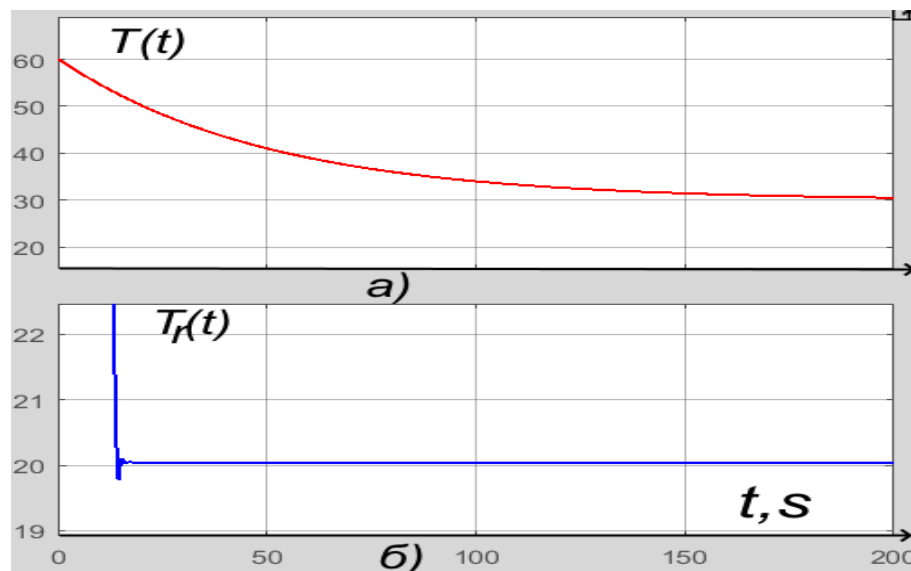


Рис. 25 – Осцилограми зміни температури повітря, що охолоджується
 На рис. 26 показано результати стабілізації температури повітря в умовах дії збурень температури.

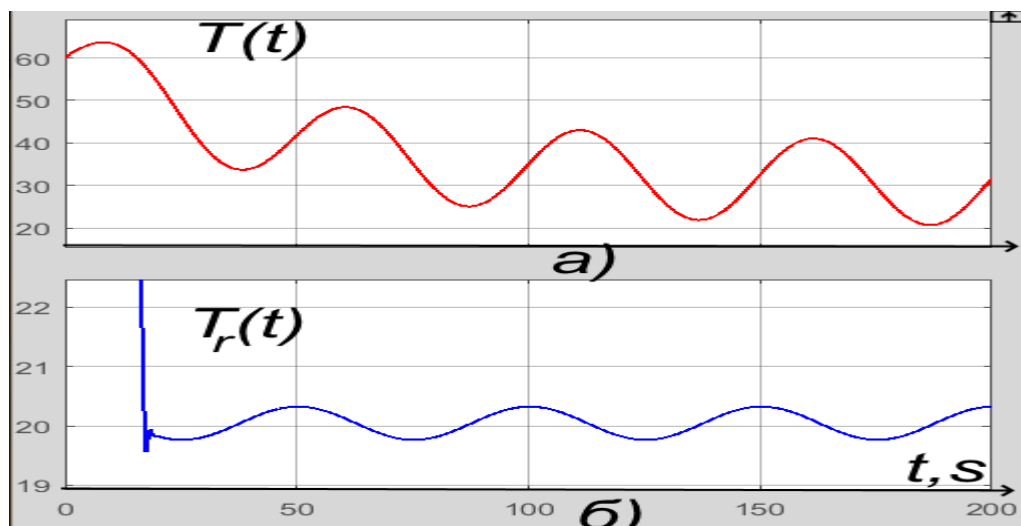


Рис. 26 – Осцилограми зміни температури повітря, що охолоджується
 а) – без налаштованого регулятора; б) – з налаштованим регулятором.
 Із аналізу осцилограм, що наведені на рис. 26, можна констатувати, що значення коливань температури приміщення при роботі регулятора значно зменшується.
 Результати моделювання контуру керування охолоджувачем дозволяють використати розглянутий П – регулятор при побудові системи керування кліматозабезпечення БС.

4 SCADA СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ СТАНУ БАЗОВОЇ СТАНЦІЇ

Для виконання завдань підтримки заданих кліматичних параметрів усередині БС, вона повинна мати обладнання, яке забезпечує виконання сервісних функцій. Використання спеціальних інтерфейсних плат та вбудованих в кондиціонери контролерів дає змогу здійснити online-моніторинг та віддалене керування обладнанням кліматозабезпечення БС, що необхідно для побудови SCADA системи.

Для моніторингу інженерного обладнання використовуються вільно програмовані контролери. При наявності сумісних модулів введення/виведення по шині утворюється потрібна кількість точок введення/виведення, відповідно до завдань кліматозабезпечення БС. Аналіз параметрів ПЛК [4, 5], що використовуються при розбудові технічного забезпечення моніторингу параметрів приміщень, обумовлює вибір більш ефективного мікропроцесорного пристрою UniPing server solution v3 / SMS (Тайвань) [16]. Цей пристрій забезпечує віддалений моніторинг датчиків по мережі Ethernet/Internet. Його структурна схема зображена на рис. 27.



Рис. 27 – Структурна схема системи UniPing server solution v3

Відповідно до структурної схеми рис. 27 на базі пристрою UniPing server so-

lution v3 окрім моніторингу кліматозабезпечення можна організувати наступні підсистеми:

- підсистема моніторингу протікання;
- підсистема моніторингу стану телекомунікаційних шаф;
- підсистема газоаналізу;
- підсистема збору, обробки та зберігання інформації.

Перераховані підсистеми реалізуються завдяки тому, що пристрій UniPing server solution v3 / SMS має:

- «Ethernet 100 мбіт/с порт,
- можливість підключення по WiFi,
- вбудований GSM модем для SMS-повідомлень про спрацювання датчиків,
- 8 ліній вхід/вихід для підключення датчиків або ВМ,
- резервне безперебійне живлення,
- вбудований web-сервер для конфігурації і керування пристроєм через браузер. Вбудований супервізор живлення захищає пристрій від перебоїв при стрибках напруги. У деяких випадках автоматично відпрацьовуються заходи по відновленню умов функціонування обладнання. Наприклад, при перевищенні значення допустимої температури підключити додатковий кондиціонер.

Взаємодія блоків системи організовується за протоколом SNMP, який широко використовується в системах збору інформації про мережеве обладнання. Пристрій виробляє команди керування та отримує інформацію від датчиків по SNMP протоколу.»

Для вирішення завдань дистанційного моніторингу необхідно існуючу *систему зв'язку* доповнити додатковою підсистемою, яка дозволить організувати зв'язок між вузлами моніторингу та кінцевою точкою обробки даних. Така підсистема утворює сенсорну мережу. Організація сенсорної мережі передбачає взаємозамінні маршрути зв'язку між сенсорними вузлами таким чином, що при виході з ладу одного з маршрутів передачі маршрут змінюється на працездатний. Правила організації маршрутів, які з'єднують вузли сенсорної мережі, задаються алгоритмом організації зв'язку та технологією побудови сенсорної ме-

режі.

Суттєву роль в організації моніторингу грає *місце зберігання* інформації, під яким ми розуміємо файлові сервера. Доступ до них організується по протоколу FTP (File Transfer Protocol).

Програмне забезпечення (ПЗ) найчастіше має функції поширення зібраної інформації, в тому числі і з використанням доступу до FTP-серверу, що серйозно спрощує завдання централізації збору даних від всіх сенсорів відразу.

Процес зберігання інформації залежить від обсягу вхідних даних. Сучасні технології кластеризації та об'єднання файлових сховищ дозволяють вводити в серверні структури велику кількість засобів зберігання. Для централізованої обробки інформації, що надходить із сенсорної мережі при аналізі параметрів обладнання БС, використовується центр обміну даних (ЦОД).

Серверні структури зберігання даних автоматично стають частиною ЦОД, оскільки утримання рівня ефективності роботи ЦОД не дозволяє розносити засоби зберігання із засобами обробки.

Під засобом обробки даних розуміються багатопроцесорні серверні структури, здатні обробляти велику кількість інформації в короткий термін, що є найважливішим аспектом ефективності обробки.

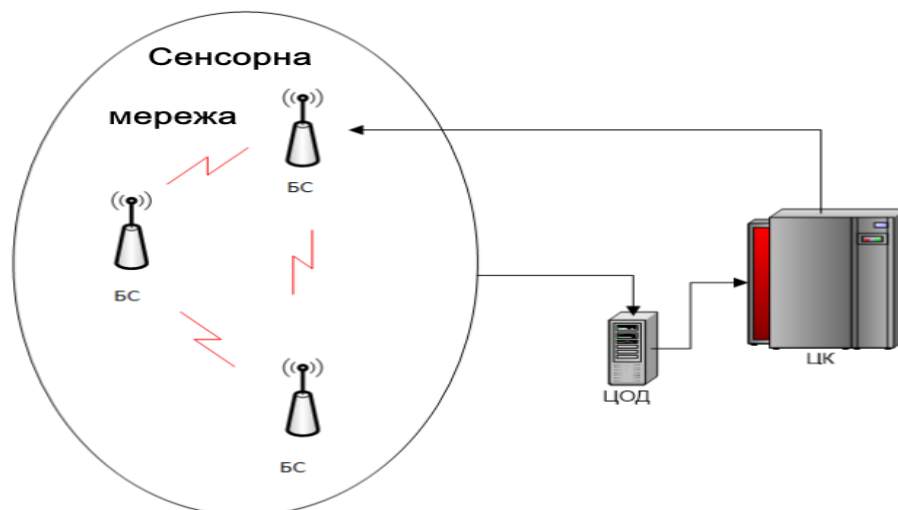


Рис. 28 – Структура взаємозв'язків сенсорної мережі

Завдання візуалізації даних, отриманих від сенсорної мережі, вирішується розробкою ПЗ, однак, це не вирішує завдання в цілому.

Автоматизована система повинна мати зворотний зв'язок, який забезпечить перехід даних від ЦОД до центрального комутатора (ЦК) стільникового зв'язку, а з нього до обладнання БС.

Безпосередньо під зворотним зв'язком варто розуміються канали зв'язку ЦК з контролерами БС або безпосередньо з БС, оскільки зв'язок між ЦК та обладнанням БС існує не лише на рівні передачі інформації, а й на рівні керування.

Вся описана структура ілюструється схемою, що зображена на рис. 28. На цій схемі рівень об'єднання даних між БС здійснюється сенсорною мережею WSN (Wireless Sensor Network). Координація інформаційних потоків між сенсорною мережею та ЦК з використанням ЦОД дає змогу створити автоматизовану систему, що забезпечує роботу системи моніторингу кліматозабезпечення.

Ця система в загальному вигляді розбудовується відповідно до основних функцій системи SCADA:

1. Збір, первинна обробка та накопичення інформації про параметри кліматозабезпечення БС та стан її обладнання.
2. Відображення інформації про поточний стан обладнання БС на моніторі ЦОД у вигляді мнемосхем.
3. Відображення графіків поточних значень параметрів кліматозабезпечення БС за заданий інтервал часу.
4. Виявлення критичних (аварійних) ситуацій.
5. Архівування історії зміни параметрів кліматозабезпечення.
6. Операторське керування кліматозабезпеченням БС.
7. Генерування та перегляд звітів із зміни параметрів кліматозабезпечення БС.

Приведений перелік функцій SCADA системи кліматозабезпечення дозволяє обрати для реалізації цих функцій апаратну платформу ПЛК S7-400 виробництва фірми Siemens [17]. Для ПЛК сімейств S7-400 компанією Siemens розроблено власне програмне забезпечення Simatic Step 7, яке складається:

Simatic Manager (Головна утиліта Step 7), яка дозволяє проводити конфігурацію ПЛК та мереж (утиліти HWConfig та NetPro).

Середовищем розробки систем керування на базі ПЛК фірми Siemens є ПЗ

SIMATIC STEP 7, що дозволяє розробляти керуючі програми для ПЛК S7-1200, S7-1500 и S7-400. Для ПЛК версії S7-200 використовується програмне середовище Step 7 Micro Win.

Концерн Siemens об'єднав програмні пакети в один інтерфейс, що дозволило забезпечити єдиний принцип виконання етапів роботи.(рис.29)

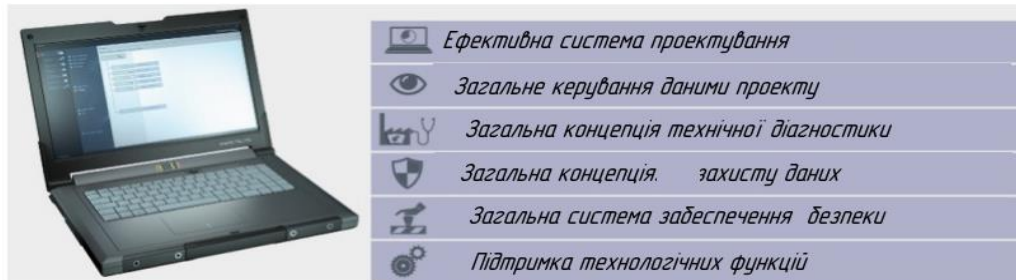


Рис. 29– Етапи роботи з ПЗ Step 7

Програмування ПЛК здійснюється за допомогою Simatic Manager, який забезпечує написання програм у трьох редакторах. Для конфігурації обладнання в загальному вікні програми з допомогою кнопки *NetPro* збирається обладнання та створюються необхідні зв'язки між елементами.

Після створення програми та збереження її у пам'яті PLC переходять до процесу візуалізації проекту: побудови відображення ОК у SCADA системі та зв'язку останньої з програмою виконання (Рис.30).

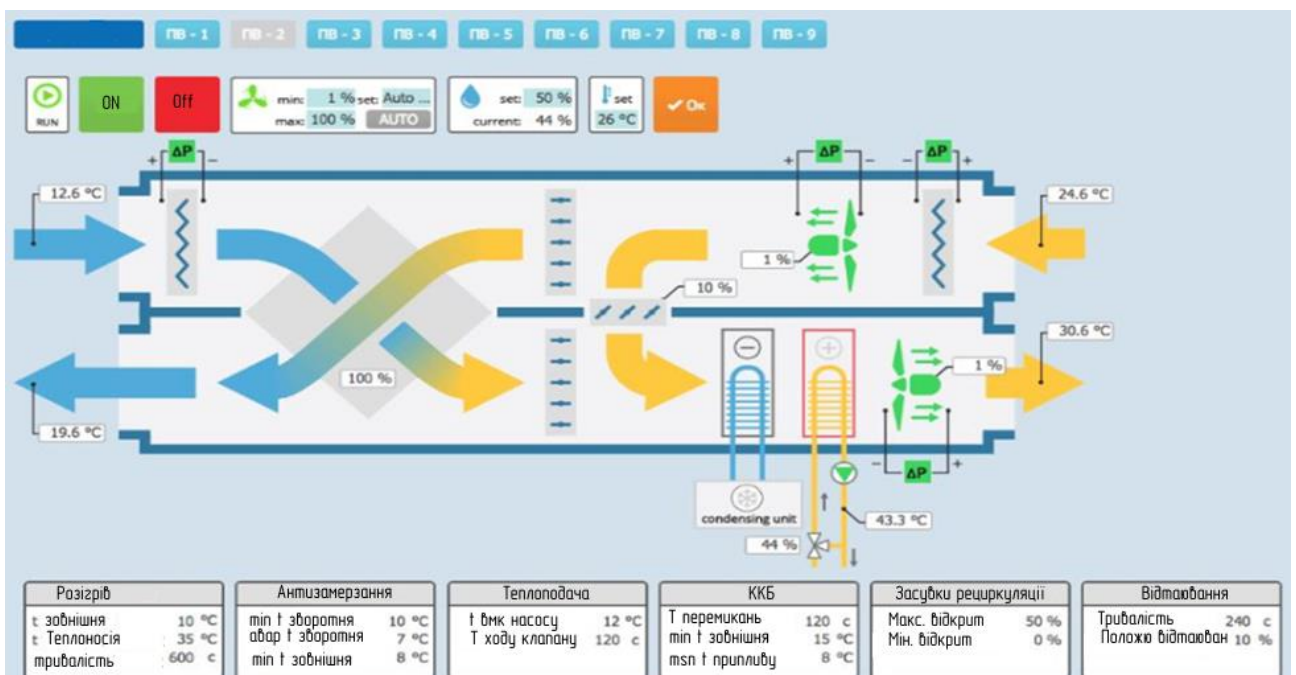


Рис. 30 –Мнемосхема процесу керування рециркуляцією повітря

ВИСНОВОК

Проаналізовано завдання керування кліматозабезпеченням базової станції (БС) мобільного зв'язку та фактори, що впливають на збереження енергії, яка споживається для забезпечення надійного функціонування станції.

Розглянуто функції керування, які забезпечують температуро-вологісний режим БС. Алгоритми керування кліматозабезпеченням будуються на базі критерію оптимізації – мінімізація енергоспоживання.

Функції керування забезпечують наступні процеси:

- регулювання температури БС охолодженням;
- регулювання температури положенням засувки;
- регулювання вологовмісту повітря;
- дистанційного моніторингу БС.

У середовищі MATLAB Simulink розроблено моделі регуляторів наступних параметрів:

- співвідношення температура/вологість, яке базується на врахуванні параметрів ід діаграми;
- концентрація пилу ;
- регулювання температури шляхом зміни напрямків охолоджуючих потоків.

Розробка моделей супроводжувалося імітацією збурень параметрів, в результаті чого показана ефективність розроблених регуляторів.

Для вирішення задач дистанційного моніторингу кліматичних параметрів БС прийнято структуру сенсорної мережі на базі пристрою UniPing server solution v3/SMS, який забезпечує зв'язок з верхнім рівнем по мережі Ethernet/Internet. У SCADA – системі кліматозабезпечення БС використовується платформа ПЛК S7-400 виробництва фірми Siemens. При розробці програмного забезпечення системи задіяно програмний продукт SIMATIC STEP 7.

Проведені дослідження показали можливості непрямой оптимізації параметрів кліматозабезпечення базової станції мобільного зв'язку внаслідок складних та нелінійних зв'язків параметрів об'єкту керування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Yong Yang, Bo Wangd, Qinbin Zhou. Air Conditioning System Design using Free Cooling Technology and Running Mode of a Data Center in Jinan. Procedia Engineering. 10th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning, ISHVAC2017. –205. –2017. –р.3545–3549.
2. Зайков Д.А, Орленко В. С. Проблеми мікроклімату в телекомунікаційних центрах та серверних приміщеннях. Зв'язок. –2020. – № 1. –с. 59-61.
DOI: 10.31673/2412-9070.2020.065900
3. Бондарь ЕС., Гордиенко А. С., Михайлов В. А., Нимич Г. В.. Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха. ТОВ «Видавничий будинок «Аванпост-Прим» . –2005. –Київ. –560 с.
4. <https://www.terratel.eu>
5. Коренівська О.Л., Бенедицький В.Б., Нікітчук Т.М. Аспекти побудови систем моніторингу параметрів мікроклімату в навчальних аудиторіях. Технічна інженерія.–2022. –№ 2 (90). –С. 136–143. DOI: [https://doi.org/10.26642/ten-2022-2\(90\)-136-143](https://doi.org/10.26642/ten-2022-2(90)-136-143).
6. Yasuaki Wasa, Takeo Kasajima, Takeshi HatanakaMasayuki Fujita. Modeling and identification of data center HVAC system with super-multipoint temperature sensing system.– SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration.–2018.– р. 221–229.–DOI: 10.9746/jcmsi.11.221
7. Василець Д.І., Козьмініх Н.А., Налєва Г.В., Оніщенко О.А. Система стабілізації температури повітря у судовому приміщенні, яке кондиціонують. Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля.–2019.–№ 5 (253).– С.92–99. DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2019-253-5-92-99>.
8. Охріменко В., Заєць Н. Побудова математичної моделі мікроклімату в теплиці. Матеріали IV Міжнародної науково-технічної Internet-конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами», 22 листопада 2017 р. [Електронний ресурс] – Київ: НУХТ.– С. 72–73.

9. Голінко І.М., Галицька І.Є. Промислове приміщення як динамічний елемент системи керування штучним мікрокліматом. Інформаційні системи, механіка та керування. – 2018. –Вип. 18.– С. 104–114 DOI: <http://dx.doi.org/10.20535/2219-3804.182018124840>
10. Yang S, Su H, Dou X, Chen M, Huang Y. Heat Balance Calculation and Energy Efficiency Analysis for Building Clusters Based on Psychrometric Chart. Sensors. – 2021. – 21(22):7606. <https://doi.org/10.3390/s21227606>.
11. Диктерук М.Г., Кравчук В.Т., Кобец М.С., Човнюк Ю.В. Моделювання та аналіз систем управління мікрокліматом приміщень музеїв.– 2018.– Вісник ХНТУ.– №3(66), Том 2.–С.209–217.
12. Лобов В., Єфіменко Л., Бойко С., Городній О. Методика проектування системи керування мікроклімату в приміщенні. Технічні науки та технології. – 2022. –1(27) . –С.172–183. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2022-1\(27\)-172-183](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2022-1(27)-172-183)
13. Arduini Doug; Dogruoz Baris; Goergen Joel. IT equipment, Power supplies, and facility improved cooling with smart HVAC system. Technical Disclosure Commons, (June 22, 2020) https://www.tdcommons.org/dpubs_series/3355
14. Нікольський О.І., Шеремета О.П. Моделювання теплових процесів в РЕА: навчальний посібник. –2017. – Вінниця: ВНТУ.– 116с.
15. Yelong Zhang, Yanqi Zhao, Siyuan Dai, Binjian Nie, Hongkun Ma, Jianming Li , Qi Miao, Yi Jin , Linghua Tan, Yulong Ding. Cooling technologies for data centres and telecommunication base stations. Journal of Cleaner Production. –2022. –V. 334, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130280>
16. https://netping.com.ua/monitoring-datchikov/UniPing%20server_solution_v3.html
17. https://www.siemens.com/ua/uk/produkty/avtomatyzatsiya_promyslovosti/systemy-avtomatyzatsiyi/systemy-promyslovoyi-avtomatyzatsiyi-simatic/plc-kontrolery-simatic/simatic-s7-400.html

ДОДАТОК А
ІД-ДІАГРАМА СТАНУ ВОЛОГОГО ПОВІТРЯ

