

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)
та радіоелектроніки

Кафедра Автоматики та телекомунікацій
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

І.С. Лактіонов
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 2021 р.

Випускна кваліфікаційна робота
магістра
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Дослідження та розробка системи автоматичного керування кліматом цеху по виробництву м'ясних виробів»

Виконав : студент 2 курсу, групи

СУАм-20
(шифр групи)

напряму спеціальності

151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Романов Р.В.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник

доцент, к.т.н. доцент Поцєпаєв В. В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

*Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає
запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.*

Студент _____
(підпис)

Покровськ – 2021 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
(назва)

Кафедра Автоматики та телекомунікацій
(назва)

Захист відбувся _____
(дата)

з оцінкою _____

секретар

ДЕК _____
(підпис)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА
на тему «Дослідження та розробка системи автоматичного керування
кліматом цеху по виробництву м'ясних виробів»

Виконавець студент групи	СУАм–20	Романов Р.В.
	(підпис, дата)	(ініціали, прізвище)
Керівник		Поцєпаєв В.В.
	(підпис, дата)	(ініціали, прізвище)
Зав. кафедри	АТ	Лактіонов І.С.
	(підпис, дата)	(ініціали, прізвище)
Консультанти		
	(підпис, дата)	(ініціали, прізвище)
	(підпис, дата)	(ініціали, прізвище)
Нормоконтролер		Жуковська Д.О.
	(підпис, дата)	(ініціали, прізвище)

Покровськ– 2021 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації

Кафедра автоматика та телекомунікацій

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ / Лактіонов І.С./

“ _____ ” _____ 2021 р.

З А В Д А Н Н Я НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Романову Роману Вадимовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження та розробка системи автоматичного керування кліматом цеху по виробництву м'ясних виробів

керівник роботи: Поцєпаєв В.В., к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від “ _____ ” _____ 2021 року № _____

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи: Дослідження та розробка системи автоматичного керування кліматом цеху по виробництву м'ясних виробів

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

- 1) Виконати аналіз існуючих систем опалення виробничих приміщень.
- 2) Розробити математичну модель теплового балансу приміщення цеху.
- 3) Виконати синтез САК опаленням та дослідити її на імітаційній моделі.
- 4) Виконати заходи з охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
Визначається змістом презентації

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Виконати аналіз існуючих систем опалення виробничих приміщень.	25.10.21	
2	Розробити математичну модель теплового балансу приміщення цеху.	10.11.21	
3	Виконати синтез САК опаленням та дослідити її на імітаційній моделі.	30.11.21	
4	Розробка заходів з охорони праці	05.12.21	
5	Оформлення магістерської роботи	15.12.21	
6	Підготовка до захисту магістерської роботи	20.12.21	
7	Захист магістерської роботи	24.12.21	

Студент

(підпис)**Романов Р.В.**

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)**Поцєпасєв В.В.**

(прізвище та ініціали)

Лист зауважень

Посада П.І.Б.	Суть зауваження, оцінка та підпис

АНОТАЦІЯ

Романов Р.В. Дослідження та розробка системи автоматичного керування кліматом цеху по виробництву м'ясних виробів / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». ДВНЗ ДонНТУ, Покровськ, 2021.

Пояснювальна записка: 85 сторінок, 34 рисунка, 39 посилань на використану літературу.

Об'єкт розробки – систем автоматичного керування кліматом цеху по виробництву м'ясних виробів.

Мета роботи – розробка енергоефективної системи автоматичного керування кліматом цеху по виробництву м'ясних виробів.

Методи дослідження. Структурний аналіз систем автоматичного керування; методи аналізу та синтезу систем автоматичного керування; методи імітаційного моделювання, дослідження та синтезу систем автоматичного керування в системі MATLAB/Simulink.

Результат розробки – система автоматичного керування кліматом цеху по виробництву м'ясних виробів.

Ключові слова: СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, СИНТЕЗ, КЛІМАТ, ЦЕХ.

ABSTRACT

Romanov R.V. Research and development of the system of automatic climate control of the shop for the production of meat products / Graduation qualification work for the degree of "master" in the specialty 151 "Automation and computer-integrated technologies". SHEE DonNTU, Pokrovsk, 2021.

Explanatory note: 85 pages, 34 figures, 39 references to the used literature.

The object of development is the automatic climate control system of the meat products shop.

The purpose of the work is development of an energy-efficient automatic climate control system for a meat production plant.

Research methods – structural analysis of automatic control systems; methods of analysis and synthesis of automatic control systems; methods of simulation modeling, research and synthesis of automatic control systems in the MATLAB / Simulink system.

The result of the development is an automatic climate control system for the meat production plant.

Keywords: AUTOMATIC CONTROL SYSTEM, MATHEMATICAL MODEL, SYNTHESIS, CLIMATE, SHOP.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ ТА КОНДИЦІЮВАННЯ ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕНЬ	13
1.1 Системи опалення виробничих приміщень	13
1.1.1 Автономне опалення за допомогою котлів.....	13
1.1.2 Автономне опалення за допомогою теплових насосів.....	16
1.1.3 Автономне повітряне опалення великих комерційних та промислових приміщень	18
1.1.4 Повітряно-теплові завіси.....	23
1.2 Режими роботи та конфігурація систем опалення.....	27
1.2.1 Мультизонне опалення та кондиціонування.....	27
1.2.2 Переривисте опалення промислових та комерційних приміщень.....	29
1.3 Погодозалежне керування температурою приміщення.....	32
1.4 Теплові потоки цеху по виробництву м'ясних виробів.....	34
1.5 Висновки по розділу 1.....	37
2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ САК КЛІМАТОМ ЦЕХУ ПО ВИРОБНИЦТВУ М'ЯСНИХ ВИРОБІВ.....	38
2.1 Розрахунки параметрів математичної моделі.....	38
2.1.1 Розрахунок втрат тепла через огорожувальні конструкції.....	38
2.1.2 Розрахунок втрат тепла через підлогу.....	39
2.1.3 Розрахунок втрат тепла через стіни та стелю.....	42
2.1.2 Розрахунки надходжень тепла від коптильно-варочних камер та димогенераторів.....	43
2.2 Блок-діаграма імітаційної моделі об'єкта керування.....	44
2.3 Висновки по розділу 2.....	47
3 СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ САК КЛІМАТОМ ЦЕХУ ПО ВИРОБНИЦТВУ М'ЯСНИХ ВИРОБІВ.....	49

3.1 Технічна реалізація функцій синтезованої САК.....	49
3.2 Блок-діаграма імітаційної моделі САК кліматом.....	51
3.3 Дослідження САК кліматом цеху.....	53
3.4 Порівняльні дослідження релейної та лінійної САК кліматом цеху.....	58
3.5 Висновки по розділу 3.....	64
ВИСНОВКИ.....	66
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	68
ДОДАТОК А. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	73

ВСТУП

Актуальність роботи. Сучасний аграрно-промисловий комплекс (АПК) є високотехнологічним підприємством, в якому досить високі технології виробництва продуктів харчування забезпечуються системами та засобами автоматизації.

Кінцевою, а тому найважливішою ланкою АПК, орієнтованого на виробництво м'ясних виробів, є цех по виготовленню м'ясної продукції. Такий цех має достатньо високий рівень автоматизації технологічними операціями, яка спрямована на забезпечення якості продукції, що випускається [1...4]. Водночас публікації з побудови систем автоматичного керування кліматом в приміщенні цеху по виробництву м'ясної продукції, де на температуру у приміщенні суттєво впливають такі потужні джерела тепла як варочно-копильні камери та димогенератори, практично відсутні. Проблема опалення та кондиціювання таких приміщень в теперішній час загострюється через постійне зростання вартості енергоносіїв всіх видів. В зв'язку з цим завдання дослідження та розробки системи автоматичного керування кліматом в цеху по виготовленню м'ясної продукції є актуальним.

Мета роботи – дослідження та розробка енергоефективної системи автоматичного керування кліматом цеху по виробництву м'ясних виробів.

Методи дослідження. Структурний аналіз систем автоматичного керування; методи аналізу та синтезу систем автоматичного керування; методи імітаційного моделювання, дослідження та синтезу систем автоматичного керування в системі MATLAB/Simulink.

Завдання роботи, які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети:

Виконати аналіз розробок з опалення та вентиляції сучасних промислових та спеціалізованих приміщень.

Розробити математичну модель системи керування кліматом цеху по виготовленню м'ясної продукції, яка враховує реальні збурення від технологічного обладнання.

Виконати синтез системи автоматичного керування кліматом цеху по виготовленню м'ясної продукції.

Виконати дослідження розробленої системи автоматичного керування (САК) кліматом.

Розробити заходи з охорони праці.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблена структура, алгоритм та параметри САК кліматом цеху можуть бути використані при модернізації апаратури автоматизації керування кліматом виробничих приміщень, що подібні за теплообмінними процесами цеху по виготовленню м'ясної продукції.

Апробація роботи. Основні результати магістерської роботи доповідалися на Всеукраїнському науково-практичному форумі «ТАК2021»: телекомунікації, автоматизація, комп'ютерно-інформаційні технології, 1-2 грудня 2021 року, ДонНТУ, м. Покровськ.

Публікації. Результати досліджень, виконаних в магістерській роботі, опубліковані в збірці доповідей науково-практичного форуму «ТАК2021»: телекомунікації, автоматизація, комп'ютерно-інформаційні технології, 1-2 грудня 2021 року, ДонНТУ, м. Покровськ.:

Романов Р.В., Поцеваєв В.В. Система автоматичного керування кліматом цеху по виготовленню м'ясної продукції [Текст] / Р.В. Романов, В.В. Поцеваєв // Всеукраїнський науково-практичний форум «ТАК2021»: телекомунікації, автоматизація, комп'ютерно-інформаційні технології, 1-2 грудня 2021 р.: збірка доповідей. – ДВНЗ «ДонНТУ», м. Покровськ 2021. – С. 151 – 155.

Структура та обсяг кваліфікаційної роботи. Структура магістерської кваліфікаційної роботи визначена її метою, запланованими дослідженнями та завданнями, що виконувались в роботі. Робота містить

анотацію, вступ, три розділи, основні висновки та перелік використаної літератури. Обсяг роботи складає 85 сторінок тексту, 34 рисунка, 39 посилань на використану літературу та додаток із заходів з охорони праці.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕНЬ

1.1 Системи опалення виробничих приміщень

Підтримання температури повітря в приміщенні на заданому рівні, вивід назовні відпрацьованого повітря, та приплив всередину приміщення свіжого повітря здійснюється системами опалення, вентиляції та кондиціювання.

Опалення – є видом технологічного обладнання, режими роботи якого мають враховувати теплофізичні особливості конструкції будівлі і бути узгоджені з роботою інших видів обладнання та систем, зокрема, з режимними параметрами систем вентиляції і кондиціювання повітря [1...4].

1.1.1 Автономне опалення за допомогою котлів

Традиційним, але й сучасним обладнанням для автономного опалення виробничих, комерційних і житлових приміщень та споруд є водонагрівальні котли. За видом палива, що використовується, котли можуть бути газовими, твердопаливними, рідкопаливними та електричними.

Газові котли є найбільш розповсюдженими завдяки розвиненій мережі постачання природного газу в Україні. До того ж такі котли можуть працювати на скрапленому балонному газі. До тепер природний газ був найдешевшим паливом, але війна з Росією привела до надзвичайно високих цін на природний газ і опалення у такий спосіб стало надмірно витратним. Слід додати, що власне самі газові котли мають відносно високу ціну, залежні від якості газу, є дорогими при монтажі, профілактичних роботах та складні при оформленні експлуатаційної документації. Зовнішній вигляд сучасного газового котла BOSCH ZW 30-2AE GAZ 3000W - котел газовий настінний двоконтурний

бездимохідний, потужність 30 кВт, ціна 25720 Грн, котрий відповідає параметрам цеху по виготовленню м'ясної продукції і може бути використаний в САК кліматом, що розробляється в цій роботі, наведено на рис. 1.1



Рисунок 1.1 – Газовий котел опалення, що може застосуватись у САК кліматом цеху по виготовленню м'ясної продукції.

В твердопаливних котлах паливом може бути вугілля, кокс, дрова, торф, брикети з рослин або з будь-якої деревини. За видами палива такі котли можуть бути універсальними або використовувати деякі з них. Останні мають більший ККД ніж універсальні. Головним недоліком котлів на твердому паливі, котрий не можна усунути за приємні кошти, є неспроможність працювати в повністю в автоматичному режимі, оскільки вони потребують періодичне завантаження палива. Найкращі моделі котлів на твердому паливі, наприклад, Buderus Logano S111 мають ККД до 82% та періодичність завантаження 2 рази на добу при потужності 45 кВт.

Електричні котли опалення мають найнижчу ціну, найвищий ККД до 99%, легко регулюються в системах керування кліматом, мають найпростіший монтаж, безпечні в експлуатації, не потребують вентиляції приміщення та димарів, безшумні в роботі та екологічні. Такий котел має дуже просту конструкцію – обладнаний водонагрівальним баком з ТЕНом, регулятором температури, циркуляційним насосом, розширювальним баком, запобіжним клапаном та фільтром. Вказані переваги обумовили їх досить високе розповсюдження – друге місце після газових котлів. Єдиним недоліком електричних котлів є висока й невпинно зростаюча ціна на електроенергію. В багатоповерхових будівлях, де газопостачання відсутнє, використовуються тільки електричні котли.

Для порівняння електричний котел вітчизняного виробництва Корді КЕВ 30ЕН/380В потужністю 30 кВт з електронним блоком керування має ціну 14140 грн.



Рисунок 1.2 – Електричний котел опалення, що може застосуватись у САК кліматом цеху по виготовленню м'ясної продукції.

Рідкопаливні котли зазвичай використовують дизельне паливо, що забезпечує досить високу автономність системи опалювання, особливо при наявності автономного малопотужного джерела електроенергії для роботи автоматики котла. Недоліком такого котла є надвисока ціна дизельного палива, що для промислового підприємства може бути тільки резервним аварійним варіантом опалення. В усіх розглянутих видах котлів теплоносієм є вода або водяна пара, котра протікаючи через радіатори опалення віддає тепло повітрю приміщення, що опалюється.

1.1.2 Автономне опалення за допомогою теплових насосів

Теплові насоси є новим видом опалювального обладнання. Головною перевагою теплових насосів є суттєво менші витрати на опалення. При опалюванні комерційних або виробничих приміщень теплова продуктивність такої системи опалювання в 5...6 разів більше, ніж у стандартного газового котла при рівнім споживанні енергії з останнім. Така висока енергоефективність обумовлена тим, що тепловий насос не виробляє тепло за рахунок палива, а переносить його з довколишньої води або повітря [6].

Теплові насоси безпечні в експлуатації і абсолютно екологічні [6]. Вони не виділяють в атмосферу небезпечних речовин і не забруднюють довкілля.

Для досягнення повної ефективності опалення комерційного або виробничого приміщення, необхідно кваліфіковано розрахувати параметри експлуатації обладнання. Використовуватися система з тепловим насосом може повсюдно, незалежно від кліматичних особливостей регіону або ж розмірів приміщень, що опалюються.

За видами теплові насоси відрізняються середовищем, з якого вилучається тепло при випаровуванні холодоагенту в циклі роботи теплового насоса. Це може бути вода в водоймах, земля та повітря. Таким чином, існують водяні, земляні та повітряні теплові насоси. Вибір одного з названих видів обумовлений особливостями місцевості, де розташований об'єкт опалення.

Принцип дії теплового насоса подібний роботі спліт системи кондиціонера при його роботі на обігрів, коли випаровування холодоагенту відбувається поза межами приміщення – в землі, у воді або в повітрі.

Тепловий насос для опалення приміщення включає наступні елементи: конденсатор; випарник; електролічильник; компресор; система автоматики і управління; лічильники тепла; клапани та комунікації [7,8].

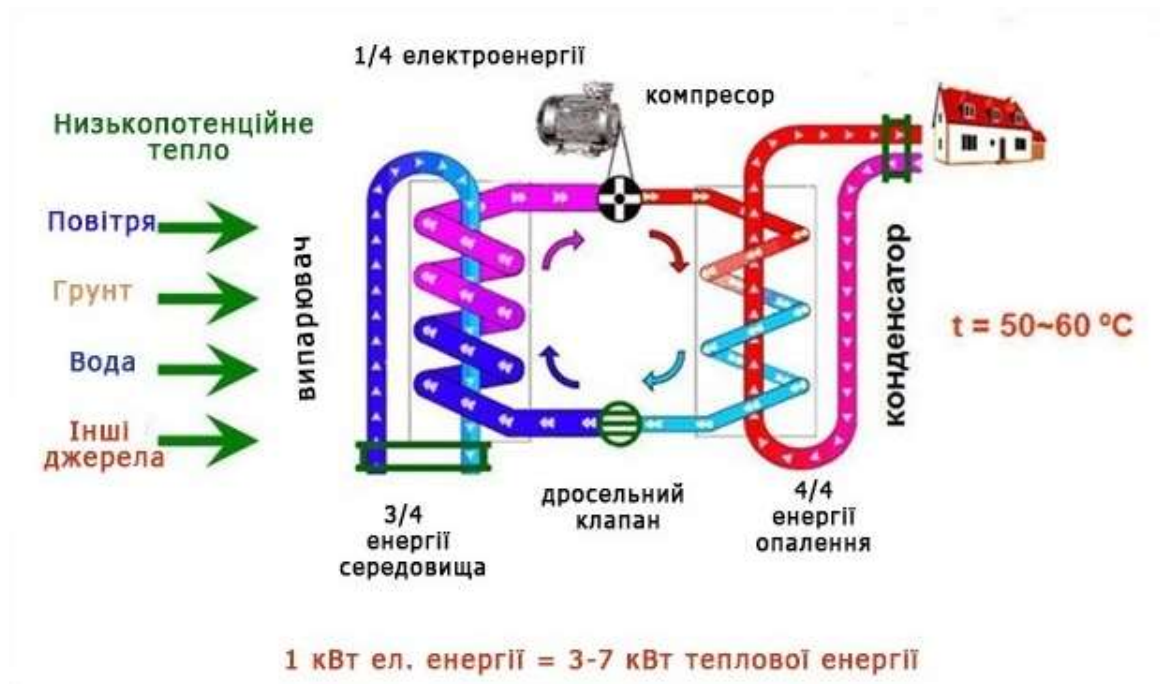


Рисунок 1.3 – Схема до принципу роботи теплового насоса

Для розуміння принципу дії теплового насоса важливо виділити 5 етапів його роботи [7]:

1. Закипання фреону у випарнику.
2. Стиснення холодоагенту компресором.
3. Передача тепла конденсатора опалювальному контуру.
4. Проходження охолодженого сконденсованого холодоагенту через дросельний клапан.

5. Повернення охолодженого та рідкого фреону у теплообмінник випарника.

Головним та напевно єдиним недоліком теплових насосів є їх висока ціна в порівнянні з котловими системами опалення. Для порівняння з розглянутими вище газовим та електричним котлом потужністю 30 кВт тепловий інверторний насос повітря – повітря Fairland InverX 80t (32 кВт), що має повну систему автоматичного керування, включаючи управління через мобільний додаток, має ціну 144 438 грн (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 – тепловий інверторний насос Fairland InverX 80t (32 кВт)

1.1.3 Автономне повітряне опалення великих комерційних та промислових приміщень

Повітряне опалення промислових та сумірних з ними приміщень, таких як промислові та переробні цехи, склади, теплиці, випробувальні лабораторії та закриті полігони, станції технічного обслуговування тощо найбільш ефективно опалювати повітряними системами опалення [21,22]. Цей вид опалення має наступні переваги:

- Швидкий нагрів приміщення при переривчастому графіку роботи. Так, наприклад, в цій роботі обсяг цеху становить 680 кубічних метрів. Для опалення використовується термовентилятор продуктивністю 10000 м³/год. Таким чином, холодне повітря цеху може бути повністю замінено свіжим нагрітим повітрям за $680/10000=0.068$ год. ≈ 4 хвилини. Це при тому, що переривчасте опалювання заощаджує великі кошти на опалювання при низькій теплоємності огороджувальних конструкцій, як це властиво сучасним комерційним та промисловим будівлям.
- Повітряні тепловентилятори є найдешевшим видом обладнання для опалення. Наприклад, водяні радіатори опалення разом з фітінговим обладнанням коштують в 5...6 разів дорожче ніж теплоовентилятори разом з повітроводами.
- Багатократно легший монтаж та налаштування повітряної системи опалення. Налаштування виконується один раз після монтажу і не потребує сезонних налаштувань на відміну від водяного або парового опалення.
- Легкий прихований монтаж.
- Легкість в налаштуванні, простота й дешевизна системи автоматичного керування повітряним опаленням в порівнянні з іншими системами опалення.
- Легкість поєднання повітряного опалення з системою вентиляції приміщення.
- Зниження витрат на нагрів теплообмінників при наявності часткової в заселених або повної рециркуляції повітря в незаселених приміщеннях.
- Створення комфортних умов для людей при низькій швидкості теплого повітря в приміщенні.

- Наявність часткової рециркуляції повітря в заселених або повної рециркуляції в незаселених приміщеннях суттєво заощаджує витрати на нагрів теплообмінників.
- Відсутня загроза замерзання в холодну пору року при потребі вимкнення опалення на тривалий період.
- Хороша альтернатива газовому опаленню, якщо в приміщенні неможливо використовувати останнє через категорію пожежонебезпеки.
- Зниження дії на людей та обладнання агресивного середовища від шкідливих речовин технологічного процесу, що виділяються в повітря приміщення.
- Легкість відводу повітря з приміщення за допомогою автоматичного клапана і отже, автоматичне балансування повітря в приміщенні та його вентиляція.
- Якщо інші види опалювальних систем лише наполовину нагрівають приміщення внаслідок того, що гаряче повітря йде відразу вгору, а знизу залишається лише холодне повітря, повітряні тепловентилятори спрямовують потік зверху вниз і енергоефективність таким чином підвищується.
- Повітряне опалення екологічно чисте та безпечне.
- Теплові вентилятори охоплюють великий діапазон потужності від одиниць до сотень кіловат.

Повітряне опалення має тільки один недолік – монтаж повітряного опалення виконується так, щоб надходження теплого повітря був якомога ближче до підлоги. Це дає можливість ефективно розподіляти нагріте повітря за рахунок конвекції і тим самим мати малу та комфортну для людей швидкість теплового потоку. В приміщеннях без людей та з шкідливим для людей повітрям вимога монтажу вентиляційних отворів при підлозі відсутня.

Конструкція тепловентилятора дуже проста. Він складається з двох основних частин – вентилятора, продуктивність якого регулюється системою

автоматичного керування, та теплообмінника. Вентилятор проганяє через нагрітий теплообмінник холодний повітряний потік, де той нагрівається до заданої температури. Температура на виході тепловентилятора зазвичай не перевищує 60 °С, оскільки вище її значення шкідливе для дихальної системи людини. Далі нагріте повітря направляється в потрібному напрямку за допомогою жалюзі або розподіляється по приміщенню через повітроводи.

В якості джерела тепла для теплообмінника можуть використовуватися електричні ТЕНи, гаряча вода або пара, що циркулює у трубах теплообмінника і подається до нього від видаленого газового або твердопаливного котла, або газової горілки, або видаленого центрального бойлера. Конструкція теплообмінника залежить від виду теплоносія, але загальним є те що площа його поверхні має бути достатньою для передачі тепла повітрю при максимальній продуктивності вентилятора.

Тепловентилятори з водяним теплоносієм мають менші експлуатаційні витрати в порівнянні з нагріванням повітря електричними ТЕНами через меншу ціну на газ в порівнянні з витратами на електроенергію. Ще більш дешевий варіант опалення – використання твердопаливного котла для нагрівання води, якщо є дешеве тверде паливо, наприклад як відходи виробництва.

Найбільшу популярність та розповсюдження мають тепловентилятори з водяним теплоносієм завдяки своїм перевагам при опаленні приміщень великої площі та висоти [23]:

- Мобільність агрегатів, простота та швидкість монтажу, встановлення водяних тепловентиляторів на стіни або на стелю;
- Зональний контроль; робота в автоматичному режимі;
- Не потрібні великі електричні потужності як для електронагрівачів;
- Немає потреби використовувати теплотраси та опалювальні прилади в приміщенні, немає ризику замерзання (можна використовувати суміш води та етиленгліколю);
- Можна зовсім вимикати систему на будь-який термін;

- Нижчі капіталовкладення та найнижчі експлуатаційні витрати завдяки можливості нагрівати воду ефективним котельним обладнанням та економним режимом експлуатації;
- Тиха робота (з низьким рівнем шуму);
- Направлений у робочі зони потік повітря, що підігрівається;
- Швидке прогрівання всього обсягу приміщення (15-25 хвилин) та автоматична підтримка потрібного рівня температури повітря в загальному або окремих приміщеннях;
- Доступна ціна на обладнання;
- Завдяки якісному перемішуванню, немає застійних зон та розшарування повітря;
- Можливість експлуатації агрегатів для охолодження приміщень [23], що дозволяє заощадити на придбанні та додаткових витратах на кондиціонери.

Приклад повітряного опалення наведено на рис. 1.5 [23].

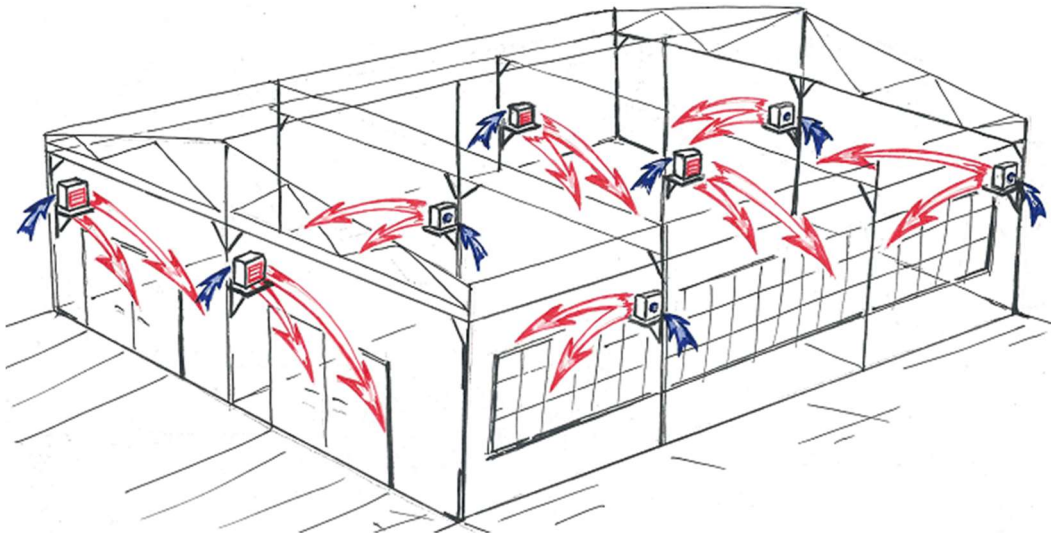


Рисунок 1.5 – Приклад повітряного опалення великого виробничого приміщення

Опалювальні системи з повітряними електрокалориферами (електричними тепловентиляторами) використовуються для опалення

відносно невеликих виробничих та комерційних приміщень, що має місце в цій роботі. Електрокалорифер, що нині використовується для опалення цеху по виробництву м'ясних виробів, має 16 пар повітряних ТЕНів загальною потужністю 120 кВт та оснащений вентилятором продуктивністю 10000 м³/год.

1.1.4 Повітряно-теплові завіси

Важливим видом технологічного обладнання систем опалення, вентиляції та кондиціонування комерційних та виробничих приміщень є повітряно-теплові завіси.

Основне призначення повітряно-теплових завіс полягає у створенні повітряного бар'єру для проникнення зовнішнього повітря в приміщення, де підтримуються певні кліматичні умови системами контролю опалення та кондиціонування. Іншою важливою функцією повітряно-теплових завіс є захист приміщення від шкідливих зовнішніх факторів, що знаходяться в повітрі довкілля, таких як пил, комахи, угарні гази, дим, шкідливі запахи, алергени та вологість. Додатковою функцією повітряно-теплових завіс є фільтрація внутрішнього повітря приміщення, що також позитивно позначається на якості внутрішнього повітря. Також така завіса розділяє суміжні приміщення з дверима з різними температурами повітря або зони з різними кліматичними характеристиками. Повітряно-теплову завісу можна вважати раціональним доповненням до системи опалення приміщення.

За змістом повітряно-теплова завіса являє собою потужний тепловий вентилятор, що створює потік повітря по всьому периметру дверного отвору. Чим вищий дверний отвір, тим більша має бути швидкість повітряного потоку.

Через велику потужність та продуктивність вентилятора його частіше називають турбіною. Для рівномірності повітряного потоку повітряно-теплова завіса має бути оснащена однією турбіною, котра зазвичай розташовується в торці конструкції завіси, що наведена на рис. 1.6

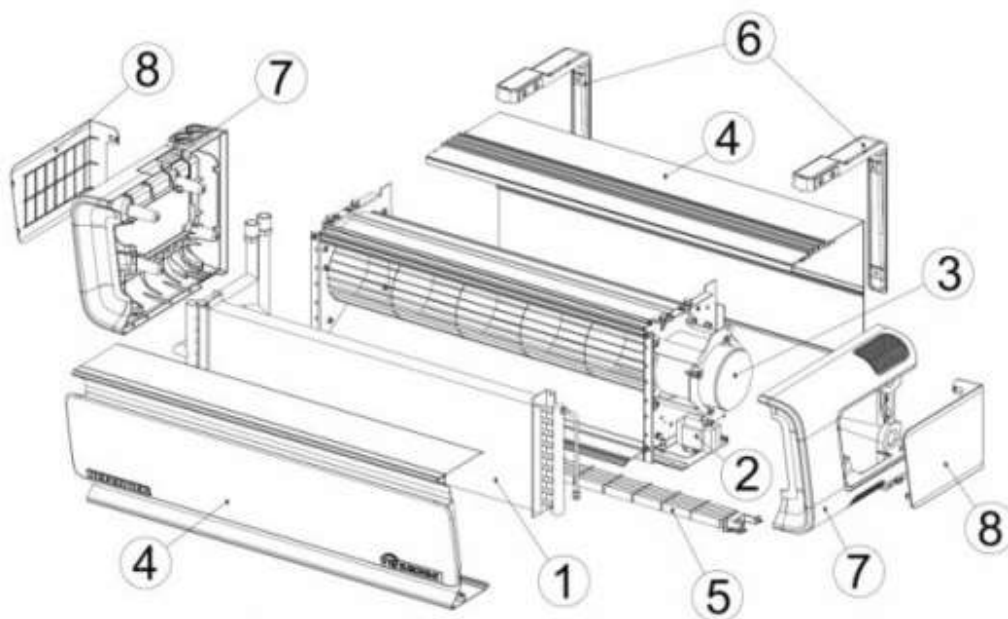


Рисунок 1.6 – Конструкція повітряно-теплової завіси

На рисунку позначено:

1. ТЕНи (у водяній завісі – теплообмінник)
2. Блок керування
3. Турбіна
4. Корпус із забірною решіткою
5. Жалюзі направлення повітря
6. Кронштейни кріплення
7. Бічна частина корпусу
8. Бічні кришки

Повітряно-теплова завіса має досить простий принцип роботи. Повітря приміщення через отвори в стінці корпусу втягується турбіною й спрямовується на електричний (ТЕНи з оребренням) або водяний теплообмінник, через який пропускається гаряча вода від видаленого котла (також існують завіси з газовим нагрівачем). Далі завіса видуває нагріте

повітря через сопло вздовж або поперек дверного отвору знову у приміщення. Потужний потік повітря, котрий перекриває усю площу дверного отвору, і створює завісу, що не дає проникнути зовнішньому повітрю у приміщення.

Експлуатаційні витрати на водяні завіси вважаються нижчими в порівнянні з електричним нагрівом повітря [6,23].

Існують повітряно-теплові завіси, які нагрівають повітря та такі що ні. Останні використовуються в складських та інших подібних незаселених приміщеннях тільки для створення повітряного бар'єру для проникнення зовнішнього повітря. Ще такі завіси використовуються в тих приміщеннях, де потрібно створювати різні температури в різних зонах або окремих приміщеннях.

У приміщеннях що добре опалюються або кондиціонуються доцільно встановлювати завіси без нагріву повітря.

Незалежно від конструкції та призначення всі повітряно-теплові завіси здійснюють забір повітря з приміщення та повертають його назад.

Іншою ознакою класифікації повітряно-теплових завіс є спосіб їх встановлення відносно дверного отвору. Завіса може бути горизонтальною і розташовуватись зверху дверного отвору та вертикальною з розташуванням збоку від дверного отвору. Можливі розташування цих пристроїв наведені на рис. 1.7



Рисунок 1.7 – Варіанти розташування повітряно-теплових завіс

Повітряно-теплові завіси розрізняються за способом їх монтажу. Їх можна розділити на вбудовані, вертикальні та підвісні горизонтальні. Перші з названих складаються з двох частин – функціонального модуля та зовнішньої декоративної решітки особливої конструкції. Така конструкція завіси прихована за підвісною стелею, зовні знаходиться тільки решітка, котра і є каналом для проходження повітря завіси. Керується така конструкція з пульта, як це робиться, наприклад, у сучасних спліт-системах кондиціонерів.

Горизонтальні повітряно-теплові завіси кріпляться за різьбові шпильки до несучих конструкцій стелі або за допомогою кронштейнів до стіни над дверима або до арки над воротами.

Вертикальні пристрої монтуються на підлозі або підвішуються до стіни поряд з дверима.

Незалежно від способу кріплення теплова завіса має бути якомога ближче до дверного отвору, а її повітряний потік має повністю перекривати периметр дверей або воріт.

Головними характеристиками повітряно-теплової завіси є:

- довжина повітряного потоку;
- ширина повітряного потоку;
- швидкість повітряного потоку;
- максимальна температура повітря в потоці.

1.2 Режими роботи та конфігурації систем опалення

1.2.1 Мультизонне опалення та кондиціонування

Термін мультизонне опалення та кондиціонування означає підтримання заданої температури в межах зони певних розмірів у великому виробничому приміщенні, у якому підтримання заданої температури в повному обсязі будівлі недоцільно з огляду великих витрат на опалення. Необхідність у

мультизонному опаленні та кондиціонуванні виникає через існування робочих зон у великому приміщенні цеху, де постійно перебувають робітники, що вимагає створення комфортних умов для їх праці.

Потреба у таких системи виникає, коли необхідне підтримання певної температури та вологості у сировині або продукції, котра виготовляється. Такі вимоги часто діють у харчовій промисловості, технологічних лабораторіях, медичних спеціалізованих приміщеннях, для забезпечення відсутності ризиків виникнення статичної електрики у виробництвах вибухонебезпечних речовин або наявності вибухонебезпечних середовищ у технологічних ланках.

Мультизонне опалення та кондиціонування здійснюється повітряними системами опалення та кондиціонування. Місцеве опалення може бути реалізоване за допомогою тепловентиляторів, теплових гармат, або кондиціонерів, що працюють на нагрівання повітря. Кондиціонування виконується мульти спліт-системами, вигляд якої наведено на рис. 1.8.



Рисунок 1.8 – Мульти спліт-система кондиціонування

У спліт-системах відношення продуктивність/електроспоживання знаходиться в межах 3...7, тобто, ККД складає 300...700%, що робить їх привабливими та доцільними для використання. Така доцільність підсилюється довговічністю (30...40 років) та комфортним користуванням.

Конструкція мульти спліт-системи являє зовнішній блок, що виконує перенос теплової енергії з довкілля до приміщення, та декількох внутрішніх блоків (головок), які здійснюють теплообмін у приміщенні. Такий пристрій обслуговує кілька приміщень або зон при відносно невеликих витратах електроенергії. Для великих виробничих приміщень існують потужні так звані технологічні кондиціонери з високою потужністю та продуктивністю, але по суті вони є також спліт-системами.

Такі промислові мульти спліт-системи можуть мати до 40 внутрішніх блоків при одному зовнішньому. При цьому внутрішні блоки однієї системи можуть відрізнятися потужністю та конструктивним виконанням – підлогове, настінне, стельове, каналне тощо. Внутрішні блоки однієї системи можуть працювати як на охолодження, так і на нагрів, як це показано на рис. 1.9.

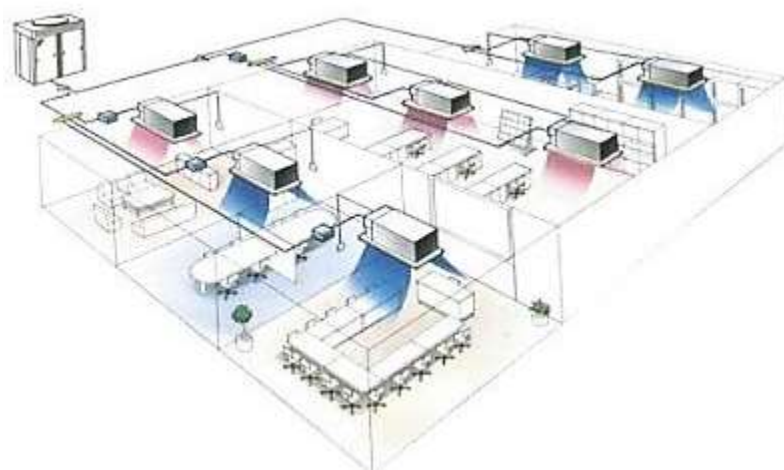


Рисунок 1.9 – Мультизонне опалення та кондиціонування промислового приміщення

Важливою властивістю таких систем є досить вільний монтаж – відстань від зовнішнього до внутрішнього блока може бути до 150 м на одному рівні, а по вертикалі до 50 м, без зниження продуктивності. Такі системи економічні і підходять для будівель будь-якої архітектурної складності [24].

1.2.2 Переривисте опалення промислових та комерційних приміщень

Переривисте опалення [25,...32] передбачає зниження або вимкнення обігріву приміщень на якийсь період доби. Воно застосовується з метою енергозбереження та спочатку призначалося для виробничих, адміністративних та громадських будівель та споруд. В цьому випадку є можливість здійснювати два режими подачі тепла. Протягом робочого дня опалення має забезпечувати необхідний тепловий режим приміщень. У неробочий період з метою заощадження здійснюється зниження температури приміщень до рівня, який визначається різними чинниками [26].

У науковій праці [25,26,27] виконано дослідження охолодження приміщення у режимі переривистого опалення при його вимкненому стані.

У виробничих сухих приміщеннях можливо зниження температури до 5°C [25]. Однак слід мати на увазі, що за таких температур можливе випадання з повітря вологи, що буває неприпустимим для технологічного обладнання або матеріалів огорожень будівлі. У таких випадках мінімальна температура у приміщеннях має бути вище точки роси [25].

Наочно робота переривчастого опалення згідно з [13] показано на рис.1.10. Неробочий період доби поділяється на дві частини: період охолодження, коли система опалення відключена, та період нагрівання приміщення для підготовки до робочого дня

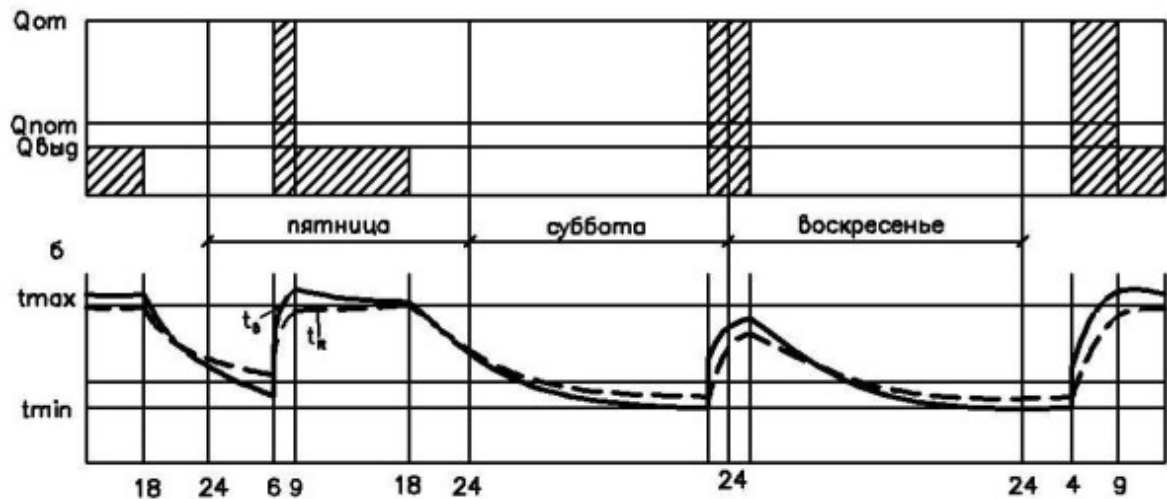


Рисунок 1.10 – Циклограма переривчастого опалення:

а – теплонадходження;

б – температури;

$Q_{оп}$ – потужність опалення;

$Q_{пот}$ – тепловтрати приміщення;

$Q_{вид}$ – тепловиділення;

t_v – температура повітря у приміщенні;

t_R – радіаційна температура

Тривалість режиму нагрівання залежить від потужності системи опалення. Очевидно, що в період нагрівання приміщення потужність системи опалення має значно перевищувати потужність системи безперервного опалення [27, 28].

В період охолодження приміщення температура повітря залежить від коефіцієнта теплопоглинання та середнього по поверхні всіх огорож коефіцієнта конвективного теплообміну приміщення.

Показник теплопоглинання приміщення можна визначити за виразом

$$R_{пом} = R_{огр} + R_{вен}.$$

Тут $R_{огр}$ і $R_{вен}$ – показники теплопоглинаючої здатності огорожі та вентиляції відповідно.

Теплопоглинання повітря, що вентилює приміщення, у роботах [13,17,18,19] рекомендується розраховувати за нормативами повітрообміну приміщень.

Також у роботі [25] показано вплив інфільтрації повітря через віконні прорізи. Вказано, що наявність інфільтрації збільшує швидкість зниження температури в приміщенні на $0,4 \dots 1^\circ\text{C}$ за годину.

Підсумовуючи наукові праці з переривчастого опалення [25,...32], можна зробити висновок про його енергетичну ефективність, яка тим вище, чим нижча теплопоглинаюча здатність огорожувальних конструкцій будівлі.

Підтверджено ефективність управління переривчастим опаленням, знайденого раніше на основі інженерних розрахунків.

Встановлено, що інтенсивне опалення будівлі на кінцевій ділянці неробочого часу заощаджує до 30–55 % теплоти [31].

Оскільки цех по виготовленню м'ясної продукції працює цілодобово, переривчасто опалення може використовуватись тільки по державним вихідним дням.

1.3 Погодозалежне керування температурою приміщення

Погодозалежне керування це спосіб регулювання температури та вологості в приміщенні з врахуванням графіка зміни зовнішньої температури та вологості, тобто прогнозованої зміни погоди протягом доби. Такий режим керування кліматом реалізується за допомогою системи автоматичного керування з регулятором, який враховує прогноз погоди.

Робота системи будується на реагуванні на зміну зовнішньої температури повітря, внаслідок чого система реагує не тільки на вже здійснене відхилення від заданої температури в середині приміщення, а й на ті, які повинні відбутися в майбутньому за прогнозом погоди, що дозволяє зменшити кількість необхідних для обігріву та кондиціонування ресурсів.

Предиктивні алгоритми та закони керування таких систем базуються на математичних методах оптимізації, до яких відноситься погодозалежне управління. Такі методи розробляються в теорії керування динамічними об'єктами з використанням прогнозуючих моделей - Model Predictive Control (MPC) [33, 35, 36].

При налаштуванні контролера САК кліматом приміщення в його пам'ять заноситься температурна крива, що являє собою залежність температури теплоносія на вході опалювальної системи або у охолоджувальному контурі від зміни зовнішньої погоди. Ця крива представляє собою лінію, одна точка якої відповідає $+20^{\circ}\text{C}$ у доквіллі. Температура теплоносія в опалювальному контурі при цьому теж вважається $+20^{\circ}\text{C}$, оскільки за таких умов в опаленні необхідність відсутня. Друга точка – це температура теплоносія, наприклад, 70°C , при якій навіть у найхолодніші добу опалювального сезону температура в приміщенні буде залишатися на заданому рівні, наприклад, 20°C . У разі, якщо будівля утеплена недостатньо, для компенсації тепловтрат потрібна дещо більша температура теплоносія в опалювальному контурі. Відповідно, нахил кривої буде крутим. І навпаки, якщо з теплоізоляцією будівлі все гаразд.

При програмуванні контролера в його пам'ять вносять безліч подібних кривих, щоб можна було потім вибрати з усього сімейства підходящу лінію конкретно для теплофізичних властивостей опалюваного приміщення.

Зазвичай, для створення заданого рівня теплової стабільності, а також для економії палива одного датчика зовнішньої температури буває недостатньо. Тому часто монтують додатковий датчик всередині приміщення, що обігрівається. Наявність відразу двох датчиків і внутрішнього і зовнішнього дозволяє точно відстежувати і оперативно реагувати на зміну температури в приміщенні.

У MPC системах стабілізації температури датчик внутрішньої температури встановлюється в так званому еталонному приміщенні, де температура вважається еталонною. Це приміщення або спеціальне затінене

місце не повинно нагріватися прямими сонячними променями та вентилюватися примусовою системою вентиляції або протягами [33].

Установка внутрішнього еталонного датчика робить можливим включення режиму автоматичної адаптації, при якому опалювальна крива підбирається під відповідне приміщення автоматично, тобто, самим контролером системи опалення.

Крім того, часто внутрішній датчик вбудовують у термостат, за допомогою якого можна задавати потрібну температуру і її середній рівень у всій будівлі. Локальне регулювання температури в окремій зоні приміщення при цьому досягається налаштуванням завданої температури на локальному приладі опалення.

У роботі [34] Встановлено, що погодозалежна система має значно кращі показники якості регулювання та енергоефективності в порівнянні з ПІД регулюванням. Використання прогнозуючої системи з MPC регулюванням дозволяє заощаджувати до 20% газу при опалюванні приміщення бібліотеки площею 400 м².

1.4 Теплові потоки у цеху по виробництву м'ясних виробів

Для побудови системи автоматичного керування кліматом цеху по виробництву м'ясних виробів, як і будь якого опалюваного приміщення, перш за все необхідно визначити теплові потоки для розрахунку теплового балансу, для підтримання якого власне й розробляється система керування опаленням. Кількісні характеристики таких потоків визначають вид обладнання для опалення та його основні технічні характеристики. Другим важливим аспектом докладного вивчення теплових потоків є їх врахування в математичній моделі САК кліматом цеху. Схема теплових потоків у приміщенні цеху наведена на рис. 1.11

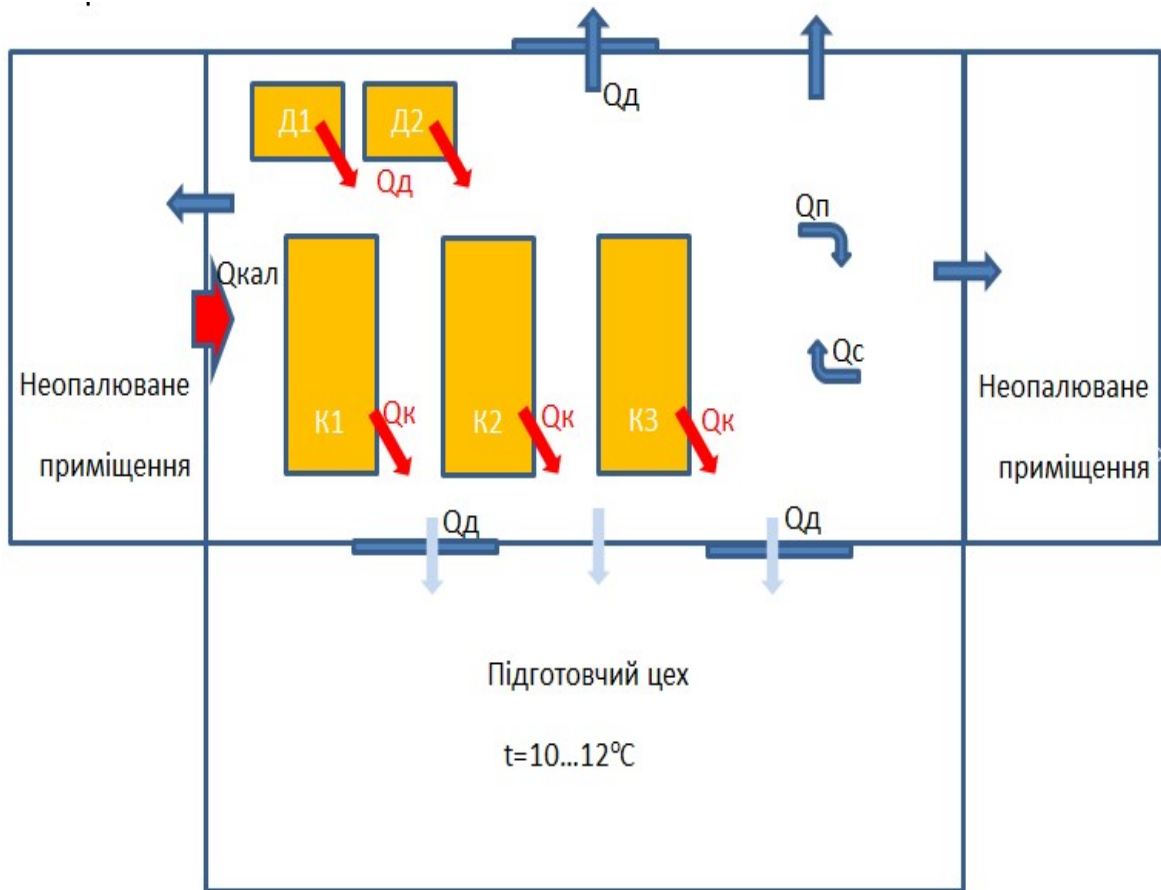


Рисунок 1.11 – Теплові потоки у приміщенні цеху по виробництву м'ясних виробів

На рисунку зображені червоним кольором теплові потоки, що надходять до приміщення від технологічного обладнання, синім – потоки втрат тепла через огорожувальні конструкції. На схемі позначено:

$Q_{\text{кал}}$ – теплонадходження від калорифера;

$Q_{\text{к}}$ – теплонадходження від коптильно-варочних камер;

$Q_{\text{д}}$ – теплонадходження від димогенераторів;

$Q_{\text{п}}$ – втрати тепла через підлогу;

$Q_{\text{с}}$ – втрати тепла через стелю;

$Q_{\text{д}}$ – втрати тепла через двері. Двері не мають утеплення. В нормальному положенні двері закриті.

Синіми стрілками позначені втрати тепла через стіни.

Будівля цеху являє собою сучасну легку каркасну конструкцію, стіни та стеля якої виконані з плит мінеральної вати з високим термічним опором та обшиті тонкою бляхою. Підлога бетонна, вкрита плиткою.

У приміщенні немає вікон і відповідні втрати тепла відсутні.

Розмір приміщення: довжина – 17,2 м, ширина – 8,96 м, висота стелі – 4,2 м.

Повітряний електричний калорифер має потужність 120 кВт, його продуктивність складає 10000 м³/год.

Постійний обслуговуючий персонал цеху 6 людей, тому теплонадходженнями від них можна знехтувати. Також можна знехтувати теплом від світильників, так як надходження тепла від них зневажливо мале.

В результаті вимірів встановлено, що в робочому режимі поверхня коптильно-варочної камери має температуру 43°C, димогенератора – 55 °C.

Над кожною коптильно-варочною камерою та димогенераторами встановлено вентиляційні витяжки. Зовнішній вигляд коптильно-варочної камери та димогенератора наведені на рис. 1.12 та 1.13.

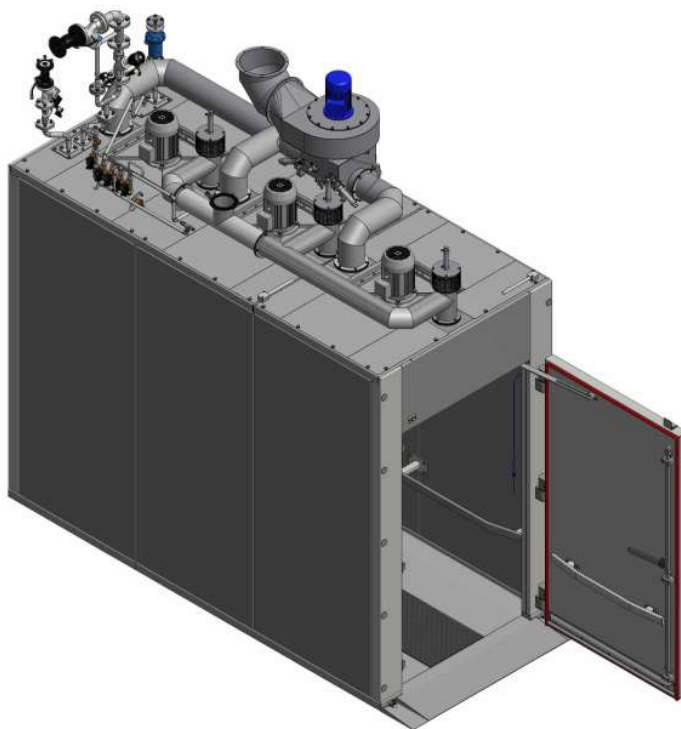


Рисунок 1.12 – Термокамера Novotherm 3P коптильно-варочна, парова

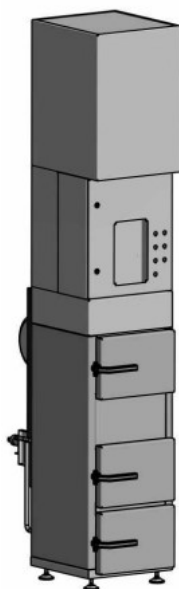


Рисунок 1.13 – Димогенератор AV-1S Novotherm, Польща

1.5 Висновки

1. Аналіз наукової та технічної літератури з опалення та кондиціонування свідчить про активний пошук та розробку фахівцями енергоефективних технологій, режимів роботи та пристроїв систем опалення та кондиціонування.
2. Найбільш енергоефективним та доцільним опаленням для комерційних та промислових приміщень є повітряне опалення тепловими вентиляторами.
3. Проаналізовано основні теплові потоки приміщення цеху по виробництву м'ясних виробів.

2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ САК КЛІМАТОМ ЦЕХУ ПО ВИРОБНИЦТВУ М'ЯСНИХ ВИРОБІВ

2.1 Розрахунки параметрів математичної моделі

Основою для побудови математичної моделі клімату цеху як об'єкта автоматичного керування, як і будь якого приміщення, що опалюється, є диференціальне рівняння теплового балансу [13,14]

$$\rho_{\text{пов}} V_{\text{п}} c_{\text{пов}} \frac{dT}{dt} = Q_{\text{нд}} - Q_{\text{вт}}, \quad (2.1)$$

де

$V_{\text{п}}$ – об'єм повітря в приміщенні, м³;

$c_{\text{пов}}$ – теплоємність повітря, прийнята рівною 1005 Дж/(кг·°C);

T – температура повітря в приміщенні, °C;

$\rho_{\text{пов}}$ – щільність повітря, кг/м³;

$Q_{\text{нд}}$ – кількість тепла, що надходить у приміщення, кал, Дж, Вт;

$Q_{\text{вт}}$ – втрати тепла, через огорожувальні конструкції та вентиляцію, кал, Дж, Вт;

2.1.1 Розрахунки втрат тепла через огорожувальні конструкції

Через більш низьку зовнішню температуру ніж внутрішня температура приміщення в огорожувальних конструкціях будівлі – стінах, підлозі, стелі, вікнах та дверях має місце тепловий потік, спрямований назовні, що приводить до зниження температури в приміщенні. Для підтримки в приміщенні постійної температури необхідно компенсувати втрати тепла через огороження та вентиляцію теплотою, що надходить від опалення.

Отже, для визначення кількості потрібного тепла від системи опалення необхідно обчислити вказані теплові втрати. Розрахунок втрат тепла будівлі виконують при розрахунковій температурі зовнішнього повітря для найхолоднішого тижня у році у місцевості, де збудовано (або буде збудовано) об'єкт.

Основні тепловтрати приміщення знаходяться як сума тепловтрат через окремі огорожі. Загальна формула тепловтрат через окрему огорожу:

$$Q = F_{\text{ок}} * \frac{1}{R_{\text{ок}}} (T - t_3), \quad \text{Вт}, \quad (2.2)$$

де Q - тепловтрати через огородження в Вт, ккал / год;

$F_{\text{ок}}$ - площа огороджувальної конструкції в м^2 ;

$R_{\text{ок}}$ - опір теплопередачі конструкції огорожі в $\text{м}^2\text{°C/Вт}$,

$R = \sum(\delta_i / \lambda_i)$,

δ_i – товщина шару матеріалу огороджувальної конструкції в метрах,

λ_i – коефіцієнт теплопровідності матеріалу у Вт/(м·°C) ;

T - температура повітря в приміщенні, °C ; t_3 – зовнішня температура,

2.1.2 Розрахунок тепловтрат через підлогу

Розрахунок тепловтрат через підлогу виконується за методикою розбиття огороджувальної конструкції на чотири зони, як це показано на рис.2.1. Кожна з цих зон має окремий фіксований термічний опір [15]. Для бетонної підлоги приміщення цеху, що розглядається

$$R_1 = 2,1 \quad R_2 = 4,3 \quad R_3 = 8,6 \quad R_4 = 14,2$$

Зона 1 являє собою смугу на підлозі (при відсутності заглиблення ґрунту під будовою) шириною 2 метри, відміряну від внутрішньої поверхні зовнішніх

стін вздовж усього периметра або (у разі наявності заглиблення підлоги в ґрунт або підвалу) смугу тією самою шириною, відміряну вниз по внутрішнім поверхням зовнішніх стін від крайки ґрунту [15].

Зони 2 і 3 мають ширину 2 метри і розташовуються за зоною 1 ближче до центру будівлі. Зона 4 займає всю центральну площу, що залишилася.

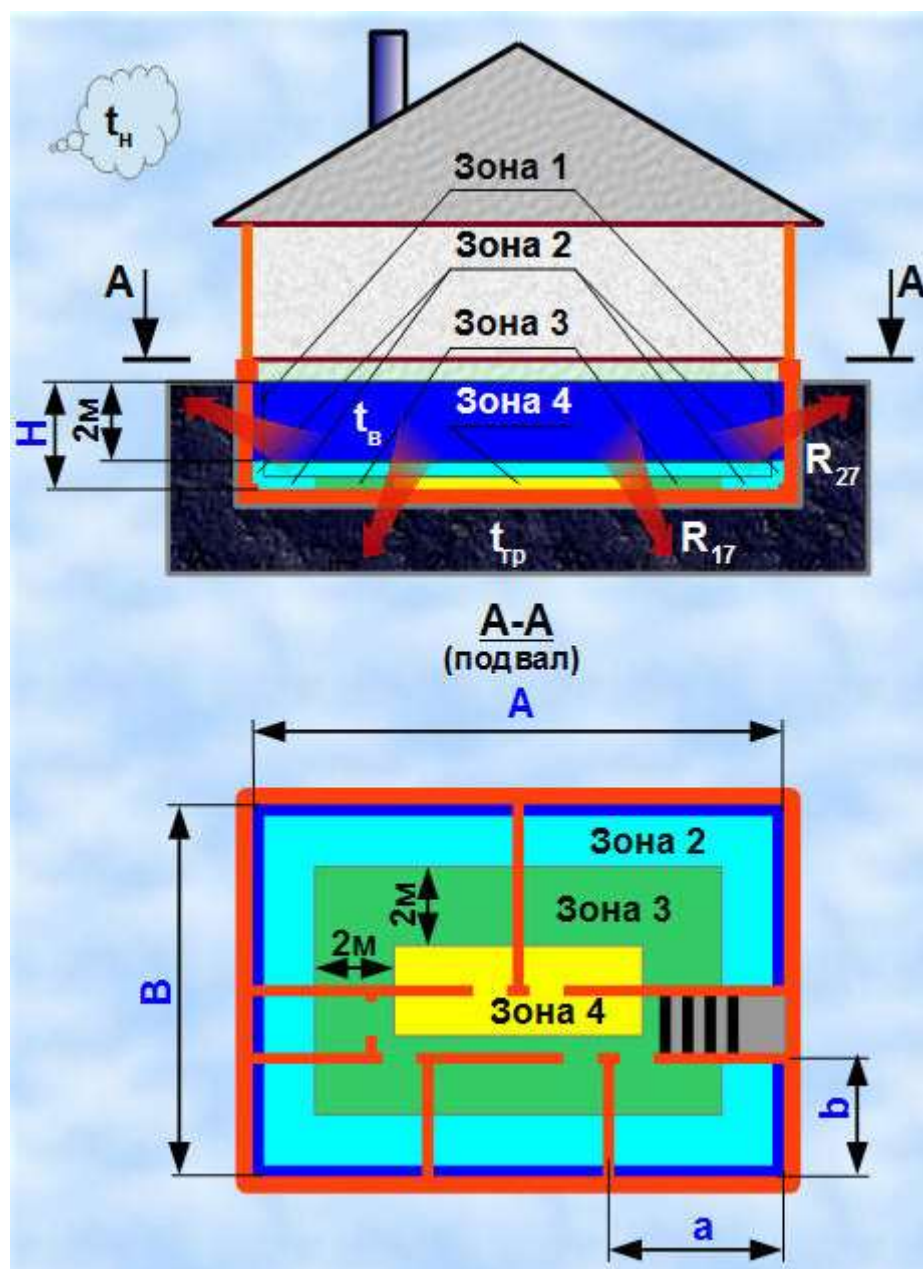


Рисунок 2.1 – Схема для розрахунку тепловтрат через підлогу за зонами

У випадку, коли вся зона 1 розташовується на підлозі, що має місце в цьому розрахунку, її площу слід збільшити на величину $F_{1к}=2 \times 2 \times 4 = 16 \text{ м}^2$ (для будинку прямокутного в плані, тобто з чотирма кутами).

Загальні втрати тепла в навколишній ґрунт визначаються за формулою, кВт:

$$Q_{\pi} = ((F_1 + F_{1к})/R_1 + F_2/R_2 + F_3/R_3 + F_4/R_4) * (T - t_3) / 1000 \quad (2.3)$$

При розмірах приміщення цеху 17,32 x 8,96 м площі зон складають:

$$F_1 = 17,32 \times 8,96 - (17,32 - 4) \times (8,96 - 4) = 89,12 \text{ м}^2;$$

$$F_2 = 13,32 \times 4,96 - (13,32 - 4) \times (4,96 - 4) = 57,12 \text{ м}^2;$$

$$F_3 = 17,32 \times 8,96 - 89,12 - 57,12 = 8,98 \text{ м}^2;$$

$$F_4 = 0.$$

При температурі ґрунта під підлогою 4 °С втрати тепла через підлогу складають

$$Q_{\pi} = ((89,12 + 16) / 2,1 + 57,12 / 4,3 + 8,98 / 8,6) * (20 - 4) = 1030,14 \text{ Вт або } 1,03 \text{ кВт}.$$

Важливо зазначити, що розрахунок тепловтрат через підлогу за іншими методиками суттєво відрізняється від використаної методики і отриманого результату в більшу сторону. Так, за методикою проф. А.Г. Сотникова [16] тепловтрати більше отриманого значення в 8 разів, так що є вагомі підстави прийняти тепловтрати через підлогу в найменшій мірі 4 кВт.

З огляду на те що під підлогою створюється теплова лінза з постійною температурою 4-6°C, а температура в приміщенні цеху підтримується постійною, тепловтрати через підлогу можна моделювати обчисленою вище константою.

2.1.3 Розрахунок втрат тепла через стіни та стелю

В найхолоднішу пору року в нашому регіоні температура зовнішнього повітря дуже рідко опускається нижче -20°C, тому для розрахунку максимальних тепловтрат через стіни, що виходять назовні або суміжні з неопалюваними приміщеннями, як у нашому випадку, для розрахунку обрано цю температуру.

Стіни і стеля цеху виконані з плит товщиною 0,18 м з мінеральної вати, вкритих тонкою бляхою. Коефіцієнт теплопровідності мінеральної вати $\lambda=0,05$ Вт/(м·°C). Звідси термічний опір стін та стелі $R_c=0,18/0,05=3,6$ м²°C/Вт.

В моделі САК кліматом тепловтрати через стіну, суміжну з підготовчим цехом, де підтримується відносно постійна температура 10-12°C, є постійними. Площа цієї стіни при розмірах 17,32x4,2 складає 72,44 м². Відповідно до формули (2.2) тепловтрати складають

$$Q_c=72,44/3,6*(20-10)=201\text{Вт або } \approx 0,2 \text{ кВт.}$$

Загальна площа трьох зовнішніх стін та стелі складає 37,63+37,63+72,44+155,19=302,89 м². Максимальні тепловтрати через зовнішні стіни та стелю відповідно до формули (2.2) складають

$$Q_{cc}=302,89/3,6*(20+20)=3365,4 \text{ Вт або } \approx 3,37 \text{ кВт.}$$

Втрати тепла від інфільтрації повітря через двері Q_d є умовно постійними і складають $\approx 10\%$ від загальних тепловтрат. Це приблизно складає 1 кВт.

Сумарні максимальні втрати тепла в приміщенні

$$Q_{\text{BT}} = Q_{\text{п}} + Q_{\text{с}} + Q_{\text{сc}} + Q_{\text{д}} \quad (2.4)$$

$$Q_{\text{BT}} = 4 + 0,2 + 3,37 + 1 = 8,57 \text{ кВт.}$$

За методикою [14] для вибору потужності калорифера максимальні тепловтрати слід збільшити на 20%, тобто

$$Q_{\text{BT}} = 1,2 * 8,57 \approx 10,3 \text{ кВт.}$$

2.1.4 Розрахунки надходжень тепла від коптильно-варочних камер та димогенераторів

Три коптильно-варочні камери та два димогенератори, розташовані в приміщенні цеху є джерелами тепла, яке має бути враховане в тепловому балансі приміщення, якщо такі теплонадходження суттєві за величиною.

Назване обладнання має сталеві корпуси, а тому їх тепловіддача може бути розрахована за методикою розрахунку сталевих панельних радіаторів. Експериментально визначена температура на поверхні камери складає $t_{\text{п}} = 43^{\circ}\text{C}$, на поверхні димогенератора $t_{\text{д}} = 55^{\circ}\text{C}$.

Коефіцієнт тепловіддачі сталевій поверхні складає $k_{\text{ТВ}} = 8,5 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot ^{\circ}\text{C})$, або в переводі ккал у кВт·год: $k_{\text{ТВ}} = 8,5 * 0,0012 = 0,0102 \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$.

Площа поверхні коптильно-варочні камери розміром $3,472 \times 1,6 \times 2,684$ складає $F_{\text{к}} = 27,26 \text{ м}^2$.

Площа поверхні димогенератора розміром $0,5560 \times 0,556 \times 3,035$ складає $F_{\text{д}} = 6,75 \text{ м}^2$.

Теплонадходження від трьх одночасно працюючих камер:

$$Q_{3к}=3 k_{тв} F_k (t_k-T)=3*0,0102*27,26*(43-20)=19,19 \text{ кВт.}$$

Теплонадходження від двох одночасно працюючих димогенераторів:

$$Q_{2д}=2 k_{тв} F_d (t_d-T)=2*0,0102*6,75*(55-20)=4,82 \text{ кВт.}$$

Таким чином, сумарні теплонадходження від технологічного обладнання дорівнюють

$$Q_{нд}= Q_{3п}+ Q_{2д}=19,19+4,82=24,01 \text{ кВт,}$$

що майже вдвічі перевищує сумарні теплові втрати 10,3 кВт.

В існуючій системі опалення та вентиляції цеху теплонадходження від технологічного обладнання виводяться назовні за допомогою витяжок з примусовою вентиляцією, встановлених над коптильно-варочними камерами та димогенераторами. Теплонадходження від технологічного обладнання доцільно й можливо використовувати для опалення приміщення цеху, що дозволить заощадити видатки на опалення.

2.2 Блок-діаграма імітаційної моделі об'єкта керування

Побудову моделі САК кліматом цеху доцільно виконати в два етапи. Перший з них – розробка моделі власне об'єкта керування з метою визначення коректності та адекватності моделі САК у цілому. Розроблена модель теплового балансу приміщення цеху, що побудована за рівняннями та параметрами з попереднього підрозділу 2.1, наведена на рис. 2.2. Відповідно до мети на вхід системи одночасно діють максимальні теплові надходження від трьох камер (блок Constant5) та двох димогенераторів (блок Constant8) при максимальній температурі їх поверхонь відповідно 43°C (блок Constant6) та 55°C (блок Constant7). Це моделює ідеалізовану ситуацію, коли все технологічне обладнання цеху увімкнено, а вентиляційні витяжки повністю

збирають теплові надходження, котрі розподіляється по цеху системою вентиляції.

Модель враховує усі тепловтрати, які позначені в коментарях моделі ідентично позначенням в розрахунках розділу 2.1.

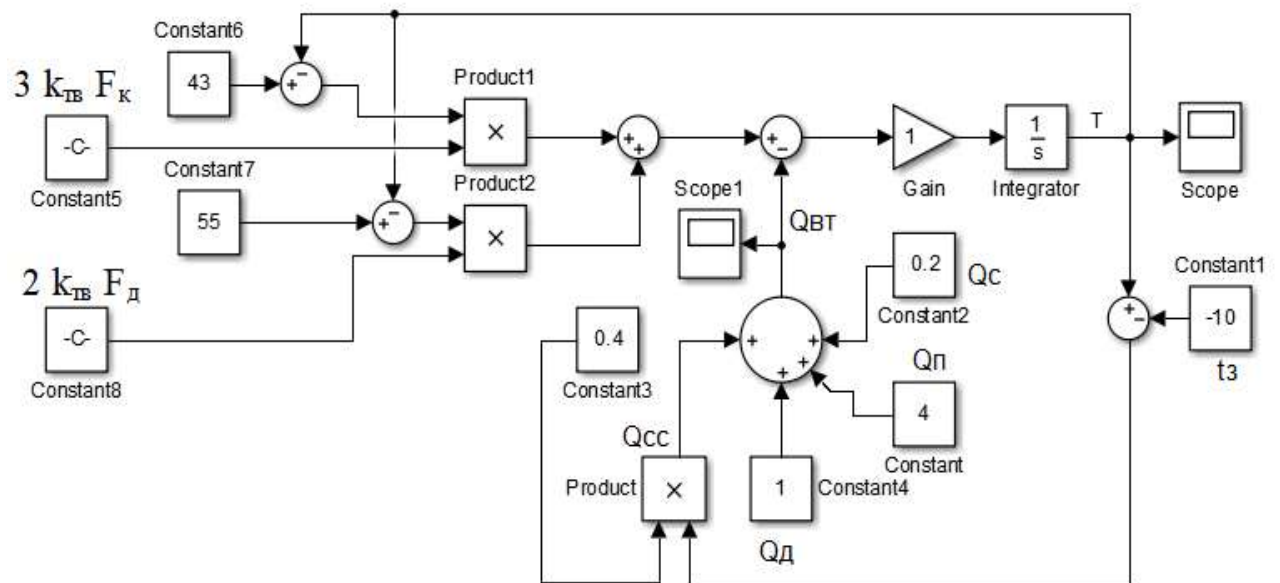


Рисунок 2.2 – Simulink модель об'єкта керування

Датчик зовнішньої температури моделюється блоком Constant1.

Результати моделювання нагріву приміщення цеху у розімкнутій системі опалення для зовнішніх температур -10°C та -20°C наведені відповідно на рис. 2.3 та рис. 2.4. На рис. 2.3 час моделювання (вісь абсцис) 1 година. Вісь ординат – температура в приміщенні цеху, $^{\circ}\text{C}$.

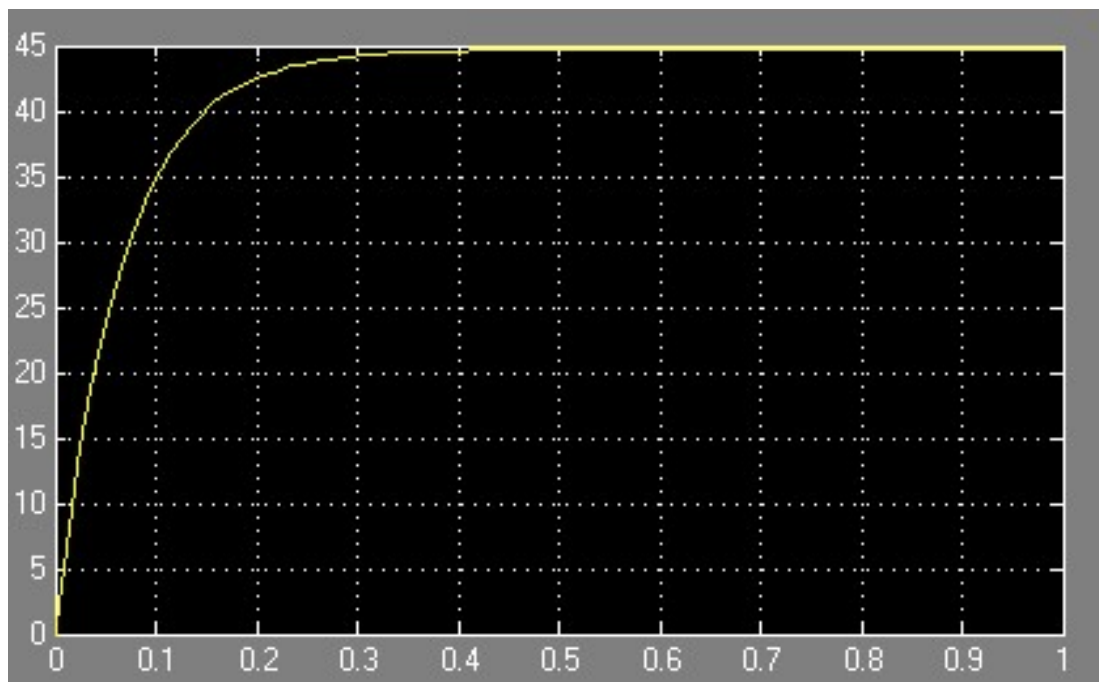


Рисунок 2.3 – Нагрів цеху теплонагромадженнями від обладнання при $t_3 = -10^{\circ}\text{C}$

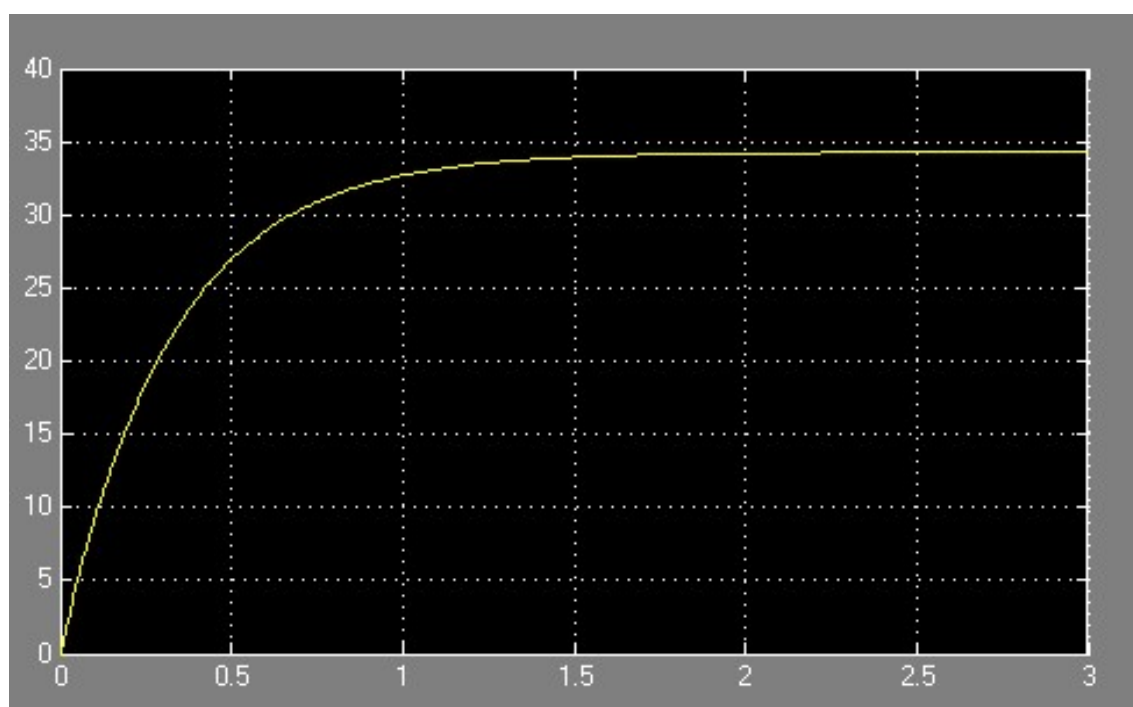


Рисунок 2.4 – Нагрів цеху теплонагромадженнями від обладнання при $t_3 = -20^{\circ}\text{C}$

Моделювання на рис. 2.3 має очікуваний результат – усталене значення температури майже 45°C значно перевищує потрібне 20°C через те, що по перше – теплонадходження від технологічного обладнання майже вдвічі перевищують тепловтрати через огорожувальні конструкції, по друге – система є розімкнутою. Перехідний процес виходу температури на усталений режим досить швидкий й складає близько 0,3 години або ≈ 20 хв.

Результати моделювання теплових процесів у приміщенні цеху для попередніх умов, але при зовнішній максимально низькій температурі -20°C , показують, що усталене значення температури тут складає $\approx 34^{\circ}\text{C}$, а час перехідного процесу має значення близько 2 годин. Так і має бути і пояснюється зростанням втрат тепла через огорожувальні конструкції в рівнянні теплового балансу приміщення. Слід зазначити, що на рис. 2.4 час моделювання складає 3 години.

Виконане моделювання об'єкта керування дозволяє зробити висновки:

- імітаційна модель об'єкта керування коректно реагує на вплив збурень за зовнішньою температурою і може бути використана для синтезу САК кліматом;
- опалювання приміщення цеху може здійснюватись за рахунок теплонадходжень від технологічного обладнання, що заощадить суттєві витрати на опалення за допомогою калорифера потужністю 120 кВт, який нині використовується.

2.3 Висновки

1. Визначені основні рівняння та розраховані параметри математичної моделі теплових процесів приміщення цеху по виготовленню м'ясних виробів.
2. Розроблено та реалізовано у Simulink імітаційну модель об'єкта керування. Показано її коректну реакцію на впливи збурень за зовнішньою температурою.

3. За результатами моделювання встановлено що опалювання приміщення цеху може здійснюватись за рахунок теплонадходжень від технологічного обладнання, що заощадить суттєві витрати на опалення за допомогою калорифера.

Після кожного вентилятора, що виводить нагріте повітря з вентиляційної витяжки над кожною з камер та димогенераторів назовні, в його повітропровід слід вбудувати колекторний повітропровід, оснащений керованим шибером (заслінкою), як це показано на схемі, що на рис. 3.1. Шибери показані на рисунку червоним кольором в положенні «опалення», пунктиром показано положення шиберів в режимі «вентиляція». На кожній камері та димогенераторі додатково встановити датчик температури поверхні Dt . Призначення цих датчиків – відслідковувати непрогріту або остигаючу камеру або димогенератор та видавати сигнал на перевод в режим «вентиляція» щоб недостатньо прогріте повітря не змішувалось з нагрітим.

Датчики наявності технологічного процесу ДП вже встановлені в технологічне обладнання. Їх призначення – контролювати, що камера або димогенератор знаходяться у робочому режимі, а не вимкнені з технологічного процесу для виконання інших операцій, наприклад, завантаження, розвантаження або мийки. Для прийняття рішення про вилучення або включення камери в опалення сигнали Dt та ДП об'єднуються логічним виразом $(Dt > 40^{\circ}\text{C}) \& \text{ДП}$, тобто, якщо поверхня камери достатньо прогріта і вона знаходиться в основному технологічному режимі.

Нагріте за рахунок технологічного обладнання повітря після фільтрації розподіляється по приміщенню через повітровід, прокладений уздовж стін цеху.

Система оснащена датчиком зовнішньої температури Dt_z та внутрішньої T . Останній може бути термостатом, система стабілізації температури буде працювати у релейному режимі.

Найбільш дешевим, а тому найбільш доцільним є саме релейний режим. В такому режимі для регулювання достатньо переключення шиберів в два положення – опалення або вентиляція. При пропорційному регулюванню знадобиться встановити частотно керований привід для вентиляторів на витяжках, що не дасть переваг, а тільки здорожчить систему.

3.2 Блок-діаграма імітаційної моделі САК кліматом

Відповідно до функціональної схеми та використовуючи розроблену модель об'єкта керування, побудовано імітаційну Simulink модель САК кліматом цеху, котра наведена на рис. 3.2

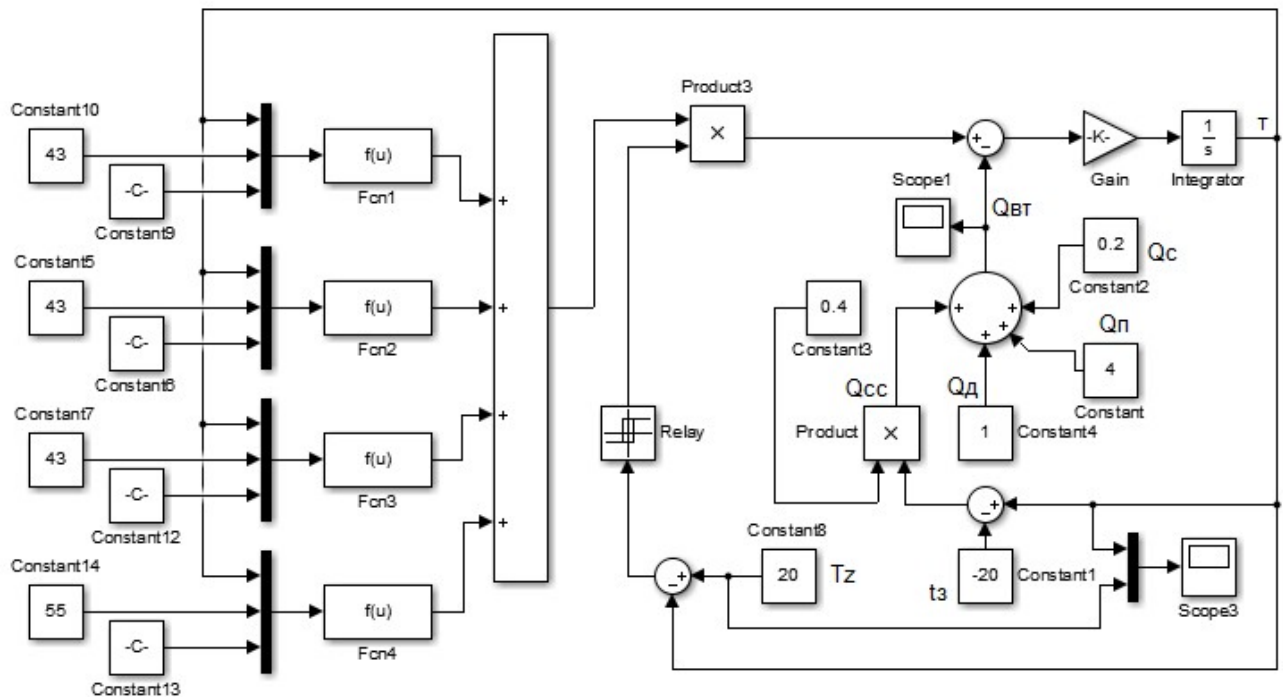


Рисунок 3.2 – Блок-діаграма імітаційної моделі САК кліматом

Наведений рисунок показує, що модельована система працює в релейному режимі, що визначається блоком Relay, на вхід якого подається сигнал розузгодження по температурі. Налаштування блоку Relay наведені на рис. 3.3, з яких випливає, що елемент працює в режимі термостата з зоною нечутливості $\pm 1^\circ\text{C}$.

Керування положеннями шиберів камер та димогенераторів, що знаходяться в режимі тепловіддачі в систему опалення, моделюються блоком множення Product3. На вхід цього блоку подається сигнал, що відповідає сумарним надходженням тепла від технологічного обладнання.

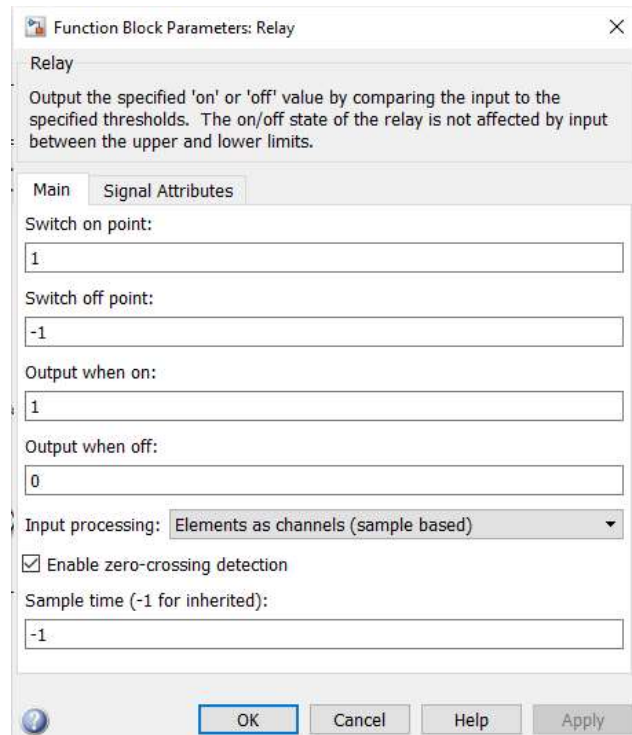


Рисунок 3.3 – Налаштування блоку Relay

Блоки $F_{cn1}...F_{cn4}$ обчислюють надходження тепла від кожної окремої одиниці технологічного обладнання з урахуванням логіки залучення та вилучення одиниць обладнання в процес опалення, що була пояснена у попередньому підрозділі. Блоки $F_{cn1}...F_{cn3}$ – відповідно від кожної з трьох камер, Блоки F_{cn4} – сумарні теплонадходження від двох димогенераторів, які працюють у парі і обслуговують три камери. Арифметично-логічні вирази вказаних блоків наведені у вікні їх налаштувань на рис. 3.4. У наведеному виразі:

- $u(1)$ – температура в цеху T ;
- $u(2)$ – сигнал датчика температури поверхні D_t ;
- $u(3)$ – $k_{TB} F_k$ (див. підрозділ 2.1.2).

Логічна умова $u(2)$ означає, що камера підключається до системи опалення, коли температура її поверхні перевищить 40°C .

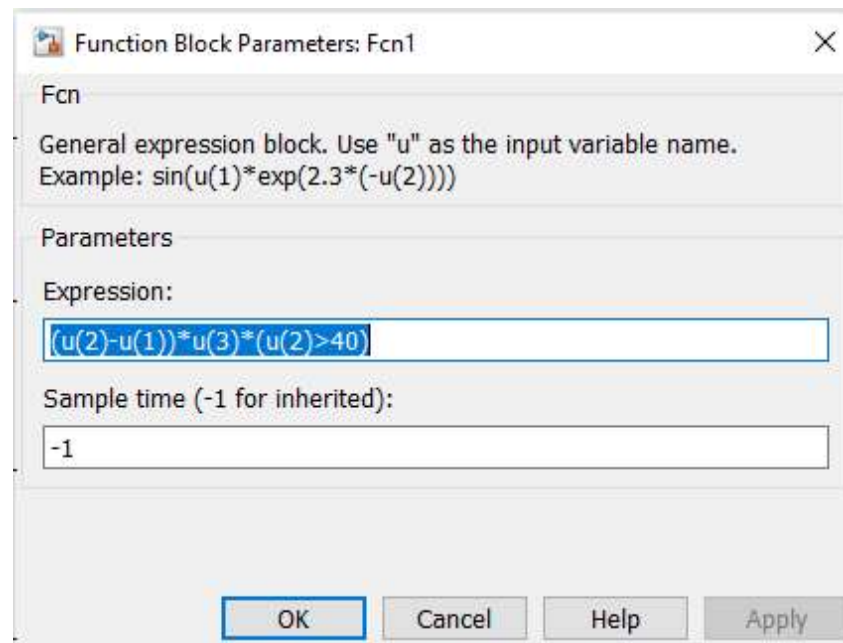


Рисунок 3.4 – Налаштування блоків Fcn

Датчики температури поверхні камер та димогенераторів моделюються блоками Constant10, Constant15, Constant17, Constant14. Блоки Constant19, Constant16, Constant12, Constant13 являють собою добутки $k_{\text{ТВ}}$ F_k , що характеризують відповідно коефіцієнт теплопередачі та площу поверхні, що віддає тепло.

3.3 Дослідження САК кліматом цеху

Першим модельним експериментом дослідження САК кліматом цеху є перевірка працездатності системи та якості стабілізації температури при максимально низькій температурі зовнішнього повітря -20°C для різної кількості працюючих камер та при постійно працюючих димогенераторах. Початкова температура в приміщенні 0°C . Результати моделювання для трьох працюючих камер наведені на рис. 3.5.

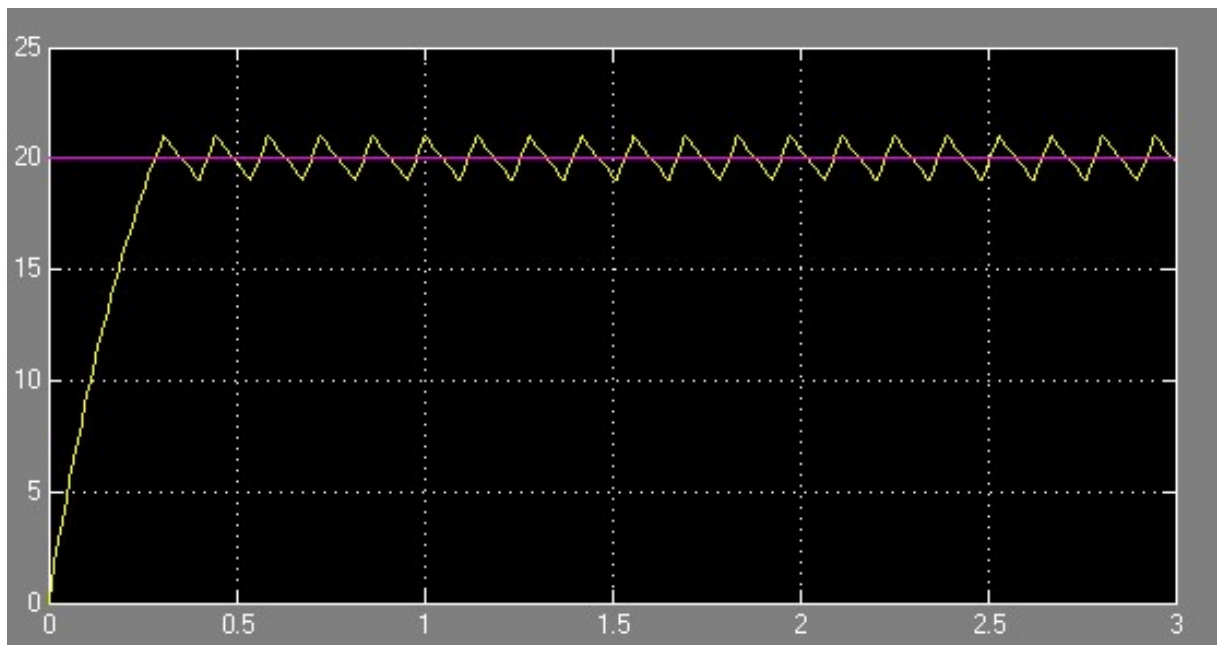


Рисунок 3.5 – Вихід на усталений режим та стабілізація температури в цеху при трьох працюючих камерах та обох димогенераторах

Результати модельного експерименту для вказаних вище умов, але при двох працюючих камерах наведені на рис. 2.6, при одній камері та обох димогенераторах – на рис. 2.7.

Головним результатом наведених вище досліджень є те, що при максимально низькій зовнішній температурі -20°C для опалення цеху з температурою 20°C у приміщенні, достатньо однієї працюючої камери та двох димогенераторів. Стабілізація температури являє собою стійкий коливальний процес з амплітудою 1°C , характерний для релейних систем, якою і є синтезована САК.

Порівняння результатів моделювання стабілізації температури системою, що наведені на рис. 3.5...3.7., свідчить, що зі зменшенням кількості камер, які задіяні в опаленні з трьох до однієї, час виходу на усталений режим та період коливань температури зростають.

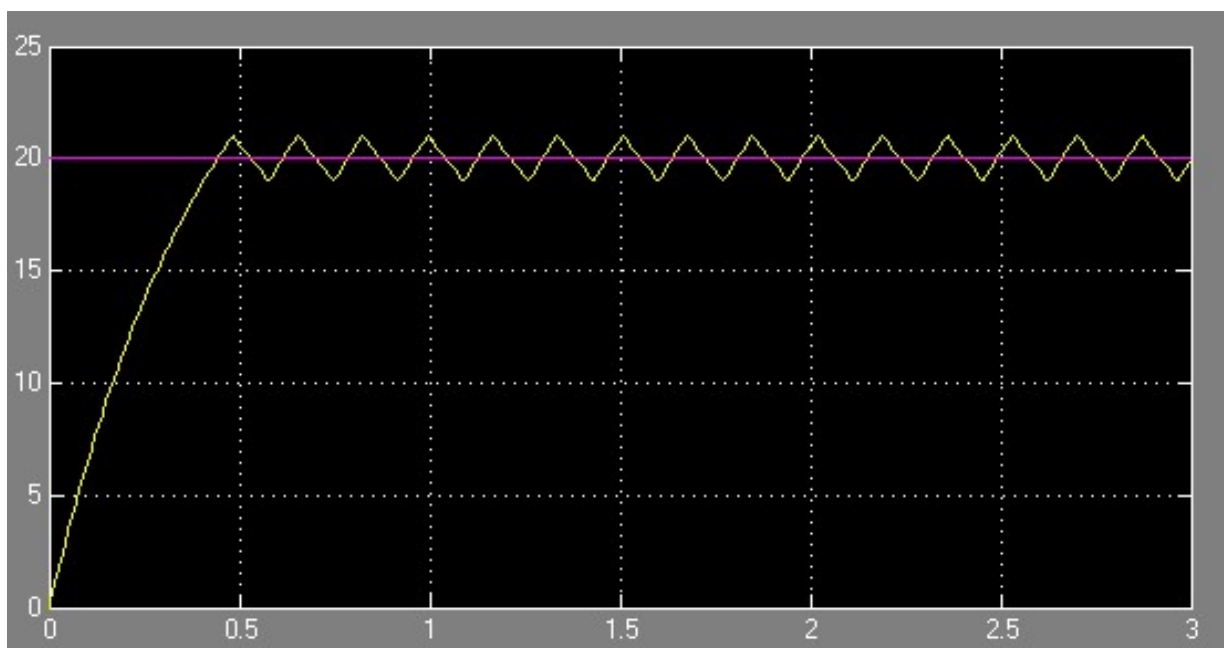


Рисунок 3.6 – Вихід на усталений режим та стабілізація температури в цеху при двох працюючих камерах та обох димогенераторах

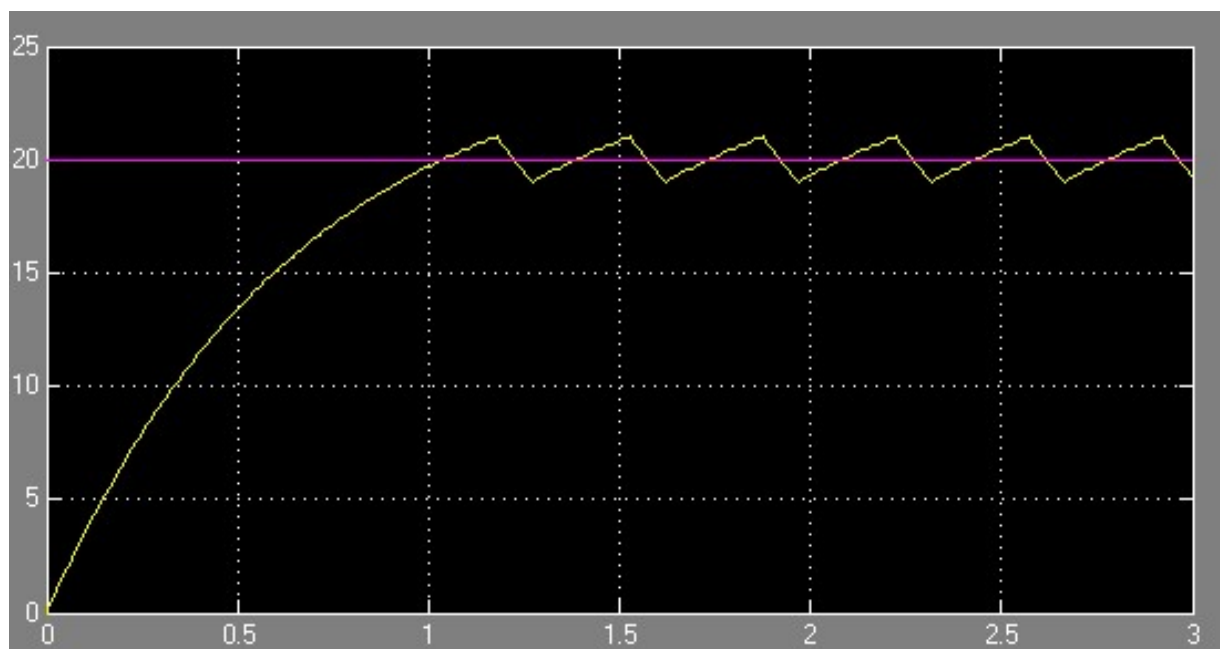


Рисунок 3.7 – Вихід на усталений режим та стабілізація температури в цеху при одній працюючій камері та обох димогенераторах

Порівняння результатів моделювання стабілізації температури системою, що наведені на рис. 3.5...3.7., свідчить, що зі зменшенням кількості камер, які задіяні в опаленні з трьох до однієї, час виходу на усталений режим та період коливань температури зростають. При трьох камерах час виходу 18,6 хв., період коливань 8,4 хв., при двох камерах відповідно 29,1 хв. та 10,2 хв., при одній – 70,6 та 21 хв. Встановлені періоди коливань вказують на те, що зупинка камери на нетривалий час у 10...15 хвилин не вносить критичних збурень у роботу системи.

Система зберігає працездатність і при роботі в опаленні однієї камери та одного димогенера, що наведено на рис. 3.8

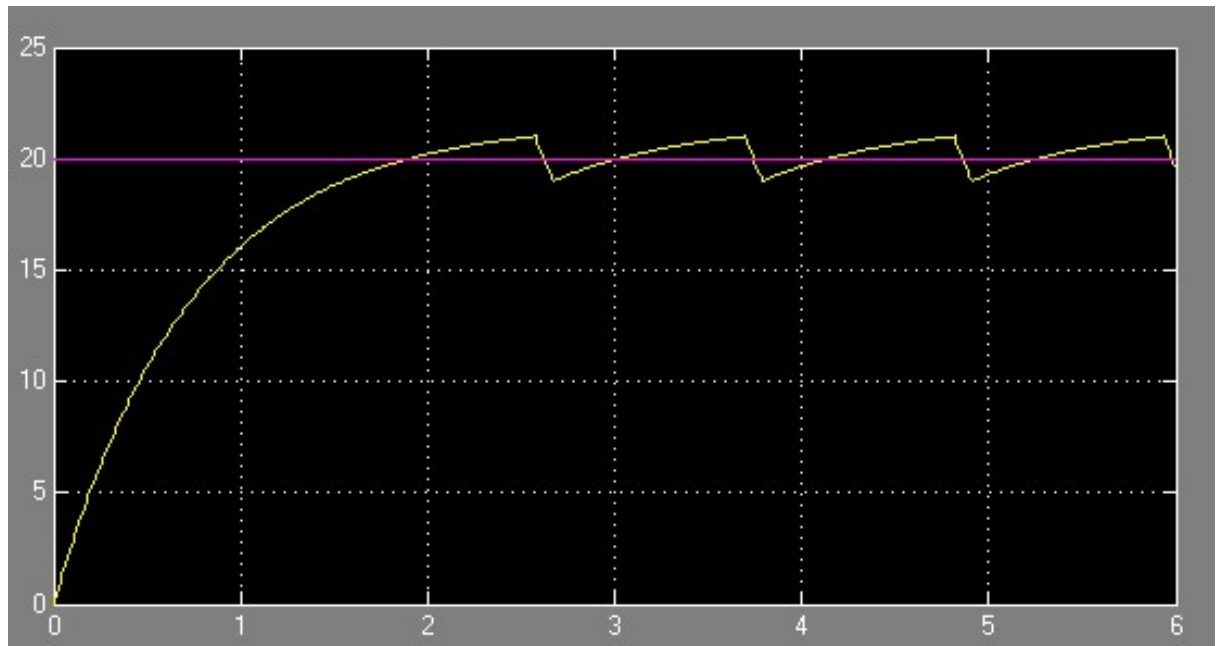


Рисунок 3.8 – Вихід на усталений режим та стабілізація температури в цеху при одній працюючій камері та одному димогенераторі

Період коливань температури в останньому експерименті опалення з одною камерою та одним димогенератором складає 66,9 хв. або 1 год. і 7 хв., що перевищує технологічний період приготування м'ясних виробів тривалістю 55...60 хвилин. Це створює ризик суттєвого зниження

температури в цеху. Для перевірки відпрацювання системою такої ситуації проведено два експерименти на моделі. В першому з них камера відключалась від системи опалення на 12 хвилин, в другому – на 24 хвилини. Результати моделювання наведені відповідно на рис. 3.9 та рис. 3.10.

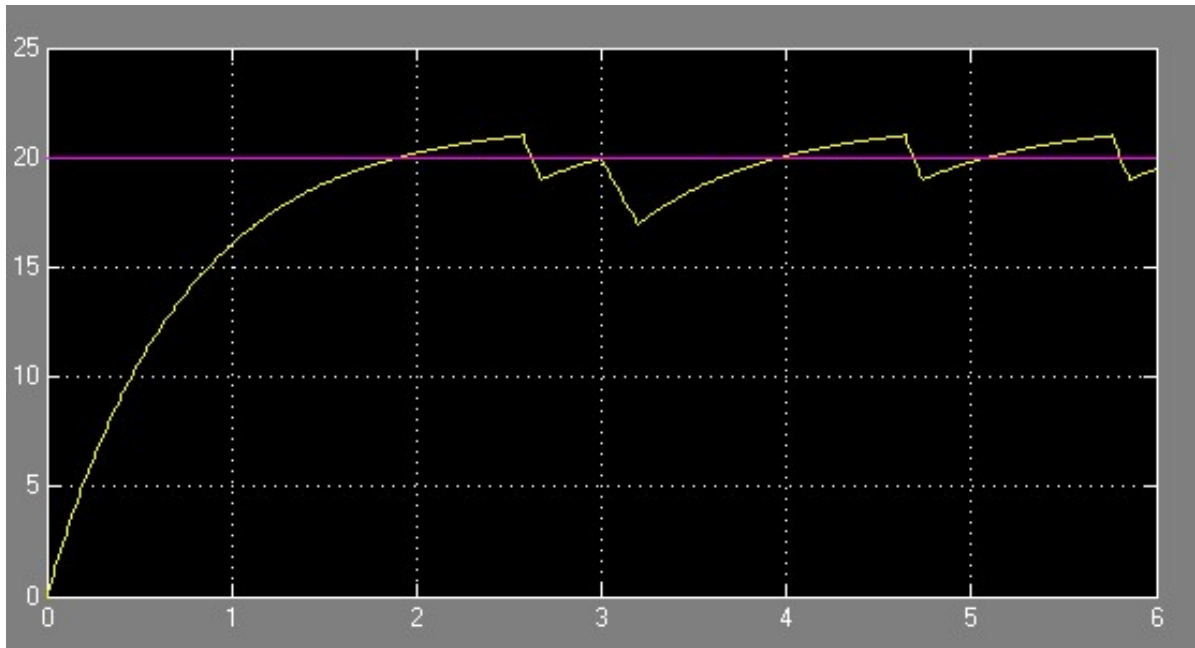


Рисунок 3.9 – Зміна температури в цеху при одній працюючій камері та одному димогенераторі при паузі у роботі камери. з 3 год. до 3 год. 12 хв.

Результати моделювання демонструють, що система стабілізації температури стійко відпрацьовує стрибкоподібне збурення за зміною надходження тепла у приміщення. При цьому зниження температури нижче допустимого значення 19°C триває протягом 33,6 хв. через невелике перевищення надходжень тепла над його витратами через огорожувальні конструкції. Мінімальне значення температури складає 17°C . Отримані результати свідчать, що така короткочасна перерва у роботі камери не є критичною.

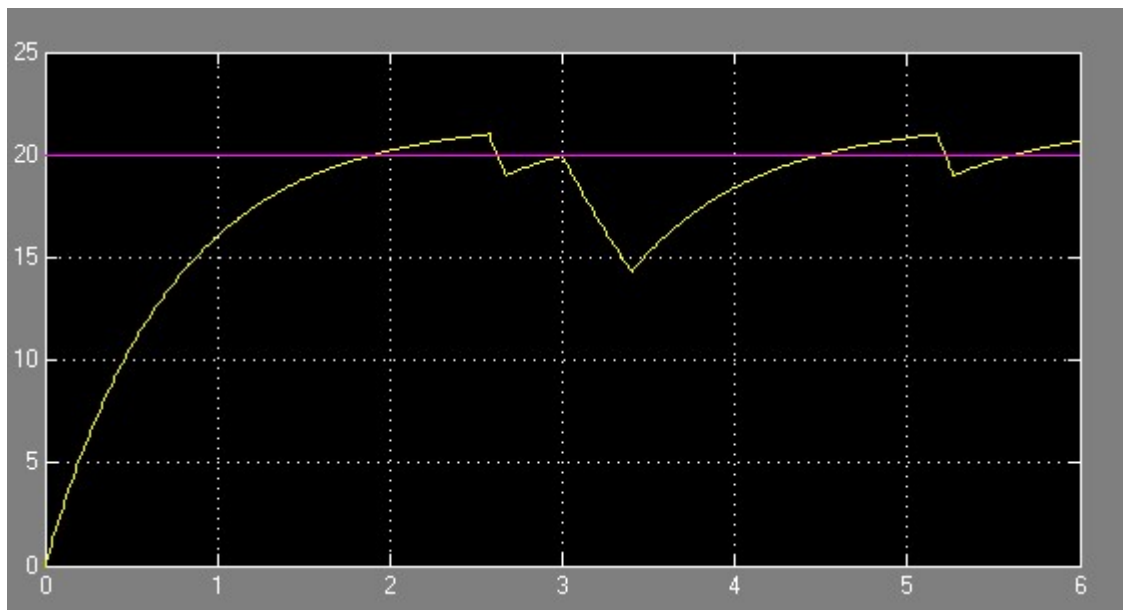


Рисунок 3.10 – Зміна температури в цеху при одній працюючій камері та одному димогенераторі при паузі у роботі камери з 3 год. до 3 год. 24 хв.

Відпрацювання збурення у системі опалення від зупинки роботи камери на 24 хвилини також представляє собою стійкий аперіодичний процес, але з більшим та тривалішим відхиленням значенням температури від завдання. Зниження температури нижче допустимого значення 19°C триває протягом 1 год. 6 хв. Мінімальне значення температури складає близько 14°C . Припустимість таких отриманих результатів може оцінити тільки умовний замовник. Виходячи з експлуатаційних технічних характеристик технологічного обладнання, така температура його роботи є припустимою.

3.4 Порівняльні дослідження релейної та лінійної САК кліматом цеху

Для визначення закону регулювання в системі автоматичного керування температурою приміщення цеху виконані порівняльні дослідження релейної та лінійної САК. З цією метою синтезовано безперервну САК кліматом з

пропорційним законом регулювання температури. Відповідна блок-діаграма Simulink моделі наведена на рис. 3.11.

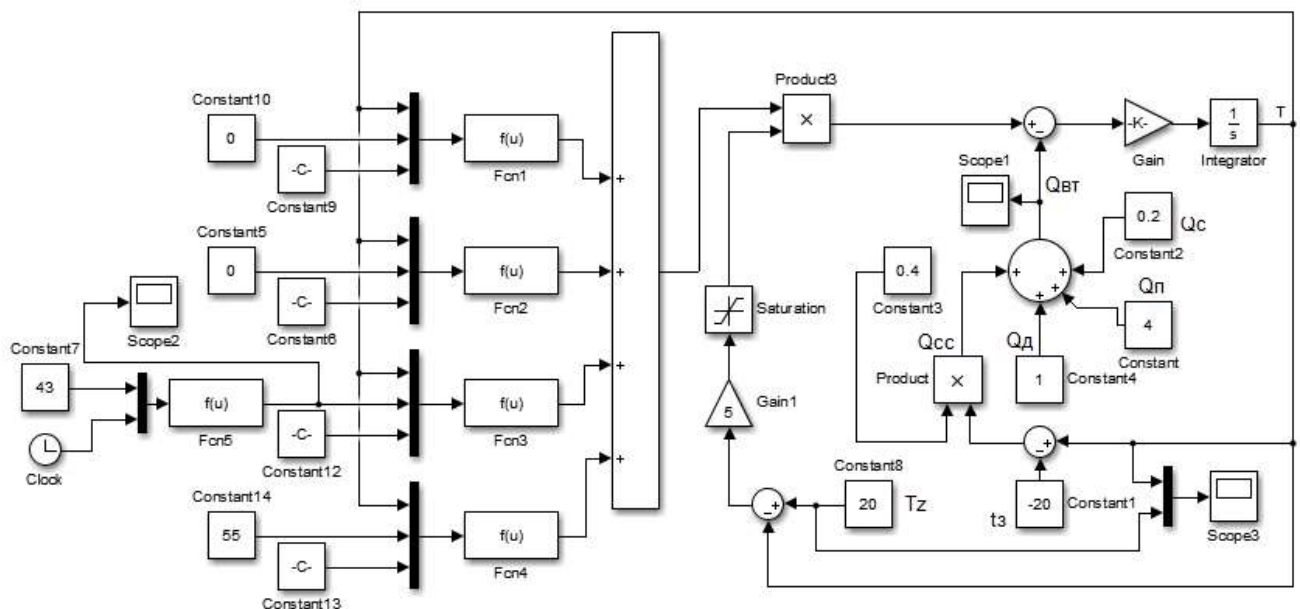


Рисунок 3.11 – Simulink модель лінійної САК кліматом цеху

Наведена система керування є нелінійною через наявність обмеження помилки за температурою тільки додатними значеннями. Обмеження моделюється блоком Saturation. Коефіцієнт підсилення розузгодження за температурою має значення 5. Це граничне значення, при якому в системі не виникають коливання.

З точки зору теорії автоматичного керування, система стабілізації температури є системою з змінним коефіцієнтом підсилення, який визначається кількістю одиниць одночасно працюючого обладнання. З огляду на це дослідження необхідно виконати для всіх варіантів задіяного у опаленні обладнання.

Блок –діаграма моделі для порівняльних досліджень наведена на рис. 3.12.

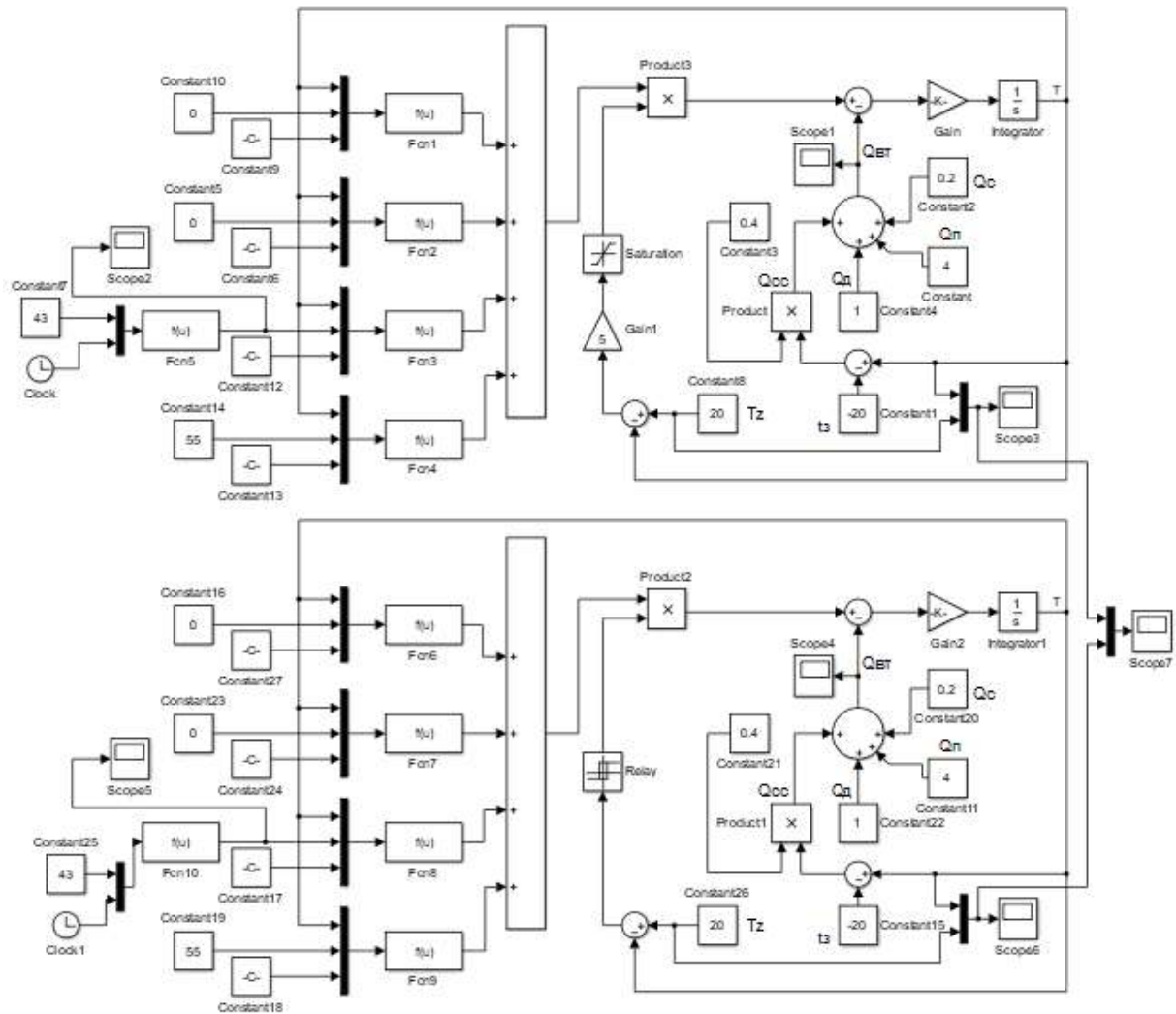


Рисунок 3.12 – Блок –діаграма моделі для порівняльних досліджень релейної та лінійної системи

Наведена модель по суті представляє моделі двох систем – релейної, що розташована у нижній частині блок –діаграми, та лінійної, розташованої в верхній частині блок –діаграми. Обидві моделі працюють в ідентичних умовах.

В обох моделях датчик температури третьої камери разом з годинником підключено через функціональний блок (Fcn5 та Fcn10), що моделює паузу у 24 хв. у роботі камери з третьої години до 3:24. Використання блоку Fcn більш зручне й компактне, ніж використання блоків Step, якщо потрібно в завданий

час підключити або виключити сигнал, який є складовою у складному арифметичному або логічному виразі. Налаштування блоку наведене на рис. 3.13.

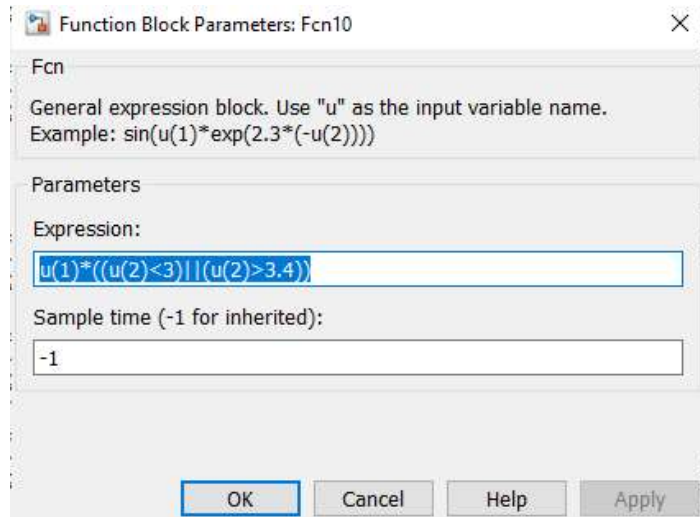


Рисунок 3.13 – Налаштування блоків Fcn5 та Fcn10

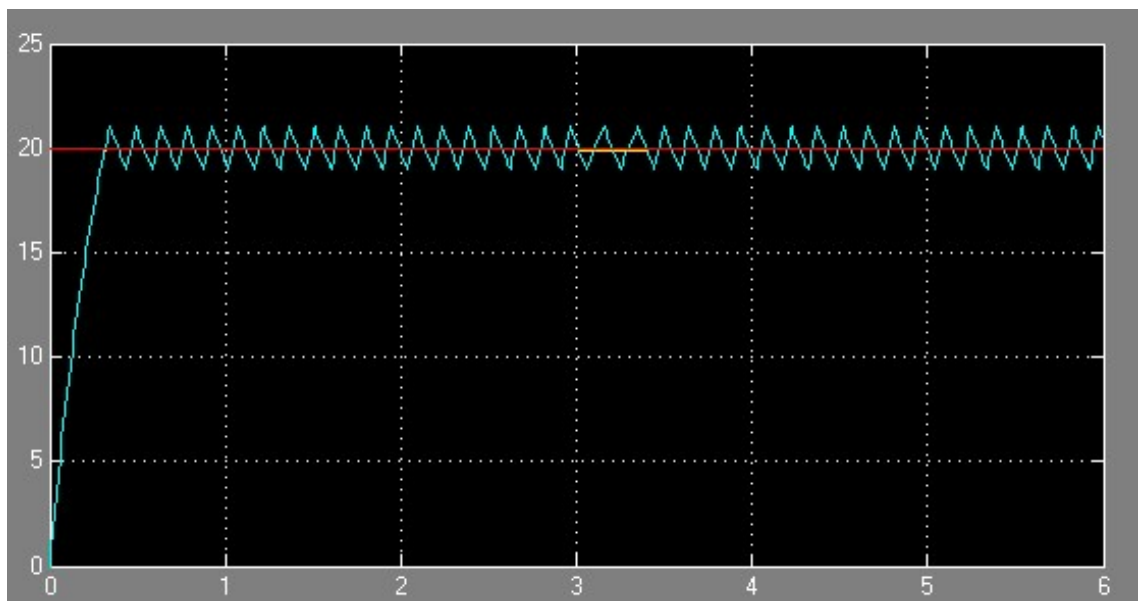


Рисунок 3.14 – Зміна температури в цеху при трьох працюючих камерах та двох димогенераторах при паузі у роботі камери з 3 год. до 3 год. 24 хв для релейної (блакита лінія) та лінійної (жовта лінія) системи

Результати порівняльного дослідження релейної та лінійної системи, коли в опаленні присутні три камери та обидва димогенератори, наведені на рис. 3.14.

З наведеного рисунку витікає, що безперервна система практично повторює усереднений рух релейної системи, за виключенням відпрацювання збурення, викликаного паузою у роботі третьої камери.

Результати порівняльного дослідження релейної та лінійної системи, коли в опаленні присутні дві камери та обидва димогенератори, наведені на рис. 3.15.

Аналогічно і в цьому разі– безперервна система практично повторює усереднених рух релейної системи, за виключенням відпрацювання збурення, викликаного паузою у роботі третьої камери. Перевага при відпрацюванні збурення не суттєва.

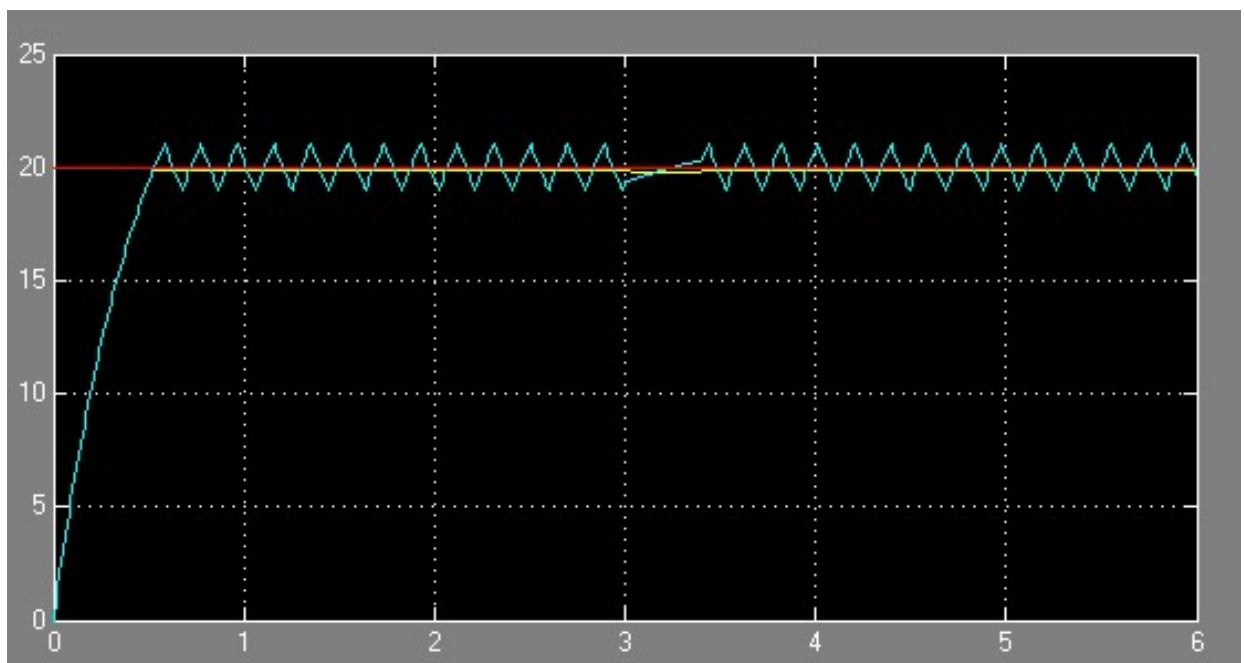


Рисунок 3.15 – Зміна температури в цеху при двох працюючих камерах та двох димогенераторах при паузі у роботі камери з 3 год. до 3 год. 24 хв. для релейної (блакита лінія) та лінійної (жовта лінія) системи

Результати порівняльного дослідження релейної та лінійної системи в режимі стабілізації температури повітря в цеху, коли в опаленні присутня одна камера та обидва димогенератори, наведені на рис. 3.16.

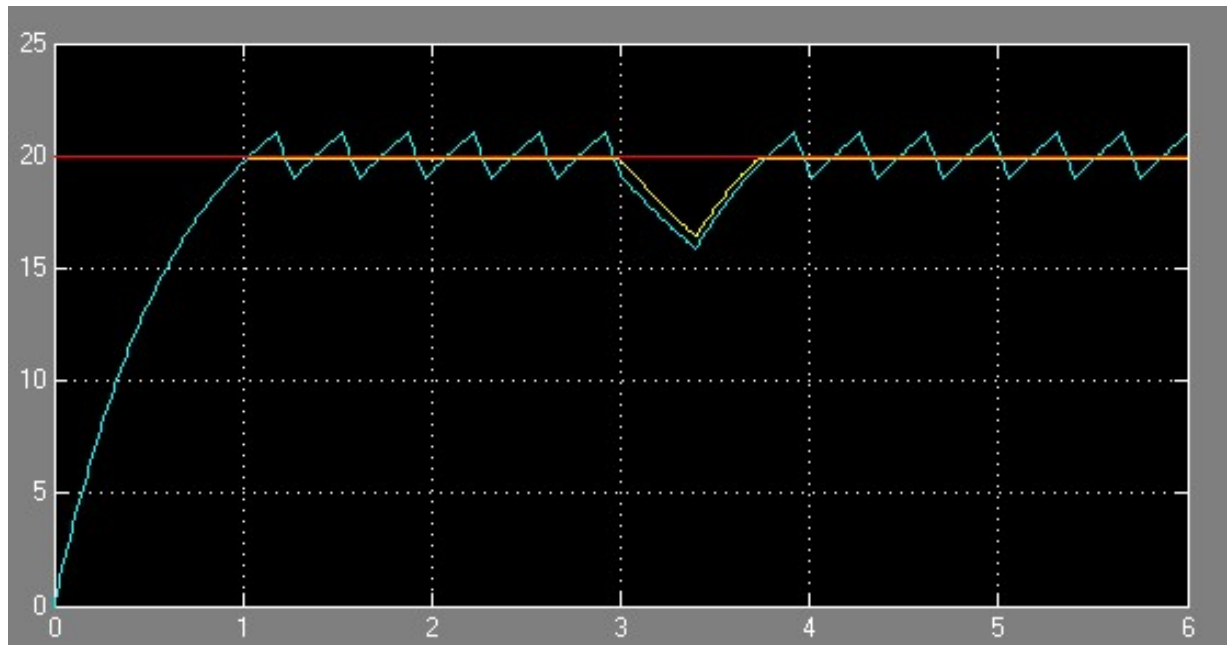


Рисунок 3.16 – Зміна температури в цеху при одній працюючій камері та двох димогенераторах при паузі у роботі камери з 3 год. до 3 год. 24 хв. для релейної (жовта лінія) та лінійної (червона лінія) системи

Наведений результат знову демонструє малу перевагу лінійної системи в порівнянні з релейною. Затягнуте відпрацювання збурення при відключенні камери з опалювального процесу пояснюється невеликим перевищенням надходжень тепла над його втратами ніж якісними показниками керування.

Порівняльні дослідження, виконані для найтяжчої ситуації, коли в опаленні задіяна одна камера та один димогенер з паузою в роботі камери 24 хв., як це було досліджено для релейної системи, наведено на рис. 3.17.

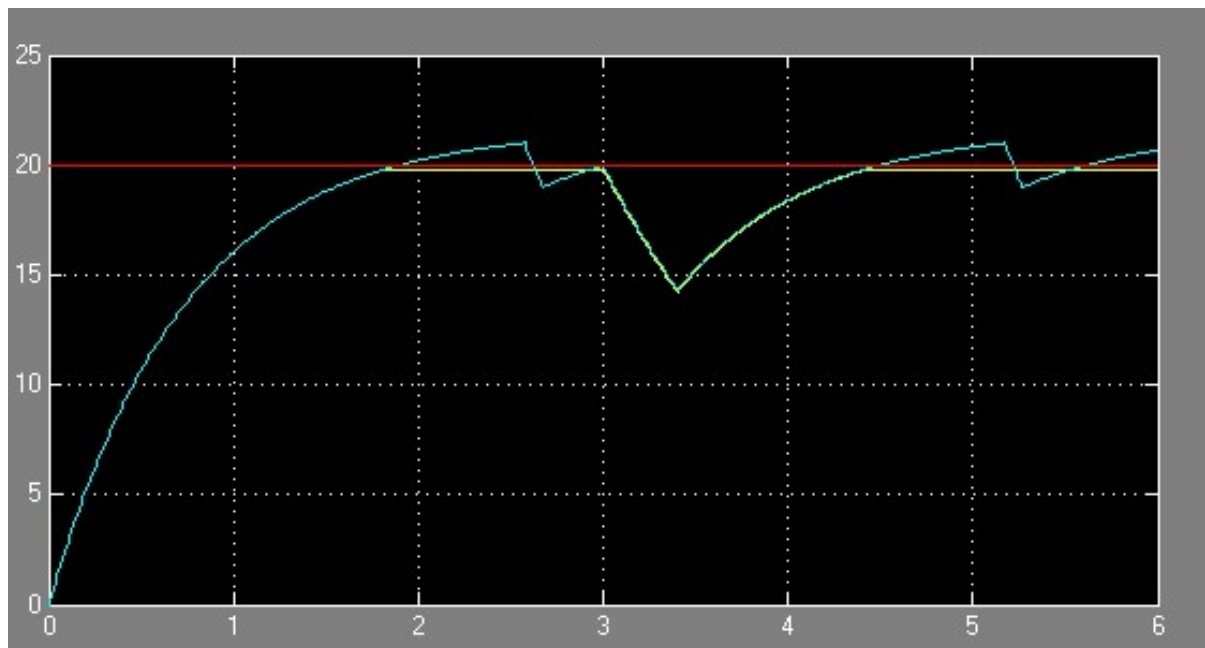


Рисунок 3.17 – Зміна температури в цеху при одній працюючій камері та одному димогенераторі при паузі у роботі камери з 3 год. до 3 год. 24 хв. для релейної (жовта лінія) та лінійної (блакитна лінія) системи

Наведені результати порівняння релейної та лінійної системи стабілізації температури повітря цеху показують про практичну відсутність переваг лінійної системи за виключенням того, що у безперервній системі коливання температури навколо заданого значення відсутні. Але коливання в 1°C ані на обладнання ані на персонал цеху не впливають.

3.5 Висновки

1. Синтезована система автоматичного керування кліматом цеху, у якій для опалення використовуються теплонадходження виключно від технологічного обладнання. Означена САК синтезована з релейним регулятором з термостатом та з лінійним пропорційним регулятором.

2. Моделюванням доведено реальну можливість опалення цеху теплонадходженнями від технологічного обладнання при мінімальній працюючій кількості його одиниць – одній камері з паузою у роботі 24 хвилини та одному димогенераторі, підтримуючи завдану температуру у цеху 20°C при зовнішній температурі -20°C .
3. Час перехідного процесу відновлення температури при роботі технологічного обладнання у повному складі при вимиканні одної камери складає близько 4 хв., в найтяжчому варіанті – одна камера, один димогенератор – близько 90 хв. при зниженні внутрішньої температури до 15°C та зовнішній температурі -20°C .
4. Виконане порівняльне моделювання релейної та лінійної САК показало, що через відсутність переваг використання лінійної САК недоцільно та призведе до збільшення витрат на побудову системи. Релейна система забезпечує високу якість стабілізації температури в усіх режимах роботи системи опалення.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз систем та пристроїв опалення показав, що найбільш доцільною та енергоефективною для опалення промислових приміщень є система повітряного опалення. Проаналізовано теплові потоки приміщення цеху по виробництву м'ясних виробів.
2. Розроблена математична модель приміщенні цеху по виробництву м'ясних виробів, в якій джерелом тепла для опалення є технологічне обладнання – варочно-коптильні камери та димогенератори, розраховані параметри моделі та виконана її побудова у Simulink.
5. Синтезована система автоматичного керування кліматом цеху, у якій для опалення використовуються теплонадходження виключно від технологічного обладнання. Означена САК синтезована з релейним регулятором з термостатом та з лінійним пропорційним регулятором.
3. Моделюванням доведено, що система опалювання залишається працездатною при мінімальній кількості працюючого обладнання – одній камері з паузою у роботі 24 хвилини та одному домогенераторі, підтримуючи завдану температуру у цеху 20°C при зовнішній температурі -20°C .
4. Виконане порівняльне моделювання релейної та лінійної САК показало, що через відсутність переваг використання лінійної САК недоцільно та призведе до збільшення витрат на побудову системи. Релейна система забезпечує високу якість стабілізації температури в усіх режимах роботи системи опалення.
5. Використання розробленої САК, в якій використовуються теплонадходження тільки від технологічного обладнання, суттєво знизить витрати на електроенергію для електрокалорифера, що використовується нині для опалення цеху.

6. Виконано розрахунки та розглянуто заходи з охорони праці та безпеки при надзвичайних ситуаціях на підприємстві.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бессонова Л.П. Научные основы обеспечения качества и безопасности пищевых продуктов: монография / Л.П. Бессонова, Н.И. Дунченко, Л. В. Антипова. - Воронеж: ФГОУ ВПО ВГАУ, 2010 -338 с.
2. Боравский В.А. Энциклопедия по переработке мяса в фермерских хозяйствах и на малых предприятиях /В.А. Боравский. – М.: СОЛОН-Пресс, 2012 -576 с. 3.
3. Бредихин С.А. Технологическое оборудование мясокомбинатов /С.А. Бредихин, О.В. Бредихина, Ю.В. Космодемьянский, Л.Л. Никифоров. – 2 – е изд., исп. – М.: Колос, 2012. – 392 с.
4. Книжиченко А.С., Кочеткова О.В. Задачи по автоматизации процессов управления цехом по производству колбас и обеспечения продовольственной безопасности продукции // Материалы IX Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум» [Электронный ресурс]. – Режим доступа до статті: href=https://scienceforum.ru/2017/article/2017037330">https://scienceforum.ru/2017/article/2017037330 (дата звертання: 26.11.2021).
5. Шиляев, М.И. Типовые примеры расчета систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха [Текст]: учебное пособие / М.И. Шиляев, Е.М. Хромова, Ю.Н. Дорошенко. – Томск: Изд-во Том. гос. архит. - строит. ун-та, 2012. – 288 с. – ISBN 978-5-93057-478-4.
6. Опалення, вентиляція і кондиціювання: для комерційних і виробничих приміщень [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті: <https://a-air.com.ua/ua-articles/otoplenie-ventiljacija-i-kondicionirovanie-dlja-kommercheskih-i-proizvodstvennyh-pomeshhenij/>
7. Що таке тепловий насос? [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті: <https://mycond-heatpump.com.ua/ua/shho-take-teploviy-nasos/>.

8. Принцип роботи теплового насоса [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті: <https://exsys.com.ua/pryntsyyp-roboty-teplovoho-nasosa/>.
9. Тепловий інверторний насос Fairland InverX 80t (32 кВт) [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті: <https://ekosklad.com.ua/p1376155218-teplovoj-invertornyj-nasos.html>.
10. Розрахунок калорифера: як розрахувати потужність приладу для нагрівання повітря для опалення [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті: <https://uk.top-home-tips.com/3460422-calculator-calculation-how-to-calculate-the-power-of-the-device-for-heating-the-air-for-heating>.
11. Калорифер у вентиляції [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті: <https://enginerishka.ru/ventilyaciya/kalorifer-v-ventilyacii.html>
12. Г. А. Максимов. Отопление и вентиляция. – М: Высшая школа. – 1973, 352 с.
13. Богословский В.Н., Сканава А.Н. Отопление: учебник для вузов по спец. ТГВ. М.: Стройиздат, 1991. 735 с.
14. Денисенко Ю.М. К теории моделирования систем отопления, Журнал «Вестник Южно-Уральского государственного университета», выпуск № 12 (112) / 2008.
15. Теплопотери через пол и стены в грунт [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті: <http://al-vo.ru/teplotekhnika/teplopoteri-cherez-pol-i-steny-v-grunt.html>
16. Теплофизический расчет теплопотерь подземной части зданий / А. Г. Сотников, доктор техн. наук, профессор. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті: 2/2010 (al-vo.ru)
17. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование / под ред. проф. Б.М. Хрусталева. – М.: Изд-во АСВ, 2007. – 784 с.
18. Мишин М.А. Тепловой режим жилых зданий // Ползуновский вестник. 2011. №1. С.104–115.
19. Веснин В.И. Использование прерывистого отопления и вентиляции для энергосбережения // Повышение энергоэффективности зданий и

- сооружений: межвузовский сборник научных трудов. Вып.6 / СГАСУ. Самара, 2011. С. 52–55.
20. Вытчиков Ю.С., Сидорова А.В. Организация воздухообмена в современных энергоэффективных зданиях // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2013. №4 (12). С. 87–94. Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура | 2016 | № 3 (24) 16 Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение.
 21. Воздушное отопление промышленных помещений – почему оно самое эффективное [Электронный ресурс]. – Режим доступа до статті: <https://ventbazar.ua/blog/vozdushnoe-otoplenie-promyshlennyx-pomeshhenij.html>
 22. Повітряне опалення [Електронний ресурс]. – Режим доступа до статті: <https://bio.ukr.bio/ua/articles/8730/>
 23. Повітряне опалення промислових приміщень [Електронний ресурс]. – Режим доступа до статті: <https://ventbazar.ua/blog/vozdushnoe-otoplenie-promyshlennyx-pomeshhenij.html>
 24. Головнев С.Г. Новый способ возведения монолитных сооружений в зимнее время, Журнал “Вестник Южно-Уральского государственного университета.”, выпуск № 15 (191) / 2010.
 25. Веснин В.И. Инфильтрация воздуха и тепловые потери помещений через оконные проёмы // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2016. №3(24). С. 10–16. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.03.2.
 26. Малявина Е.Г., Цыганков А.В. Влияние различных факторов на темп остывания помещения после отключения теплоснабжения // Известия вузов. Строительство. 2015. No1.С.53–59.2.
 27. Малявина Е.Г. Влияние теплового режима наружных ограждающих конструкций на нагрузку системы отопления при прерывистой подаче теплоты // Academia (РААСН). 2010. No3. С.324–327.
 28. Дацюк Т.А., Ивлев Ю.П., Пухкал В.А. Моделирование теплового

- режима жилых помещений при прерывистом отоплении // Современные проблемы науки и образования. М., 2014. No 5. С. 69–70.
29. Анисимова Е.Ю. Энергоэффективность теплового режима здания при использовании отопительного режима прерывистого отопления // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2012. No38. С. 55–59.6.
 30. Панферов В.И., Анисимова Е.Ю. Анализ возможности экономии тепловой энергии при прерывистом режиме отопления // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2008. No 12. С. 30-37.
 31. Анисимова Е.Ю., Панферов В.И. Эффективность управления микроклиматом здания в нерабочее время // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. М., 2014. No2. С. 72–78.
 32. Семенов Б.А. Нестационарная теплопередача и эффективность теплозащиты ограждающих конструкций зданий / СГТУ. Саратов, 1996. 176 с.
 33. Принцип погодозалежного регулювання [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті: <http://garantus.at.ua/index/0-47>
 34. Мельник А.І. Дослідження і розробка системи погодозалежного управління опаленням та кондиціонуванням спеціалізованого приміщення/ А.І. Мельник // Наукові праці ДонНТУ. Серія: Електротехніка і енергетика. - 2015. - № 1 (17). - С.82-86.
 35. Dittmar R. und Pfeiffer B. Modellbasierte prädiktive Regelung in der industriellen Praxis”, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 2006.
 36. Rau M. Nichtlineare modellbasierte prädiktive Regelung auf Basis lernfähiger Zustandsraummodelle, Technischen Universität München, 2003.
 37. Основи охорони праці: підручник / [Ткачук К.Н., Халімовський М.О., Зацарний В.В. та ін.]; за ред. К.Н. Ткачука. – К.: Основа, 2011. – 480 с.
 38. Катренко Л.А. Охорона праці: навчальний посібник / Л.А. Катренко, Ю.В. Кіт, І.П. Пістун. – Суми: Університетська книга, 2011. – 540 с.
 39. ДСТУ 2293-99. Охорона праці. Терміни та визначення основних понять

//Наказ Державного комітету України по стандартизації, метрології та сертифікації від 26.03.1999р. №164.

ДОДАТОК А – ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ПРИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ НА ПІДПРИЄМСТВІ

А.1 Характеристика умов праці науково-дослідного відділу підприємства

Робочим приміщенням, у якому розташовано науково-дослідний відділ, є кімната розмірами 5,25 метра на 4 метра. У приміщенні розташовані 1 комп'ютер потужністю 0,5 кВт/год., 1 монітор потужністю 0,1 кВт/год., 1 ноутбук потужністю 0,07 кВт/год., 2 принтери потужністю 0,4 кВт/год., генератор сигналів потужністю 0,06 кВт/год., осцилограф потужністю 0,05 кВт/год., паяльна станція потужністю 0,6 кВт/год., 4 лабораторні блоки живлення потужністю 0,15 кВт/год., 1 кондиціонер потужністю 3,5 кВт/год.

Приміщення знаходиться на 6-ому поверсі адміністративного будинку цегельної будівлі та за своїх характеристикам цілком відповідає вимогам СІ І і П 2.09.04 – 87 «Адміністративні і побутові будинки виробничих підприємств», а також СП 512 – 78 «Інструкція з проектування будинків і приміщень ЕОМ».

Основними шкідливими факторами, зв'язаними з роботою на ПК є:

- напруга зорових органів та пов'язане з цим стомлення, захворювання і побічні ефекти;
- значне навантаження на пальці та кисті рук, що при відсутності профілактики та медичного контролю можуть викликати професійні захворювання;
- тривале перебування в одній і тій самій позі, що викликає застійні явища в організмі, та може сприяти різним захворюванням;
- випромінювання різного виду при використанні відеомоніторів на електронно-променевих грубках (м'яке рентгенівське випромінювання, ультрафіолетове випромінювання, видиме випромінювання, інфрачервоне випромінювання, низько і високочастотне електромагнітне випромінювання,

електростатичні полючи);

- механічні шуми, що пов'язані з роботою електронно-механічного друкуючої пристрою (принтера), вентиляторів системи охолодження, приводів читання CD-дисків та вібрація; іонізація повітря;

- наявність шкідливих хімічних речовин.

Дослідження науково-дослідного інституту гігієни праці і профзахворювань вказали на зміни у функціональному стані зорового аналізатора в ході виробничої діяльності фахівців, що працюють з відеотерміналами, наприкінці 4 години роботи.

Професійні захворювання при роботі з персональним комп'ютером:

- комп'ютерний зоровий синдром. Вплив роботи з монітором зазвичай залежить від віку користувача, від стану зору, а також від інтенсивності роботи з дисплеєм та організації робочого місця. В результаті тривалої роботи дуже великий ризик появи, або прогресивності вже наявної, короткозорості.

- проблеми, що пов'язані з м'язами і суглобами. Нерухома напружена поза оператора, протягом тривалого часу прикутого до екрану монітора, призводить до втоми і виникнення болю в хребті, шиї, плечових суглобах, а також розвивається м'язова слабкість і відбувається зміна форми хребта. Інтенсивна робота з клавіатурою викликає больові відчуття в ліктьових суглобах, передпліччях, зап'ястях, в кистях і пальцях рук. Зазвичай присутні скарги на оніміння шиї, біль у плечах і попереку або поколювання в ногах. Але бувають, проте, і більш серйозні захворювання. Найбільш поширений кистьовий тунельний синдром, при якому нерви руки пошкоджуються внаслідок частої і тривалої роботи на комп'ютері. У найбільш важкій формі цей синдром проявляється у вигляді болісних відчуттів, що позбавляють людину працездатності.

- синдром комп'ютерного стресу. Постійні користувачі ПК зазвичай піддаються психологічним стресам, функціональних порушень центральної нервової системи, хвороб серцево-судинної системи.

- вплив на імунну систему. При впливі електро-магнітного

випромінювання (ЕМВ) порушуються процеси імуногенезу, опромінених ЕМВ, змінюється характер інфекційного процесу – протягом інфекційного процесу обтяжується. ЕМВ можуть сприяти неспецифічному пригнічення імуногенезу, посилення утворення антитіл до тканин плоду і стимуляції аутоімунної реакції в організмі вагітної самки.

– вплив на ендокринну систему і нейрогуморальну реакцію. При дії ЕМВ, як правило, відбувається стимуляція гіпофізарно-адреналінової системи, що супроводжується збільшенням вмісту адреналіну в крові, активацією процесів згортання крові.

– вплив на статеву функцію. Порушення статевої функції зазвичай пов'язані зі зміною її регуляції з боку нервової та нейроендокринної систем.

Симптоми захворювання різноманітні і численні. Зазвичай, на відмінність єдиного симптому мало ймовірно, оскільки всі функціональні органи людини взаємопов'язані.

1. Фізичні нездужання: сонливість, непроходяча втома; головний біль після роботи; болі в нижній частині спини, в ногах, відчуття поколювання, оніміння, болі в руках; напруженість м'язів верхньої частини тулуба.

2. Захворювання очей: відчуття гострого болю, печіння, свербіння.

3. Порушення візуального сприйняття: неясність зору, яка збільшується протягом дня; виникнення подвійного зору.

4. Погіршення зосередженості і працездатності: зосередженість досягається за працею; дратівливість під час і після роботи; повітря робочої точки на екрані; помилки при друкуванні.

А.2 Заходи щодо поліпшення умов праці

До приміщення науково-дослідного відділу й організації робочого місця з обліком шкідливих виробничих факторів пред'являється ряд вимог. Приміщення в якому знаходиться робоче місце з ПК повинно мати природне

освітлення, бажано з одnobічним розміщенням світопрорізів, площа осклянілості яких не повинна перевищувати 25 % від площі стіни світопрорізами. Віконні прорізи в приміщенні з ПК повинні мати регульовані жалюзі чи занавеси або інші сонцезахисні пристрої. Не допускається розташування робочих місць із ПК у підвальних і цокольних поверхах. Робочі місця з ПК рекомендується розміщати в окремих приміщеннях. Площа на одного працюючого з ПК повинна складати 6 м², об'єм – 20 м³. Неприпустиме розташування ПК, при якому працюючий звернений обличчям, або спиною до вікон чи кімнати задньої частини ПК, у яку монтуються вентилятори.

Забороняється застосовувати для обробки інтер'єра приміщень із ПК полімерні матеріали (дерев'яностружечні плити, шпалери що миються, плівкові та рулонні синтетичні матеріали, шаруватий паперовий пластик та ін.), що виділяються в повітря шкідливі хімічні речовини, що перевищують гранично допустимі концентрації, не включені в «Перелік дозволених», МЗ» 1977-1985 р.

В лабораторії вимірjuвальної техніки та науково-дослідної роботи робочі місця з ПК розташовані від стіни з вікнами на відстані 1 м, відстань між столами складає 3 м. Екрани відеомоніторів ПК знаходяться від очей користувача на відстані 700 мм відповідно до СН 512-78, приміщення (S=21 м², V=73,5 м³) дозволяє розташовувати більше 3 робочих місця.

Робочі місця в положенні сидячі відповідають вимогам ДСТ 12.2.032 – 78 та ДСТ 12.2.029 – 77. Поверхня робочого столу знаходиться на висоті 0,75 метрів від підлоги, розміри робочої поверхні стільниці складають 1050x590 міліметрів, розміри вільного простору для ніг під столом складає висота 650, глибина 550, ширина 450 міліметрів відповідно. Робочий стілець оснащений підйомно-поворотнім пристроєм, що забезпечує регуляцію висоти сидіння і спинки, пневматичним і гідравлічними амортизаторами та обладнанні підлокітниками.

Мікроклімат робочого місця. У приміщенні науково-дослідного відділу є джерела тепловиділення, тому необхідно визначити необхідні умови його

вентилювання. Витрату повітря в приміщенні з додатковим тепловиділенням визначаємо за формулою:

$$L = \frac{Q_{\text{НАД}}}{c \cdot p \cdot (t_B - t_H)}, \quad (\text{A.1})$$

де $Q_{\text{НАД}}$ – надлишкове виділення тепла в робочому приміщенні, ккал/год.; c – теплоємність повітря (0,237 ккал/кг); p – обсягова вага повітря (1,226 кг/м³); t_B – температура витяжного повітря (30°C); t_H – температура приточного повітря (20°C).

Розрахуємо надлишкове надходження тепла за наступною формулою:

$$Q_{\text{НАД}} = Q_{\text{УСТ}} + Q_{\text{ПЕР}} + Q_{\text{ОСВ}} + Q_{\text{СР}}, \quad (\text{A.2})$$

де $Q_{\text{УСТ}}$ – виділення тепла від устаткування; $Q_{\text{ПЕР}}$ – виділення тепла робітниками; $Q_{\text{ОСВ}}$ – надходження тепла від електричного освітлення; $Q_{\text{СР}}$ – надходження тепла від сонячної радіації через вікна.

Визначимо виділення тепла від устаткування за формулою:

$$Q_{\text{УСТ}} = P \cdot K_a \cdot K_{\theta} \cdot 860, \quad (\text{A.3})$$

P – сумарна потужність устаткування, кВт/год; K_a – коефіцієнт установленної потужності (0,95); K_{θ} – коефіцієнт одночасної роботи (1,0).

$$\begin{aligned} Q_{\text{УСТ}} &= [x_1 \cdot k_1 + x_2 \cdot k_2 + x_3 \cdot k_3 + x_4 \cdot k_4 + x_5 \cdot k_5 + x_6 \cdot k_6 + x_7 \cdot k_7 + \\ &+ x_8 \cdot k_8 + x_9 \cdot k_9] \cdot K_a \cdot K_{\theta} \cdot 860 = \\ &= [1 \cdot 0,5 + 1 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,06 + 1 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,6 + 4 \cdot 0,15 + \\ &+ 1 \cdot 3,5] \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 860 = 5131 \text{ ккал/год.} \end{aligned}$$

Визначимо виділення тепла від обслуговуючого персоналу за допомогою наступної формули:

$$Q_{\text{ПЕР}} = n \cdot g = 2 \cdot 100 = 200 \text{ ккал/год}, \quad (\text{A.4})$$

де n – кількість працюючих; g – кількість тепла, що виділяє один працівник за годину (100 ккал/год.).

Визначимо надходження тепла від електричного освітлення за формулою:

$$Q_{\text{ОСВ}} = E_M \cdot g_1 \cdot S = 300 \cdot 0,05 \cdot 21 = 315 \text{ ккал/год}, \quad (\text{A.5})$$

де E_M – нормована освітленість для цієї зорової роботи, величина якої дорівнює 300 лк; g_1 – питоме тепловиділення на 1 м² підлоги при 1 лк освітленості (для / люмінесцентних ламп – 0,05 ккал/год.) S – площа приміщення, м².

Визначимо надходження тепла від сонячної радіації через вікна за наступною формулою:

$$Q_{\text{СР}} = F \cdot g_2 \cdot K_{\text{ОСЛ}} = 7,5 \cdot 65 \cdot 0,4 = 195 \text{ ккал/год}, \quad (\text{A.6})$$

де F – площа віконних прорізів (3х2,5=7,5 м²); g_2 – кількість тепла, що надходить через 1 м² віконного прорізу (65 ккал/год.); $K_{\text{ОСЛ}}$ – коефіцієнт ослаблення, приймаємо 0,4.

Визначимо кількість надлишкового тепла:

$$Q_{\text{НАД}} = Q_{\text{УСТ}} + Q_{\text{ПЕР}} + Q_{\text{ОСВ}} + Q_{\text{СР}} = 5131 + 200 + 315 + 195 = 5841 \text{ ккал/год}$$

Визначимо витрати повітря в приміщенні:

$$L = \frac{Q_{\text{НАД}}}{c \cdot p \cdot (t_B - t_H)} = \frac{5848}{0,237 \cdot 1,226 \cdot (30 - 20)} = 2010 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Існуюча в наявності система кондиціонування і вентилявання має продуктивність 2200 куб. м./годину, що задовольняє необхідним нормативам.

Параметри мікроклімату на робочих місцях регламентуються ДНАОП 0.03.3.15 – 86 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень № 4088–86». Відповідно доданих санітарних норм температура повітря, швидкість руху повітря та відносна вологість у холодні періоди року повинна складати (22 – 24) градуса за Цельсієм, 0,1 метра в секунду та 40-60 % відповідно. При збереженні всіх параметрів можливе коливання температури від 21 до 25 градусів Цельсія. У теплі періоди року температура повітря повинна складати (23 – 25) градусів Цельсія, рухливість повітря (0,1 – 0,2) метрів секунду, вологість (40 – 60) %. Температура може коливатися від 22 до 26 градусів Цельсія при збереженні всіх інших параметрів мікроклімату. Вище зазначені норми цілком відповідають фактичним даним приміщення лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідним відділом.

Розрахунок системи загального рівномірного освітлення з лампами розжарювання для приміщення, в якому використовуються зорові роботи високої точності. Розміри приміщення: довжина ($a=6$ м), ширина ($b=3,5$ м), висота ($h=3,5$ м). Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття $P_{\text{стелі}} = 70 \%$, $P_{\text{стін}} = 50 \%$. Висота робочих поверхонь (столів) $h_p = 0,7$ м. Для освітлення прийнято світильники типу УПМ-15, які підвищуються до стелі, відстань від світильника до стелі $h_c = 0,4$ м.. Мінімальна освітленість за нормами $E=200$ лк.

1) Визначимо висоту підвісу світильників над підлогою

$$h_0 = H - h_c = 3,5 - 0,4 = 3,1 \text{ м.}$$

Для світильників загального освітлення з лампами розжарювання потужністю до 200 Вт мінімальна висота підвісу над підлогою відповідно до СНІП П-4-79 повинна бути у межах (2,5 – 4,0) м, залежно від характеристики світильника. В лабораторії виміральної техніки та науково-дослідному відділу відповідає цій вимозі.

2) Визначимо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = h_0 - h_p = 3,5 - 0,4 = 2,8 \text{ м.}$$

Рівномірність освітлення досягається при відповідному співвідношенні відстані між світильниками (L) та висоти їх підвісу (h).

3) Визначимо рекомендовану відстань між світильниками

$$L = 0,7 \cdot h = 0,7 \cdot 2,8 = 2,0 \text{ м.}$$

4) Розрахуємо необхідну кількість світильників

$$N = \frac{a \cdot b}{L^2} = \frac{6 \cdot 3,5}{2^2} = 6.$$

Приймаємо 6 світильників, враховуючи розміри приміщення розміщуємо їх у два ряди по 3 штуки.

5) Світловий потік лампи світильника ($\Phi_{\text{л}}$) визначається за формулою:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta},$$

де E – нормативна освітленість, лк; K_3 – коефіцієнт запасу, який враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп; S – площа

приміщення, що освітлюється, m^2 ; Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення для ламп розширювання (1,15); N – кількість світильників; n – кількість ламп у світильнику; η – коефіцієнт використання світлового потоку, який визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення (i) та коефіцієнтів відбиття стін та стелі.

6) Визначимо показник приміщення:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{6 \cdot 3,5}{3,5 \cdot (6 + 3,5)} = 2,21.$$

Коефіцієнт використання $\eta = 0,48$ для світильника УПМ-15 (при $i = 2,5$, $P_{\text{стелі}} = 70\%$, $P_{\text{стін}} = 50\%$)

Світловий потік одного світильника, а значить і лампи, оскільки за конструктивним виконанням у світильнику цього типу встановлена лише одна лампа, дорівнює:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 21 \cdot 1,15}{6 \cdot 1 \cdot 0,48} = 1677 \text{ лм.}$$

9) обираємо лампу Б-150 потужністю 150 Вт, світловий потік якої становить 2100 лм. Хоча це значення на 18% більше розрахованого, однак не перевищує встановлену норму ($-0\% < \Phi_{\text{л}} < +20\%$). Сумарна електрична потужність усіх світильників, встановлених у приміщенні становить:

$$P_{\text{св}} = P \cdot N = 150 \cdot 6 = 900 \text{ Вт.}$$

А.3 Пожежна безпека

Найважливішою умовою роботи будь-якого підприємства є дотримання

правил пожежної охорони. У приміщені лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідному відділу основні міри для забезпечення пожежної безпеки визначає «Інструкція про заходи пожежної безпеки для службових приміщень (офісів)». Вона є обов'язковою для використання всіма співробітниками відділу. У згідності з цією інструкцією, у кожному приміщенні повинний бути призначений відповідальний за пожежну безпеку, вивішена на видному місці табличка з указівкою його посади та прізвища.

Меблі й устаткування повинні розміщатися таким чином, щоб забезпечувався вільний евакуаційний прохід до дверей виходу з приміщення (шириною не менше 1 м). Евакуаційні шляхи та виходи необхідно постійно держати вільними, нічим не захащувати. По мірі нагромадження та закінчення роботи пальні відходи варто збирати в спеціально відведених сміттєзбиральників.

Електромережі, електроприлади й апаратура повинна експлуатуватися тільки в справному стані, з урахуванням рекомендацій підприємства-виготовлювачів. У випадку виявлення ушкоджень електромереж, вимикачів, розеток та інших електровиробів варто негайно відключи їх та вжити необхідних заходів до приведення в пожежобезпечний стан. Документи папір та інші горючі матеріали варто зберігати на відстані не менш 1 м від електрощитів, електрозбірок та електрокабелів, 0,5 м від світильників та 0,25 м від приладів опалення.

Засоби протипожежного захисту (пожежні крани, пожежна й охоронно-пожежна сигналізація, первинні засоби пожежогасіння і т.п.), що маютьесь в приміщеннях, варто тримати в справному стані.

Усі працівники повинні пройти протипожежний інструктаж, уміти користатися наявними вогнегасниками, іншими первинними засобами пожежогасіння та знати місце їхнього перебування. Відстань від найбільш віддаленого місця приміщення до місця розміщення вогнегасника не повинне перевищувати 20 м.

А.4 Безпека при надзвичайних ситуаціях на підприємстві

Об'єктом розгляду на предмет визначення надзвичайних небезпек та їх наслідків є науково-дослідний відділ. Однією із вірогідних загроз може бути раптове виникнення пожежу внаслідок короткого замикання в електромережах або розрядів статистичної електрики, що може привести до пошкодження і руйнування будівлі, устаткування, комунікацій, виділення токсичних продуктів горіння.

Тому в науково-дослідному відділі розроблено оперативний план гасіння пожежі, який визначає порядок дії персоналу при пожежі, порядок її гасіння в електроустановках, взаємодію з власним складом пожежних підрозділів, а також застосування схем и засобів пожежогасіння з урахуванням заходів безпеки.

Будівля повинна бути обладнана мережею протипожежного водозабезпечення, установками виявлення та гасіння пожеж відповідно вимогам нормативно-технічних документів. Кожний працівник повинен чітко знати та виконувати вимоги ППБ та протиаварійний режим на об'єкті, уміти користуватися наявними вогнегасниками, іншими первинними засобами пожежогасіння і знати місце їхнього перебування.

Меблі й устаткування повинні розміщатися таким чином, щоб забезпечувався вільний евакуаційний прохід до дверей виходу з приміщення (шириною не менше 1 м). Евакуаційні шляхи і виходи необхідно постійно держати вільними, нічим не захарашувати. Засоби протипожежного захисту в приміщеннях потрібні триматися у справному стані.

У випадку виявлення пожежі слід: негайно повідомити державну пожежну охорону за телефоном «101», вказати при цьому адресу, кількість поверхів, місце виникнення пожежі, наявність людей, своє прізвище; повідомити про пожежу керівництву, а в нічний час черговому охоронцю; у разі можливості почати гасіння пожежі наявними засобами, організувати

зустріч пожежних підрозділів.

При виникненні пожежі у початковій стадії його розвитку випромінюється тепло, накопичуються токсичні продукти згоряння, імовірні руйнування будівельних споруд. Тому слід як можна швидше провести евакуацію людей із палаючої будівлі. Показником ефективності евакуації є час, протягом якого працівники можуть при необхідності залишити окремі приміщення і будівлю в цілому. Безпека евакуації досягається тоді, коли час евакуації не перевищує час настання критичної фази розвитку пожежі, тобто часу від початку пожежі до досягнення граничних для людини впливів факторів пожежі (критичних температур, ступені задимлення, зниження концентрації кисню и т.п.). Число евакуаційних виходів повинно бути не менш двох. Вони повинні розташовуватися розосереджено. Мінімальна відстань між найбільш віддаленими один від одного евакуаційними виходами із приміщення визначається за формулою:

$$l = 1,5 \cdot \sqrt{P} = 1,5 \cdot \sqrt{19} = 6,5 \text{ м}, \quad (\text{A.7})$$

де P – периметр приміщення, м.

Двері на шляхах евакуації повинні відкриватися у напрямку виходу із будівлі. У кожному приміщенні на видному місці повинен бути вивішений план евакуації при пожежі.

При пожежі обов'язково необхідно враховувати небезпечні чинники і механізм їх дії на людину. При виникненні пожежі, після виклику пожежної охорони, необхідно попередити про це усіх, хто знаходиться поруч, після чого евакуюватися самому і по можливості допомогти евакуюватися іншим, особливо особам літнього віку і дітям, попереджаючи при цьому виникнення паніки. З метою обмеження циркуляції повітря, яке здатне збільшувати швидкість горіння, покидаючи приміщення, закрийте за собою усі двері, якщо це можливо. Якщо пожежа виникла в приміщенні над вами і безпосередньої загрози для вас не спостерігається, то бажано виконати заходи по зниженню

можливих втрат від води яку проливають при гасінні пожежі. Для цього необхідно відключити всі електроприводи та прикрити їх поліетиленовою плівкою. Значно гірше, якщо пожежа виникла в приміщенні під вами – потрібно оцінити обстановку и якщо є впевненість, що ще не має сильної задимленості з високою температурою, потрібно негайно покинути приміщення, рухаючись до виходу по коридорам і сходовим кліткам. Користуватися ліфтом категорично забороняється, за винятком ліфтів, які спеціально призначені для транспортування пожежної охорони. Шахта ліфта є шляхом для поширення диму і отруйних продуктів горіння, до того ж при пожежі ліфт часто відключають і можна опинитися в пастці при пожежі.

Якщо ви знаходитесь в приміщенні, де немає пожежі, але відрізани вогнем, димом, високою температурою від головних шляхів евакуації, то в першу чергу необхідно заважити доступу диму и продуктів горіння в це приміщення. Для чого необхідно негайно закрити усі щілини у дверях та під ними змоченими водою ганчірками, рушниками, робочими халатами та ін. Якщо приміщення все ж заповнено димом, необхідно підповзти до вікна, закрити при цьому рот та ніс змоченою тканиною, яка грає роль фільтру та в певній мірі захищає від продуктів горіння.