Форма № Н-9.02

Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до магістерської роботи
магістр
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему:
«Дослідження та автоматизація процесу копчення харчових продуктів»

Виконав: студент 6 курсу, групи 601МЕ
спеціальності
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Осіпов Василь Олександрович
(прізвище та ініціали)

Керівник Галай В.М.
(прізвище та ініціали)
Рецензент Кислиця С.Г.
(прізвище та ініціали)

Полтава - 2021 року

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення _Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки______________________________
Кафедра, циклова комісія_автоматики, електроніки та телекомунікацій_____
Освітньо-кваліфікаційний рівень_магістр__________________________________
Напрям підготовки ____
(шифр і назва)
Спеціальність 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка__
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій

______________ О.В. Шефер

"06" _вересня__2021 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

____________________Осіпову Василю Олександровичу__________________
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема проекту (роботи)**__Дослідження та автоматизація процесу копчення харчових продуктів____
керівник проекту (роботи)_Галай Василь Миколайович, к.т.н., доцент______,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджена наказом вищого навчального закладу № 688фа від 25.08.2021р.

2. **Строк подання студентом проекту (роботи)**_15.12.2021_

3. **Вихідні дані до проекту (роботи)**_ контроль та регулювання температури, вологості в камері, використати ПЛК Owen 150, регулюючий орган МПР51; термоперетворювач типу ТСП 100.

4. **Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)** 1. Технологія процесу копчення; 2. Характеристика коптильних камер; 3. Математична модель об'єкта керування; 4. АСУ процесом копчення; 5. Економічна частина.

5. **Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)**_ 1. Камера копчення вид загальний; 2. Структурна та функціональна схема САК процесом копчення; 3. Графіки перехідних процесів; 4. Алгоритми роботи САК процесом копчення; 5. Панель оператора та основні функціональні блоки; 6. Схема функціональна підключення; 7. Техніко-економічні показники.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економіка	Григор’єва Олеся Володимирівна		

7. Дата видачі завдання__06.09.20______

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	1. Технологія процесу копчення; 2. Характеристика коптильних камер; Слайд 1, 2, 3.	27.10.21	30%
2	3. Математична модель об’єкта керування; Слайд 4, 5.	24.11.21	60%
3	4. АСУ процесом копчення; 5. Економічна частина. Висновки. Слайд 6, 7.	15.12.21	100%

Студент __________ ____Осіпов В.О.___
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) __________ ___Галай В.М.___
(підпис) (прізвище та ініціали)

Зміст

Вступ

Копчення — процес обробки харчових продуктів димоповітряною сумішшю з метою досягнення бактерійного і антиокислительного ефектів. При цьому їх поверхні забарвлюються в золотисто-коричневі кольори, а самі продукти придбавають специфічний приємний смак і аромат копчення.

З давніх часів люди використовують копчення, як спосіб консервації продукту в акорді з наданням йому особливо ароматного запаху і чудового смаку. Як уперше було отримано копчене м’ясо або рибу нікому не відомий, але в той же час, це не було випадковістю з тієї простої причини, що процес цей тривалий і вимагає наявності певних знань.

Сказати що копчення відбувається тільки обробкою м’яса димом, не в якому випадку не можна, тому що існують декілька способів копчення, а саме: димове, бездимне і змішане.

Димове або звичайне копчення здійснюється димом, що утворюється при неповному згоранні деревини.

Основним методом копчення м’ясної продукції а так само риби нині являється димове копчення. При цьому методі обробки ефект копчення досягається за рахунок попадання на поверхню м’яса або риби під дією численних чинників, наприклад відцентрових сил, седиментації, броунівського руху, конденсації пари, абсорбція в поверхневому шарі вологи і ін., коптильних компонентів диму і подальшого їх проникнення в товщу, взаємодії, що супроводжується специфічними реакціями, з хімічними складовими продукту. Відмінними рисами звичайного копчення є тривалість термічної обробки і що досягаються при цьому яскраво виражені властивості копченого продукту - інтенсивне забарвлення поверхні, приємні димовий смак і аромат копченої.

1. Технічні основи копчення

Залежно від температури, копчення розрізняють на холодне, гаряче і напівгаряче. Якщо розглядати це на доступнішому прикладі копчення риби в домашніх умовах, то це виглядатиме приблизно так:

Гаряче копчення. Цей спосіб має багато переваг. Він швидкий, надійний, простий; риба відразу готова до вживання. І споруд складних не потрібно. Є металева бочка - прекрасно, немає - можна обійтися старим відром, тільки їх потрібно ретельно прожарити. Обов’язкова умова - добре підігнані кришки. Як використати ці місткості - ясно з малюнка 1. Вставні сітки, на які кладеться риба, робляться із сталевого дроту, що відпалює, діаметром 4...6 міліметрів.

Рис. 1 - Приклад технології гарячого копчення

Отже, ми зібралися коптити рибу гарячим способом. Дрібну рибу не обробляємо, середню патраємо, велику обробляємо на пласт або боковник - оброблення уздовж хребта на два філе. Оброблену рибу моємо і солимо сухим способом. Для цього нам знадобиться дошка або шматок фанери, сіль грубого помелу №1 або №2. Посипавши сіллю дошку і рибу, втираємо сіль в тушку, рухаючи нею по столу з невеликим натиском. Внутрішню поверхню черевця натираємо сіллю вручну. Якщо риба з товстою спинкою, робимо в ній розріз уздовж хребта, втираємо і туди сіль.

Посол жирної риби(мойви, скумбрії, палтуса, ставриди, зубатки, камбали, товстолобика, сома, миня) дещо відрізняється від вищеописаного. Натерта великою сіллю кожна рибина або пласт завертаються в пергамент або олівцеву кальку, щоб не окислювалися жири. Потім риба пошарово укладається в емальований посуд, краще в лотки з кришкою. Згори все ховається пергаментом, а краї його підгинаються. Бажано укласти рибу невеликою гіркою, а кришкою придавити, зафіксувавши мотузком або дротом.

Засолювання розмороженої в холодній воді риби триває дещо довше, чим свіжіше, - від 4...6 годин до діб.

Під дією солі відбувається згортання білків, втрачається смак і запах сирої риби, м’ясо її ущільнюється і стає придатним до вживання без подальшої кулінарної обробки.

Наступна операція - пров’ялення риби впродовж 40...60 хвилин. За цей час її солоність досягає потрібних 1,5...2,0 відсотка і риба частково зневоднюється, оскільки стікає тузлук - розчин солі. Риба обв’язується линвою і розвішується на вішалках і прикривається від мух марлевою запоною. Можна укласти в поліетиленові мішки і укрити в прохолодному місці, наприклад, в холодильнику або льосі. У другому випадку, перед закладкою риби в коптильню, її ретельно протирають від тузлука, пересолену промивають прісною водою, а потім протирають.

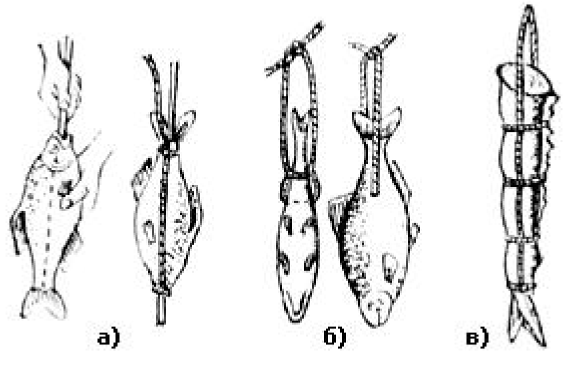


Рис. 2 - Варіанти обв’язування риби для гарячого копчення

Тепер можна коптити рибу. На дно відра або бочки завантажується суміш вільхових або інших чурок з додаванням ялівцю, а на гратах з металевого дроту в середній і верхній частині посудини розміщується риба, більша, - внизу. Вона укладається нещільно в один шар. Обв’язування, виконане суворим шпагатом(синтетику не застосовувати!) не знімають. Під бочкою розводять вогнище і по можливості щільно закривають її кришкою або металевим листом. Через 30...60 хвилин залежно від розміру риби і коптильні дим з-під кришки стає сухим і придбаває характерний аромат. Остаточно готовність визначається за зовнішнім виглядом риби, золотисто-чайному кольору і сухій поверхні шкірки. При цьому коптильню можна відкривати лише на дуже короткий час, щоб не загорілися цурки із-за доступу повітря.

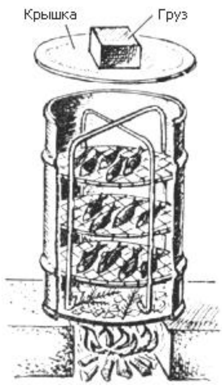


Рис. 3 - гаряче копчення у бочці

У бочці можна розташувати рибу не трьох-чотирьох сітках.

Температура усередині бочки близько 80 при тій, що підсушила, яка складає приблизно чверть часу, і близько 100 при безпосередньому копченні. В результаті цього процесу відбувається згортання білків, руйнування малостійких органічних сполук, втрачається частина азотистих речовин разом з вологою, витоплюється жир.

Визначити температуру досить просто - досить плеснути на кришку воду. Якщо вода не кипить, а просто випаровується, - режим копчення витримується правильно.

Готове блюдо не може зберігатися довго, його потрібно вживати впродовж двох-трьох діб.

Холодне копчення. Холодне копчення більше трудомістке. Потрібно споруджувати спеціальну коптильню, довше просолювати рибу, і сам процес займає від двох до трьох діб.

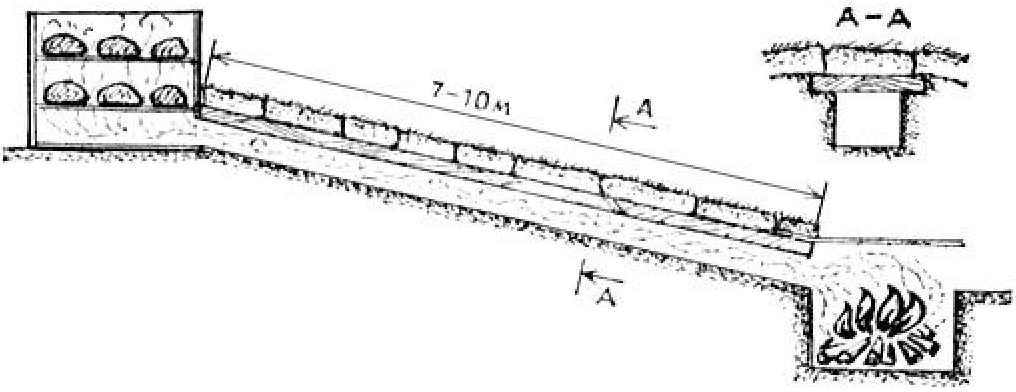


Рис. 4 - Холодна коптильня

Канавка-димар робиться приблизно 100 Ч 100 або 150 Ч 150 мм. Згори вона закривається дошкою і дерном. Внизу - ямка для вогнища. Згори - ящик для копчення.

Облаштування простої коптильні ясне з малюнка. Оптимальна довжина похилого димаря має бути не менше 7...10 метрів. Якщо на ділянці є льох, можна використати його, немає - доведеться влаштувати штучний насип.

Свіжу рибу солять впродовж п'яти діб, розморожену - удвічі довше. Причому рибу, укладену в лотки, додатково посипають сіллю. Довше триває і отмочка - 4...6 і більше годин. Після цього риба обв'язується і пров'ялюється протягом доби. Температура диму в коптильні має бути не більше 35 . Після копчення рибу можна підв'ялити протягом доби - це збільшить термін зберігання.

При холодному копченні риба втрачає значну частину вологи і просочується, як би консервується, димом від вогнища. І ще одне доповнення: чим більше солі в рибі, тим нижчою має бути температура.

Напівгаряче копчення. Для нього годиться риба з терміном засолювання більше доби, вимочування може бути проведене «на око». Як коптильня використовувалася звичайна залізна піч « буржуйка» з парою додаткових колін на трубі, щоб температура диму була в районі 50...60 . Піддувало прикривалося для забезпечення жевріння в топці, а риба розвішувалася в деякому видаленні від зрізу труби в зоні змішування диму з повітрям. Для копчення досить одного світлового дня. Смак риби дещо незвичайний, а зовнішній вигляд і аромат ближче до гарячого копчення. Ця технологія нині широкого поширення не отримала, але цікава по своїй простоті і великим можливостям для експериментування.

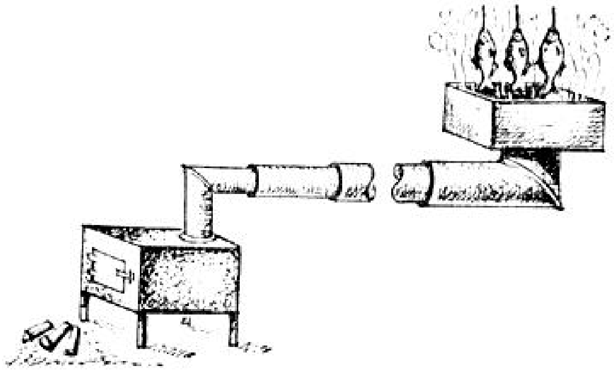


Рис. 5 - Піч-буржуйка для напівгарячого копчення

Про деревину. Кращі дрова для копчення - вільха і ялівець. Але останній у багатьох районах став рідкістю і потребує охорони. Тому при заготівлі обламуйте акуратно лише сухі гілочки, до того ж сирі все одно не годяться. Досить всього декілька гілочок цієї чудової рослини, щоб надати рибі і золотистий колір, і неповторний аромат.

Якщо немає вільхи, можна використати суху деревину будь-яких твердих порід : дуба, ліщини, ясена, клена, яблуні, груші, вишні, сливи; з берези обов’язково потрібно зняти кору - в ній міститься дьоготь. Ні в якому разі не можна застосовувати сосну, ялину, кедр - в них багато смоли. Деревину потрібно обов’язково подрібнити на невеликі чурочки або тріски по 4...6 сантиметрів. При копченні можна і навіть треба використати і тирсу. Чурочки, гілки і тирса насипаються на дно бочки рівним шаром. Вони почнуть тліти і виділяти дим, як тільки прожариться днище бочки або відра від вогнища, розлученого внизу.

Декілька слів про саме вогнище. При копченні риби він має бути невеликим, але давати багато жару - дрова можна вибирати будь-хто. Підтримувати вогнище, що горить рівно тривалий час, - мистецтво, яке отримується тільки власним досвідом. Але від цього досвіду залежить якість приготованої копченої риби.

Бездимне або мокре копчення - це копчення коптильними препаратами, які є екстрактами продуктів термічного розкладання деревини, піддані спеціальній обробці.

Бездимне копчення грунтоване на застосуванні коптильних препаратів. Воно може здійснюватися або шляхом занурення риби або м'ясної продукції в розчин коптильної рідини з подальшою термічною обробкою, або в процесі термічної обробки середовищем з коптильної рідини, що мілкодиспергированної або пароподібної. У першому випадку попадання коптильних компонентів в м'ясо відбувається дифузійним шляхом, в другому - по аналогії із звичайним димовим копченням.

До безперечних переваг нової прогресивної технології бездимного копчення в порівнянні із застарілими способами виготовлення копчених продуктів, коли використовується деревний дим, відносяться:

- збільшення продуктивності і поліпшення санітарно-гігієнічних умов праці працюючих на коптильних підприємствах;
- можливість порівняно простого рішення екологічних проблем, що неминуче виникають при виготовленні копченини за старою технологією;
- ліквідація димогенераторних підрозділів при відчутній економії електроенергії і деревини;
- підвищення рентабельності коптильних виробництв;
- реальні можливості швидкого розширення асортименту різноманітних копчених виробів з м'яса і риби по простій, повної механізації технології (наприклад, при введенні спеціалізованих коптильних препаратів в напівфабрикати, при виготовленні консервів, структурованих і формованих продуктів сиру та ін.), що піддається;
- можливість використання принципу маловідходної технології в коптильному виробництві і так далі

А також можливість робити копчену продукцію, що не відрізняється за своїми властивостями від продуктів димового копчення, але що не містить шкідливих домішок(канцерогенні і токсичні речовини).

Змішане або комбіноване копчення є поєднанням димового і мокрого копчення. При цьому способі м’ясо, заздалегідь оброблене коптильним препаратом, докопчують деревним димом.

Дим. Його властивості і недоліки. Дим - типовий аерозоль, що утворюється в результаті часткової конденсації газоподібних продуктів термічного розкладання різного деревного матеріалу. Як всякий аерозоль, дим складається з двох частин: краплиннорідкої (дисперсною) фази і газу(дисперсійне середовище). При цьому до краплиннорідкої фази, як правило, відносяться досить великі частки смоли і сажі, а також леткої золи. Для обробки рибних і м’ясних продуктів застосовують так званий «технологічний дим» - дим, що має певні фізичні, фізико-хімічні і хімічні характеристики. Якість диму можна визначити шляхом оцінки якості готової продукції. Проте це непряма оцінка, оскільки вплив на якість готової продукції роблять також хімічний склад сировини і технологічні режими(параметри) обробки.

Технологічні властивості диму залежать від його хімічного складу і передусім від міри насичення ароматичними речовинами. Під час копчення численні компоненти диму потрапляють в оброблюваний продукт і забезпечують його консервацію, ароматизацію і потрібне забарвлення. Передбачається, що в цих процесах повинні брати участь лише 10% з 5000 компонентів, реєстрованих в димі.

Нині ідентифіковані більше 200 хімічних сполук диму, що беруть участь в процесі копчення. До них відносяться в основному коптильні компоненти фенольної групи, карбонільні з’єднання(альдегіди і кетон), кислоти, похідні фурану, лактонов, поліциклічних ароматичних вуглеводнів, спиртів і ефірів.

Якнайповніше досліджена роль(в процесі надання продукту специфічних властивостей) трьох груп органічних речовин : фенолів, кислот і карбонільних з’єднань.

Фенольні з’єднання диму сприяють в основному формуванню аромату і смаку копченої у оброблюваного продукту.

Встановлено, що виразність аромату копченій на 66% пов’язана з присутністю в продукті фенолів, тоді як роль карбонільних з’єднань в цьому обмежується: 14 і 20% доводиться на усі інші коптильні компоненти.

Серед численних фенолів дослідники виділяють окремих представників цього класу, на їх думку, найактивніше сприяючих утворенню аромату і смаку копченої.

Вважається, що такими «активними компонентами» з фенольних з’єднань є гваякол, 4-метилгваякол і 2,6-диметоксилол(сирингол). Проте аромат композиції, складений тільки з цих трьох фенолів, що змішуються в тих же пропорціях, в яких вони виділені з конденсату диму, лише дуже віддалено нагадував димовий аромат початкового конденсату.

Окрім гваяколу, метилгваяколу і сирингола в процесі формування аромату продукту беруть активну участь такі фенольні з’єднання, як евгенол, крезоли, ксиленоли і ряд інших речовин.

У копченій рибі, обробленій димом або коптильним препаратом, домінують метилгваякол, потім гваякол, фенол і крезоли. Постійна присутність гваяколу в копчених виробах, на думку учених, робить можливою використати його в якості «індексу копчення».

Проте, запах розчинів, приготованих з фенолів, раніше ідентифікованих в конденсатах диму, відрізнявся від початкових димових конденсатів по відтінках і інтенсивності. Це дає основу вважати, що для повного відтворення аромату потрібні окрім фенолів інші хімічні сполуки, сприяючі в якійсь мірі формуванню запаху копченої.

Аромат копчення посилюється і придбаває найбільш виразний характер при додаванні до фенольної композиції карбонільних з’єднань і інших хімічних речовин. Встановили, наприклад, що активну участь в утворенні аромату копчення беруть такі органічні речовини, як фуран і лактони, а також що створюють специфічний запах оксиметилциклопентанол і мальтол. Поєднання фенольних з’єднань обумовлює добре виражений аромат копчення без яких-небудь сторонніх відтінків. У разі поєднання фенольної фракції з карбонільними з’єднаннями виникає виразно виражений аромат копчення з пряними відтінками. Так само сильно виражений аромат копчення з відтінками паленого цукру при з’єднанні в одну композицію фенолів, карбонільних і не карбонільних речовин.

Карбонільні з’єднання посилюють частково аромат копченої, але основна їх роль в процесі копчення полягає в утворенні характерного забарвлення. Механізм утворення кольору, являє собою серією не ферментних реакцій, подібних до реакцій Майара, з тією лише різницею, що продукти реакцій, дегідровані ефірні вуглеці, що виникають в процесі генерації диму, придатні для прямого контакту з аміногрупами білків продуктів.

Карбонільні з’єднання, переважаючі в коптильному димі і вступаючі у взаємодію з білком, - це формальдегід, гліоксаль, фурфурол, ацетон, оксиацетон, діацетон, гліколевий альдегід і метилгліоксаль, причому два останніх характеризуються як що беруть активну участь в реакції утворення кольору. Встановлено також, що гліоксаль і кротоновий альдегід при взаємодії з розчинами амінокислот сприяють виникненню інтенсивного забарвлення, діоксиацетон і ацетоальдегид помірно активні, а формальдегід і ацетон взагалі не беруть участі в цій реакції.

Порівняно недавно в димі за допомогою мас-спектрометра ідентифіковані кониферовый і санапалевый альдегіди. Ці хімічні речовини реагують з білком продукту, надаючи йому помаранчевий відтінок, характерний для копчених виробів. Розвиток забарвлення продукту пов’язаний із зростанням карбонільних груп, вступаючих у взаємодію з білком продукту. Інтенсивність забарвлення залежить від ряду чинників, таких, як, наприклад, pH середовища, t і так далі. Забарвлення продукту посилюється під дією світла і кисню, зі зміною pH середовища в лужну сторону, з підвищенням температури робочого середовища і тривалістю її дії на досліджуваний об’єкт.

Реакція покоричневения під дією карбонільних з’єднань супроводжується і небажаним ефектом - деградацією(руйнуванням) амінокислот білку.

Відмічено зменшення кількості амінокислот, і зокрема лізину у білці продукту, що викоптився димом або обробленого коптильними препаратами.

Леткі кислоти(С1-С6), присутні в димі і коптильних препаратах, грають в основному допоміжну роль, сприяючи в комплексі з фенолами і карбонільними з'єднаннями створенню у оброблюваного продукту певних смакових властивостей.

Особливості і недоліки копчення.

Позитивні сторони копчення добре відомі: за допомогою цього широко поширеного технологічного прийому при виготовленні різноманітної продукції з риби і м'яса отримують не лише продукти, що мають особливі привабливі смакові властивості, але і вироби(раніше усього холодного копчення), яким властива підвищена стійкість до

окислювальним і мікробіальним змінам при зберіганні. В той же час традиційне копчення, тобто обробка підготовлених напівфабрикатів безпосередньо деревним димом, має ряд недоліків.

Одним з таких недоліків є трудність отримання партій однорідної готової продукції. Частково це пов'язано з неможливістю генерації однорідного і стабільного по складу коптильного диму, оскільки в димогенераторах будь-яких конструкцій і температура, і інші умови утворення диму в локальних зонах термічного розкладання органічної маси деревини(тирса, тріска, стружки, цурки, дрова) безперервно змінюються, тому в цілому виникнення власне коптильного диму значною мірою носить хаотичний характер.

Іншим істотним недоліком копчення за допомогою деревного диму є наявність в димі канцерогенних і токсичних речовин, шкідливих для здоров'я людини(ці речовини відносяться до поліциклічних ароматичних вуглеводнів, в числі яких 3,4-бензпирен, що проявляє найбільшу канцерогенну активність).

Коптильні препарати і ароматизатори не мають такого недоліку, оскільки при їх виробництві використовуються методи, що виключають попадання шкідливих речовин в кінцевий продукт.

1.1. Постановка задачі

Копчення можна розглядати, як процес динамічної адсорбції компонентів коптильного диму на поверхні продукту й природною наступною дифузією їх у масу продукту за рахунок різниці концентрацій на поверхні та у товщі продукту. Процес копчення - довільний, тривалий, трудо-енергоємний. Тривалість процесу призводить до необхідності використання коптильних камер, і, як наслідок - створення систем автоматичного керування, які дозволяють контролювати температуру всередині камери, вологість і час тривалості обробки продукту на кожній стадії процесу. Керування закриттям і відкриттям регулювальних клапанів (шиберів) подачі води й диму в камеру проводиться в ручному режимі. Параметри обробки перед початком кожної стадії процесу вводяться на пульт САК.

2. Характеристика коптильних камер

У наш час на ринку вітчизняного устаткування представлений досить широкий спектр коптильно–варочних камер з різними технічними параметрами й конструктивними особливостями, що значною мірою впливають на їхню вартість. Зупинимося на деяких з них.

Універсальні коптильно-варочні камери «КТД», що виготовляються в м. Александрові Володимирської області (РФ), представлені на ринку у широкому асортименті й різних модифікаціях. Добре зарекомендували себе, як якісне недороге устаткування, що дозволяє серйозно скоротити грошові витрати на відкриття власного виробництва. По максимальному одночасному завантаженню камери «КТД» випускаються в чотирьох варіантах: на одну раму - 100, 250, 300кг; на дві рами - 500 кг. По виконанню випускаються в трьох варіантах:

- повністю з вуглицевої сталі;
- комбінована (зовнішня поверхня з вуглицевої сталі, внутрішня - з нержавіючої сталі);
- повністю з нержавіючої сталі.

Крім того, можливе виготовлення під замовника сбірно-разбірних варіантів цих термокамер. Камери «КТД» комплектуються системою автоматичного керування (САК), трубопроводами, димогенератором і димоохолоджувачем, об’єднаними в один моноблок.

За бажанням замовника рами можуть поставлятися окремо в будь-якій кількості. Універсальність термокамер серії «КТД» заключається в тому, що термообробці можна піддавати - м’ясо, птаха, рибу й навіть ковбасні сири, а також проводити як «гаряче», так і «холодне» копчення.

За рівнем ціни і якості ринок устаткування містить у собі величезний спектр різних універсальних коптильно-варочних термокамер, які можуть бути оснащені автоматичною системою керування, що дозволяє управляти процесом шляхом натискання однієї клавіші від початку обробки до виходу охолодженої готової продукції.

2.1. Опис процесу копчення

Якість копченої риби залежить від підготовки риби до копчення, щільності диму й температурного режиму, процесу копчення.

На рисунку 6 наведені наступні діаграми:

• температурного режиму процесу копчення;

• режиму керування заслінкою рециркуляції;

• режиму керування витяжним вентилятором.

Процес складається із чотирьох етапів. На першому етапі витримується температура *t* = 19–20 °С, при цьому повністю відкрита заслінка рециркуляції, керована регулятором. Включають витяжку для усунення вологи з печі й легкого підсушування риби перед копченням. Дим на першому етапі не подається. Тривалість першого етапу становить 0,5-2 години.

При переході на другий крок температура встановлюється на 2–3 °С вище, витяжний вентилятор відключається й заслінка рециркуляції прикривається до 20 %. Відсоток відкриття заслінки рециркуляції залежить від обсягу печі, матеріалу тирси (гарним матеріалом для копчення є яблуня, груша, вільха), щільності диму.

Третій етап аналогічний другому. Тобто температура встановлюється ще на 2–3 °С вище, витяжний вентилятор відключений, заслінка рециркуляції прикрита.

Після третього етапу припиняється подача диму, відкривається заслінка рециркуляції й включається витяжний вентилятор на час від 0,5 до 1 години, для того, щоб видалити вологу, що залишилася, і продовжити копчення.

По закінченні процесу всі механізми й димогенератор відключаються.

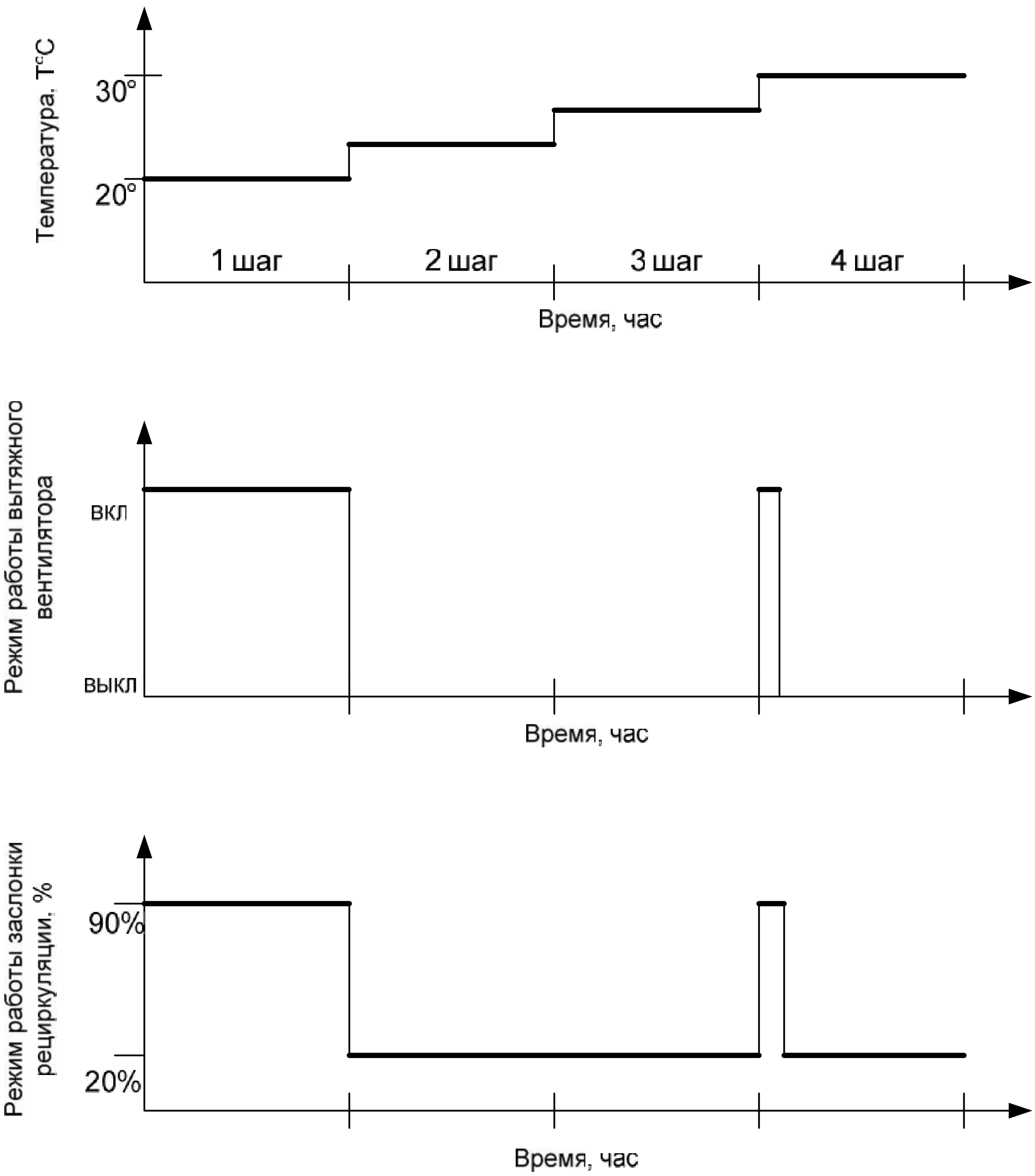


Рис. 6 - Технологічні діаграми

2.2. Технічні вимоги до систем автоматизації процесу копчення

Якість кінцевого продукту залежить від попередньої підготовки риби, щільності диму й дотримання необхідного температурного режиму. Для різних видів риби (залежно від її розміру, сорту, жирності й т.п.), використовуються режими обробки, що відрізняються по температурі, вологості й тривалості.

Процес гарячого копчення риби буває, як правило, двоступеневим: спочатку здійснюється підсушування теплим повітрям при температурі 50 - 90

°C протягом 30 хвилин, потім копчення гарячим димом при 80 - 120 °C від 0,5 до 3 годин. Для одержання якісного продукту на всіх етапах технологічного циклу необхідно дотримувати строго певної температури й вологості в коптильній камері.

Внаслідок чого можна виділити наступні технічні вимоги до систем автоматизації:

- простота реалізації;
- наявність декількох технологічних програм, для забезпечення різних режимів копчення;
- простота експлуатації;
- точність регулювання температури й вологості;
- зменшення енерговитрат на виробництво шляхом автоматизованого регулювання технологічного процесу.

2.3. Аналіз варіантів існуючих систем

Ринок рибних продуктів України – один з найбільших що динамічно розвиваються й перспективних і характеризується незмінно зростаючим купівельним попитом. Це цілком з'ясовано, тому що крім безсумнівних смакових достоїнств рибопродукти мають величезну біологічну цінність: риба містить безліч корисних мікроелементів, білки легко засвоюються організмом людини, риб'ячий жир містить у собі велика кількість незамінних поліненасичених кислот.

Багатство водних ресурсів нашої країни дозволяє значно розширити асортименти рибопродуктів. Щоб провадити продукт відмінної якості й при цьому домогтися відчутного зниження собівартості, необхідно активно впроваджувати сучасні засоби автоматизації.

Для автоматизації процесу копчення в камерах виготовлення рибних делікатесів широко використається універсальний двоканальний програмний ПІД - регулятор ОВЕН ТРМ151. Він дозволяє періодично включати жалюзі систем вентиляції, а також регулювати роботу систем нагрівання й подачі диму (Рис. 4). ТРМ151 має два універсальних входи, до яких можна підключати датчики різного типу: термоперетворювачі опору, термопари, датчики з вихідним сигналом струму, напруги або датчики положення заслінки. ПІД - регулятор ТРМ151 стандартної конфігурації має два вихідних програмних модулі - регулятори, кожний з яких працює по двопозиційному (ON/OFF) або по ПІД - закону регулювання.

У регуляторі ТРМ151 передбачена можливість створення до дванадцяти незалежних програм (так званих програм технолога) по десять кроків кожна. Для кожного кроку програми задаються відповідні установки, параметри регулювання й умови переходу на наступний крок. За допомогою програми технолога регулятор ТРМ151:

• здійснює автоматичний запуск і відключення виконавчих механізмів;

• підтримує температуру на всіх етапах обробки (плавне нагрівання, витримку й повільне охолодження);

• установлює в камері необхідні значення вологості шляхом керування витяжкою;

• контролює подачу диму для копчення.

ТРМ151 забезпечує безпеку й безперервність процесу копчення риби, контролюючи працездатність вимірювальної техніки (перевірка на обрив, замикання й т.п). При цьому ТРМ151 аналізує критичність стану всієї системи автоматизації: у випадку, якщо відбувся збій у роботі датчика, не задіяного безпосередньо в поточному кроці, прилад не зупиняє виконання програми, а тільки сигналізує про несправності. Якщо ж відбувається поломка необхідного на даному етапі вимірювача, то ТРМ151 зупиняє поточну програму технолога, при цьому, щоб уникнути більш серйозних поломок, всі вихідні пристрої відключаються. Коли несправність усунуто, продовжити процес можна з кожного з десяти кроків програми, що використовується.

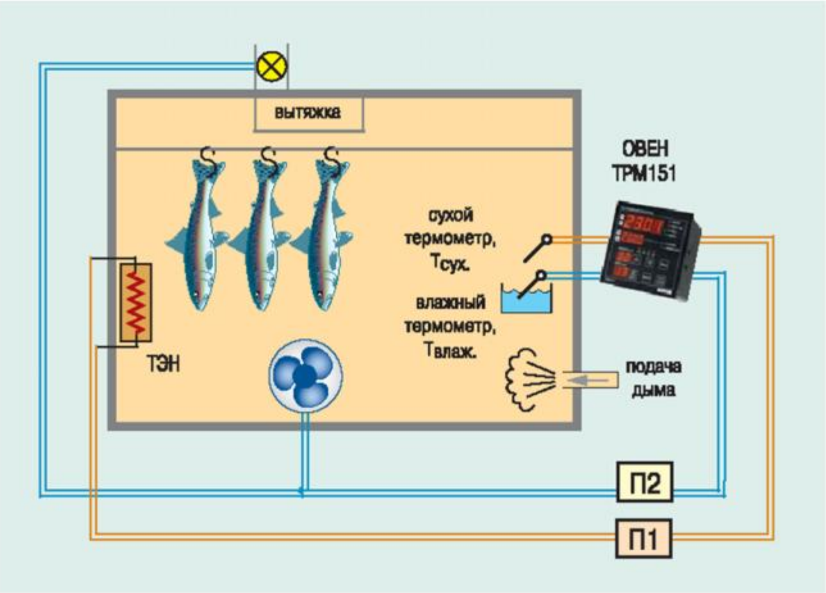


Рис. 7 - Схема установки гарячого копчення риби з використанням ОВЕН ТРМ151 (П1, П2 - пускачі)

2.4. Особливості управління температурою й вологістю

Регульованими параметрами технологічного мікроклімату в чистих приміщеннях є температура й вологість повітряного середовища, значення яких повинні підтримуватися в чітко заданих діапазонах. Складність регулювання й стабілізації цих параметрів заключається в їхньому взаємозв’язку, коли зміна одного з них викликає зміну іншого. Для рішення цього завдання необхідно спільне застосування регуляторів температури й вологості повітря, при цьому дія регулятора вологості зводиться до цілеспрямованої зміни вологості повітря з тим, щоб компенсувати зміну вологості, викликану роботою регулятора температури повітря.

Очевидно, що при спільній роботі регуляторів виникають коливання в процесі зміни вологості, викликані впливом контуру регулювання температури, що погіршує показники якості стабілізації відносної вологості й може привести до нестійкої роботи контуру регулювання вологості. Це явище можна усунути, використовуючи принцип пріоритетності регулювання температури й вологості, відповідно до якого температурному контуру, як більш інерційному, віддається перевага в черговості виконання регулювання. Після того як температура в приміщенні досягла заданого значення, проводиться регулювання вмісту вологи в повітрі.

При рішенні завдань контролю й управління режимами температури й вологості у приміщеннях досить великого об’єму зазвичай використовують системи багатоланкового кондиціювання повітря, утворених центральним кондиціонером і рядом місцевих регулюючих органів, що здійснюють доведення параметрів повітря, що надходить, в окремих приміщеннях до необхідних значень, зумовлених внутрішнім виділенням тепла у кожному приміщенні.

При тому бажано управляти по середньому в обсязі зони значенню відповідного параметра мікроклімату, а не за значенням в одній точці зони. Для цього в просторі кожної зони необхідно встановити не один, а кілька датчиків (залежно від обсягу даної зони). На підставі інформації цих датчиків розраховується середнє значення регульованого параметра, по якому проводиться керування відповідним виконавчим механізмом. Оскільки регулювання ведеться по відхиленню, доцільно використовувати не середнє значення регульованого параметра, а середнє значення його відхилення від потрібного значення в даній точці простору.

2.5. Методи й засоби вимірювання вологості

Вологість і вміст молекул води в речовинах і матеріалах є одним з найбільш важливих характеристик складу. Вже вказувалося, що вологу необхідно вимірювати в газах (концентрація парів води), у сумішах рідин (власне вміст молекул води) і у твердих тілах у якості кристалізаційної вологи, що входить до структури кристалів. Відповідно, набір методів і пристроїв для вимірювання вмісту молекул води в матеріалах виявляється досить різноманітним.

Традиції вимірювальної техніки, що спираються на повсякденний досвід, привели до того, що у вимірах вологості склалася специфічна ситуація, коли залежно від впливу кількості вологи на ті або інші процеси необхідно знати або абсолютне значення кількості вологи в речовині, або відносне значення, обумовлене як процентне відношення реальної вологості речовини до максимально можливого в даних умовах. Якщо необхідно знати, наприклад, зміну електричних або механічних властивостей речовини, у цьому випадку визначальною є абсолютне значення вмісту вологи. Те ж саме стосується вмісту вологи в нафті, у продуктах харчування й т.д. У тому випадку, коли необхідно визначити швидкість висихання вологих об'єктів, комфортність середовища перебування людини або метеорологічну обстановку, на перше місце виступає відношення реальної вологості, наприклад повітря, до максимально можливого при даній температурі.

У зв'язку із цим характеристики вологості, а також величини й одиниці вологості підрозділяються на характеристики стану вологості та вологовмісту.

Вологовміст - величини й одиниці, що виражають реальну кількість вологи в речовині. Основною характеристикою вологовмісту є абсолютна вологість, обумовлена як кількість вологи в одиниці об'єму:

$$A = \frac{M_{H_2O}}{V}.$$

До цього класу характеристик можна віднести парціальний тиск водяних пар у газах, абсолютну концентрацію молекул води для газу, близького до ідеального, обумовлену як:

$$n_{H_2O} = n_0 \cdot \frac{p_{H_2O}}{p_0} \frac{T_0}{T} \left(1/\text{см}^3 \right),$$

де T – абсолютна температура, n_0 – постійна Лошмідта, рівна числу молекул ідеального газу в 1 $см^3$ при нормальних умовах, тобто при p_0= 760 Торр= 1015 Гпа й T_0 = 273,1б К. Часто використається така характеристика абсолютної вологості як точка роси, тобто температура, при якій дана абсолютна вологість газу стає 100%. Ця характеристика привнесена в гігрометрію метеорологам і, оскільки є найбільш характерною при визначенні моменту випадання роси й визначення її кількості.

Стан вологості - процентне співвідношення, рівне відношенню абсолютної вологості до максимально можливого при даній температурі:

$$\varphi\% = \frac{A}{A_{нас}} \cdot 100.$$

Відносна вологість може характеризуватися так званим дефіцитом парціального тиску, рівного відношенню парціального тиску вологи до максимально можливого при даній температурі. Дуже рідко в гігрометричних вимірах можна зустріти дефіцит точки роси.

Зв’язок між температурою й максимально можливою абсолютною вологістю дається як рівняння пружності насиченої пари води. Це рівняння має вигляд:

$$\log \rho_{мг} = A + B \log \frac{1}{T} + C \log T.$$

На практиці частіше користуються таблицею тиску насиченої пари над пласкою поверхнею води або льоду при різних температурах.

На стандартних довідкових даних засновані практично всі перерахунки характеристик вологості. На їхній основі можна, наприклад, по відомій абсолютній вологості й температурі знайти відносну вологість, точку роси й т.д., виразити практично будь-яку характеристику вологості газів.

Серед приладів для виміру вологості найбільш масовими є прилади для визначення вмісту води в газах - гігрометри. Для виміру вологості твердих і сипучих тіл найчастіше використаються ті ж гігрометри, тільки процес підготовки проби до аналізу містить у собі переведення вологи в газову фазу, що потім і аналізується. Існують у принципі методи безпосереднього виміру вмісту вологи в рідинах і у твердих тілах, наприклад, методом ядерного магнітного резонансу. Прилади, побудовані на такому принципі, досить складні, дорогі й вимагають високої кваліфікації оператора.

Гігрометри як самостійні прилади є одними із самих затребуваних вимірювальних приладів, оскільки з давніх часів їх потребували метеорологи. По зміні вологості, також як по зміні тиску й температури, можна прогнозувати погоду, можна контролювати комфортність життєзабезпечення в приміщеннях, контролювати різного роду технологічні процеси. Наприклад, контроль вологості на електростанціях, на телефонних станціях, на поліграфічному виробництві й т.п. є визначальним у забезпеченні нормального режиму функціонування.

Затребуваність гігрометрів породила розробки й виготовлення великої кількості різних типів приладів. Більшість вимірювачів вологості являють собою датчики вологості з індикатором або аналогового сигналу, або сигналу в цифровій формі. Оскільки індикаторами є здебільшого або механічні прилади, або електровимірювальні прилади, розглянуті в попередніх розділах, зупинимося на датчиках вологості, що визначають майже всі функціональні можливості гігрометрів.

Датчики гігрометрів можна класифікувати за принципом дії на наступні типи:

- волосяні датчики, у яких використається властивість волосся змінювати довжину при зміні вологості;
- ємнісні датчики, у яких при зміні вологості змінюється електрична ємність конденсатора з гігроскопічним діелектриком;
- резистивні датчики, у яких змінюється опір провідника, на поверхню якого нанесений гігроскопічний шар;
- п’єзосорбційні датчики, у яких волога, поглинена гігроскопічним покриттям, змінює власну частоту коливань п’єзокристалу, на поверхню якого нанесений гігроскопічний шар;
- датчик температури точки роси, у якому фіксується температура, що відповідає переходу дзеркального відбиття металевою поверхнею в дифузійне;
- оптичний абсорбційний датчик, у якому реєструється частка поглиненої енергії світла в смугах поглинання парами води електромагнітного випромінювання.

Найбільш древній, найбільш простий і найбільш дешевий датчик вологості являє собою звичайне волосся, натягнуте між двома пружинами. Для виміру вологості використається властивість волосся змінювати довжину при зміні вологості. Незважаючи на примітивність такого датчика і на те, що процес, що лежить в основі виміру, не визначається законами фізики й тому не піддається розрахунку, гігрометри з волосяними датчиками виготовляють у великій кількості.

Ємнісні датчики вологості в цей час по масовості використання конкурують і навіть перевершують волосяні, оскільки по простоті й дешевизні вони не поступаються волосяним. Вимірюваною фізичною величиною є ємність конденсатора, а це означає, що як індикатор або вихідний прострій може використатися будь-який вимірювач ємності. На підкладку із кварцу наноситься тонкий шар алюмінію, який є однієї з обкладок конденсатора.

На поверхні алюмінієвого покриття утворюється тонка плівка окису Al_2O_3. На окислену поверхню за допомогою напилювання наноситься другий електрод з металу, що вільно пропускає пари води. Такими матеріалами можуть бути тонкі плівки палладію, родію або платини. Зовнішній пористий електрод є другою обкладкою конденсатора.

Конструкція резистивного датчика вологості являє собою меандр із двох не дотичних електродів, на поверхню якого нанесено тонкий шар гігроскопічного діелектрика. Останній, сорбуючи вологу з навколишнього середовища, змінює опір проміжків між електродами меандру. Про вологість судять по зміні опору або провідності такого елемента.

Останнім часом з'явилися гігрометри, в основу роботи яких покладено фундаментальний фізичний закон поглинання електромагнітного випромінювання – закон Ламберта-Бугера-Бера. Відповідно до цього закону через шари речовини, що поглинає або розсіює, проходить електромагнітне випромінювання інтенсивністю I_λ, рівне:

$$I_\lambda = I_0 \, e^{-\delta_\lambda N l},$$

де I_λ – інтенсивність випромінювання, що падає на поглинаючий стовп; N – концентрація поглинаючих атомів (число молекул в одиниці об'єму); l – довжина поглинаючого стовпа, δ_λ - молекулярна константа, рівна площі «тіні», створеної одним атомом і вираженої у відповідних одиницях.

Пари води мають інтенсивні смуги поглинання в інфрачервоній області спектра і в області довжини хвиль від 185 нм до 110 нм – у так званій вакуумній ультрафіолетовій області. Є окремі розробки по створенню інфрачервоних і ультрафіолетових оптичних вологомірів, і всі вони мають одну загальну позитивну якість – це вологоміри миттєвої дії. Під цим розуміється рекордно швидке встановлення аналітичного сигналу для проби, поміщеної між джерелом світла й фотоприймачем. Інші особливості оптичних датчиків визначаються тим, що в інфрачервоній області поглинання молекулами води відповідає обертально-коливальним ступеням свободи. Це означає, що ймовірності переходів, і, відповідно, перетину поглинання в законі Ламберта-Бугера-Бера залежать від температури об'єкта. У вакуумній ультрафіолетовій області перетин поглинання від температури не залежить. Із цієї причини ультрафіолетові датчики вологості є кращими, але інфрачервона техніка, що використається в ІЧ датчиках вологості, більш довговічні й прості в експлуатації, ніж ВУФ техніка.

У оптичних датчиків є також один загальний недолік - вплив на показаники компонентів, що заважають. В інфрачервоній області це різні молекулярні гази, наприклад окису вуглецю, сірки, азоту, вуглеводню й т.д. У вакуумному ультрафіолеті основним компонентом, що заважає є кисень. Проте можна вибрати довжини хвиль у ВУФ, де поглинання кисню є мінімальним, а поглинання пари води - максимальним. Наприклад, зручною областю є випромінювання резонансної лінії водню з довжиною хвилі А, = 121,6 нм. На цій довжині хвилі в кисні спостерігається «вікно» прозорості в той час, як пари води помітно поглинають. Іншою можливістю є використання випромінювання ртуті з довжиною хвилі 184,9 нм. У цій області кисень випромінювання не поглинає і весь сигнал поглинання визначається парами води.

Важливою якістю оптичного датчика є слідування із закону Ламберта-Бугера-Бера, що заключається в тому, що такий датчик потрібно калібрувати тільки в одній точці. Якщо, наприклад, визначити сигнал із приладу при якій-небудь одній певній концентрації пари води, то відградуювати шкалу приладу можна розрахунковим шляхом на тій підставі, що зміна логарифма сигналів при різних концентраціях дорівнює:

$$\Delta \lg I = (\lg I_0 - \lg I_\lambda) = \delta_\lambda N l ,$$

де N – концентрація (число) молекул в одиниці об'єму; δ_λ - перетин поглинання, I - довжина поглинаючого проміжку.

Для визначення відносної й абсолютної вологості на практиці часто використовуються прилади, що одержали назву психрометрів. Психрометри являють собою два однакових термометри, один із яких обертають гнітом і змочують водою. Мокрий термометр показує температуру нижчу, ніж сухий термометр у тому випадку, якщо відносна вологість не дорівнює 100%. Чим нижче відносна вологість, тим більше різниця показань сухого й мокрого термометрів. Для психрометрів різних конструкцій складаються так звані психрометричні таблиці, за допомогою яких визначають характеристики вологості.

Психрометр не дуже зручний в експлуатації, оскільки його показання не просто автоматизувати, і потрібне постійне зволоження ґнота. Проте саме психрометр є найпростішим і разом з тим досить точним й надійним засобом виміру вологості. Саме по психрометру найчастіше градуюються гігрометри з волосяними, ємнісними або резистивними датчиками.

На закінчення коротко зупинимося на методах виміру вологості рідин і твердих матеріалів. Найпоширенішим є метод висушування або випарювання вологи з речовини з наступним зважуванням. Звичайно пробу висушують доти, поки не перестане змінюватися її вага. При цьому зазвичай робиться два припущення. Перше – що вся сортована й хімічно зв'язана волога при обраному режимі випаровується. І друге – що разом з вологою не випаровується ніякий інший компонент. Очевидно, що в багатьох випадках гарантувати коректність виконання процедур випарювання дуже складно. Іншим універсальним методом виміру вологості рідких і твердих тіл є метод, коли волога з них переходить у газову фазу в якому-небудь замкнутому об'ємі. У цьому випадку стандартизують методику підготовки проби, а вимірювання проводять одним зі згаданих типів гігрометрів, призначених для вимірювання вологи в газовій фазі. З метою одержання надійних результатів такі пристрої калібрують по стандартних зразках вологості.

Вимірювання вологості психрометричним вологоміром.

Вологість газів, рідин і твердих матеріалів - один з важливих показників у технологічних процесах. Вологість газів, наприклад, необхідно вимірювати в сушильних установках, при очищенні газів, у газозбірниках, при кондиціюванні повітря й т.д. Вимірювання вмісту води в нафті, спиртах, ацетоні проводять у процесах нафтопереробки й нафтохімії, у пульпах - у виробництві сірчаної кислоти й мінеральних добрив. Вимірювання вологості твердих сипучих матеріалів займає важливе місце у виробництві фарб, мінеральних добрив, будівельних матеріалів; вологість волокнистих матеріалів визначає якість продукції при виробництві паперу й картону.

Вологість газів у технологічних процесах звичайно вимірюють психрометричним методом.

Дія психрометричних вологомірів заснована на вимірі двох температур: температури «сухого» термодатчика, поміщеного в аналізований газ, і температури «мокрого» термодатчика, загорненого в панчоху з вологої тканини, кінець якого опущений у воду. За рахунок випару води цей термодатчик прохолоджується до температури меншої, ніж температура газу. Зі збільшенням вологості газу випар іде менш інтенсивно і температура «мокрого» термометра зростає. При вологості 100% вода взагалі не буде випаровуватись і температури обох термодатчиків зрівняються.

В промислових вологомірах у якості термодатчиків зазвичай використовують термометри опору, включені у схему для вимірювання відношення їхніх опорів, тобто відношення температур «мокрого» і «сухого» термометрів.

3. Математична модель об’єкта керування

3.1. Визначення математичної моделі об’єкта керування

У даній роботі розглядається камера для копчення риби. Функціональна схема камери як об’єкта управління може бути представлена в такий спосіб (Рис. 8).

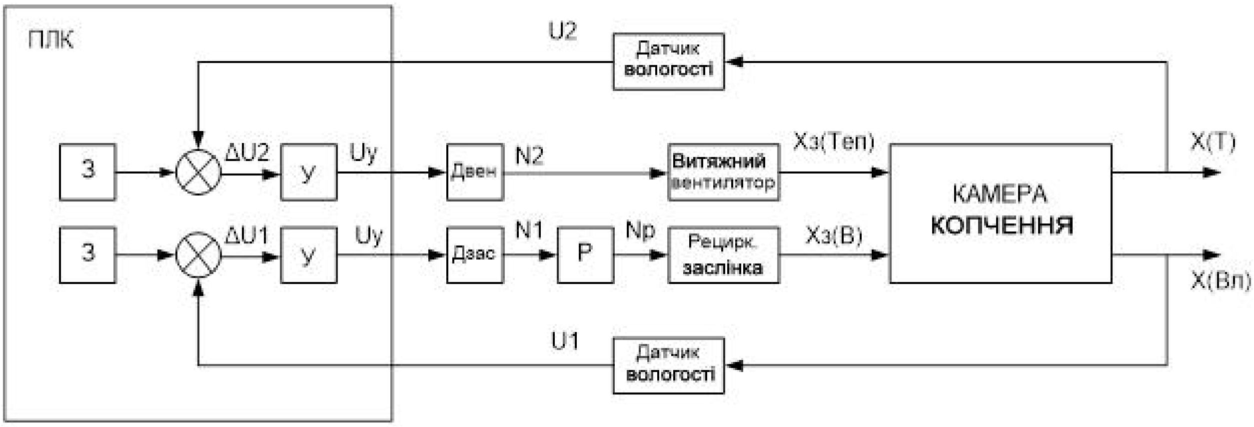


Рис. 8 - Функціональна схема камери копчення

Регулювання відбувається по двох контурах. Вхідними параметрами або параметрами регулювання є тепло (Теп), що виділяється ТЕНом, і повітря (В). Кількість подаваного тепла й повітря в камеру регулюється за допомогою задатчиків (з). Величина впливу, що задається, визначається за допомогою ПЛК. Вихідними параметрами камери є температура (Т) і вологість (ВЛ). Регулювання параметрів камери копчення будемо робити шляхом регулювання цих параметрів. Вихідні сигнали фіксуються термометрами, потім перетворюються датчиками в напругу (U_1 і U_2). Далі сигнали надходять на відповідні суматори, де відбувається зіставлення значень с заданим. Різниця цих величин посилюється підсилювачами (п). Зрегульована й посилена величина по вологості надходить у двигун (Дзас) рециркуляційної заслінки. Обороти двигуна через редуктор (р) перетворяться у відхилення заслінки (заз). Заслінка, у свою чергу, регулює вологість у камері. При вологості більше, ніж задана, пару необхідно випустити, - заслінка відкривається, і навпаки. Температура в камері регулюється за допомогою витяжного вентилятора, тобто при перевищенні заданої температури вентилятор включається, повітря виходить, температура знижується і навпаки. При неприпустимому збільшенні температури через сигнал від ПЛК відбувається відключення ТЕНа.

Складемо для ланок передаточні функції й диференціальні рівняння, для цього скористаємося даними, наведеними в [3]. Найбільше часто об'єкт такого класу представляють у вигляді наступних передаточних функцій:

- камера копчення $W(p) = \frac{K_c}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}$

$$T_1 T_2 \frac{d^2 X_{вих}(t)}{dt^2} + (T_1 + T_2)\frac{d X_{вих}(t)}{dt} + X_{вих}(t) = K_c * X_{вх}(t);$$

- перетворювач вологості $W(p) = K_1$ $\quad X_{вих}(t) = K_1 * X_{вх}(t);$
- підсилювач напруги $(U_1$ $W(p) = K_2$ $\quad X_{вих}(t) = K_2 * X_{вх}(t);$
- двигун (Дзас) $W(p) = \frac{K_3}{T_3 p + 1}$ $\quad T_3 \frac{d X_{вих}(t)}{dt} + X_{вих}(t) = K_3 * X_{вх}(t);$
- двигун (Двен) $W(p) = \frac{K_9}{T_9 p + 1}$ $\quad T_9 \frac{d X_{вих}(t)}{dt} + X_{вих}(t) = K_9 * X_{вх}(t);$
- редуктор $W(p) = K_4$ $\quad X_{вих}(t) = K_4 * X_{вх}(t);$
- заслінка $W(p) = K_5$ $\quad X_{вих}(t) = K_5 * X_{вх}(t);$
- підсилювач напруги $(U_2$ $W(p) = K_7$ $\quad X_{вих}(t) = K_7 * X_{вх}(t);$
- перетворювач температури $W(p) = K_6$ $\quad X_{вих}(t) = K_6 * X_{вх}(t);$
- вентилятор $W(p) = \frac{K_8}{p}$ $\quad \frac{d X_{вих}(t)}{dt} = K_8 * X_{вх}(t);$

Складемо рівняння динаміки системи по каналі що задає й керуючого впливу.

Для контуру керування по вологості (1 контуру):

$$\Phi_{X_з'}(p) = \frac{x'(p)}{x_з'(p)} = \left(\frac{ke^{-\tau_0 p}}{p(T_3 p + 1)(T_2 p + 1)(T_1 p + 1)}\right) : \left(1 + \frac{k_1 ke^{-\tau_0 p}}{p(T_3 p + 1)(T_2 p + 1)(T_1 p + 1)}\right) =$$

$$= \frac{ke^{-\tau_0 p}}{p(T_3 p + 1)(T_2 p + 1)(T_1 p + 1) + k_1 ke^{-\tau_0 p}};$$

$$x^{'}(p)=\frac{x_з^{'}(p)ke^{-\tau_0 p}}{p(T_3p+1)(T_2p+1)(T_1p+1)+k_1ke^{-\tau_0 p}},$$

де $k=k_2k_3k_4k_5k_c$

Для контуру керування по температурі (2 контури):

$$\Phi_{X_з}(p)=\frac{x(p)}{x_з(p)}=\left(\frac{ke^{-\tau_0 p}}{p(T_1p+1)(T_2p+1)}\right):\left(1+\frac{k_6ke^{-\tau_0 p}}{p(T_1p+1)(T_2p+1)}\right)=$$

$$=\frac{ke^{-\tau_0 p}}{p(T_1p+1)(T_2p+1)+k_6ke^{-\tau_0 p}};$$

$$x(p)=\frac{x_з(p)ke^{-\tau_0 p}}{p(T_3p+1)(T_2p+1)(T_1p+1)+k_6ke^{-\tau_0 p}},$$

де $k=k_7k_8k_c$

Тоді структурна схема камери копчення як об’єкта керування буде виглядати (Рис. 9).

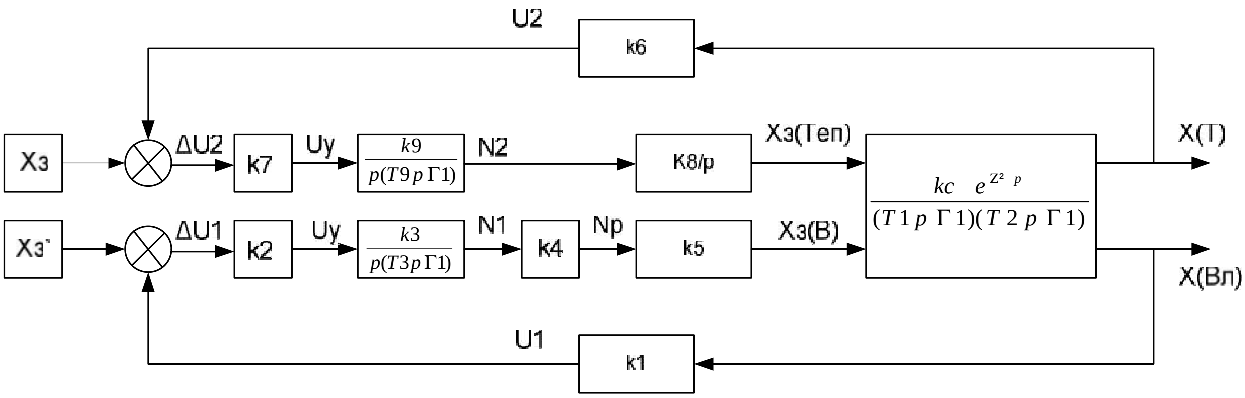


Рис. 9 - Структурна схема камери копчення

3.2. Розрахунок параметрів настроювання керуючого пристрою

Для першого контуру.

$$W^{'}(p)=\frac{ke^{-\tau_0 p}}{p(T_1p+1)(T_2p+1)(T_3p+1)}=\frac{200e^{-300p}}{p(900p+1)(3600p+1)(0.5p+1)};$$

де $k = k_2 k_3 k_4 k_5 k_c = 2 \cdot 100 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 200$

Застосуємо ПІД-регулятор:

$$W_p(p) = \frac{k_p (T_u p + 1)(T_\partial p + 1)}{T_u p};$$

k_p=0.28; T_u=T_2=3600 з; $T_д$=900 з

$$W'(p) = \frac{28e^{-300p}}{p^2 3600(0.5p + 1)}.$$

САК нестійка, позбудемося від одного ступеня астатизму. Для цього введемо диференціальну коригуюючу сигнал відповідно до передаточної функції:

$$W_k(p) = \frac{Tp}{Tp + 1};$$

При виконанні умови, що T=0.5с передаточна функція САК регулювання температури прийме вид:

$$W'(p) = \frac{14e^{-300p}}{p3600(0.5p + 1)^2}$$

Для другого контуру.

$$W(p) = \frac{ke^{-\tau_0 p}}{p(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)} = \frac{100e^{-300p}}{p(3600p + 1)(900p + 1)},$$

де $k = k_7 k_8 k_c = 100 \cdot 1 \cdot 1$

Застосуємо ПІД-регулятор.

$$W_p(p) = \frac{k_p (T_u p + 1)(T_\partial p + 1)}{T_u p}$$

k_p=0.16; T_u=3600 з; $T_д$=900 з

$$W(p) = \frac{16e^{-300p}}{p^2 3600}$$

Введемо диференціальну складову помилково:

$$W_k(p) = \frac{Tp}{Tp + 1};$$

При виконанні аналогічної умови, що T=0.5с передаочтна функція САУ регулювання вологості прийме вид:

$$W(p) = \frac{8e^{-300p}}{p3600(0.5p+1)}$$

3.3. Моделювання системи керування

Для оцінки адекватності отриманої моделі й перевірки працездатності, змоделюємо систему в середовищі Matlab SimuLink. Для цього по черзі на кожний канал (контур температури й контур вологості) будемо подавати ступінчатий сигнал і знімати отримані значення.

Для контуру температури:

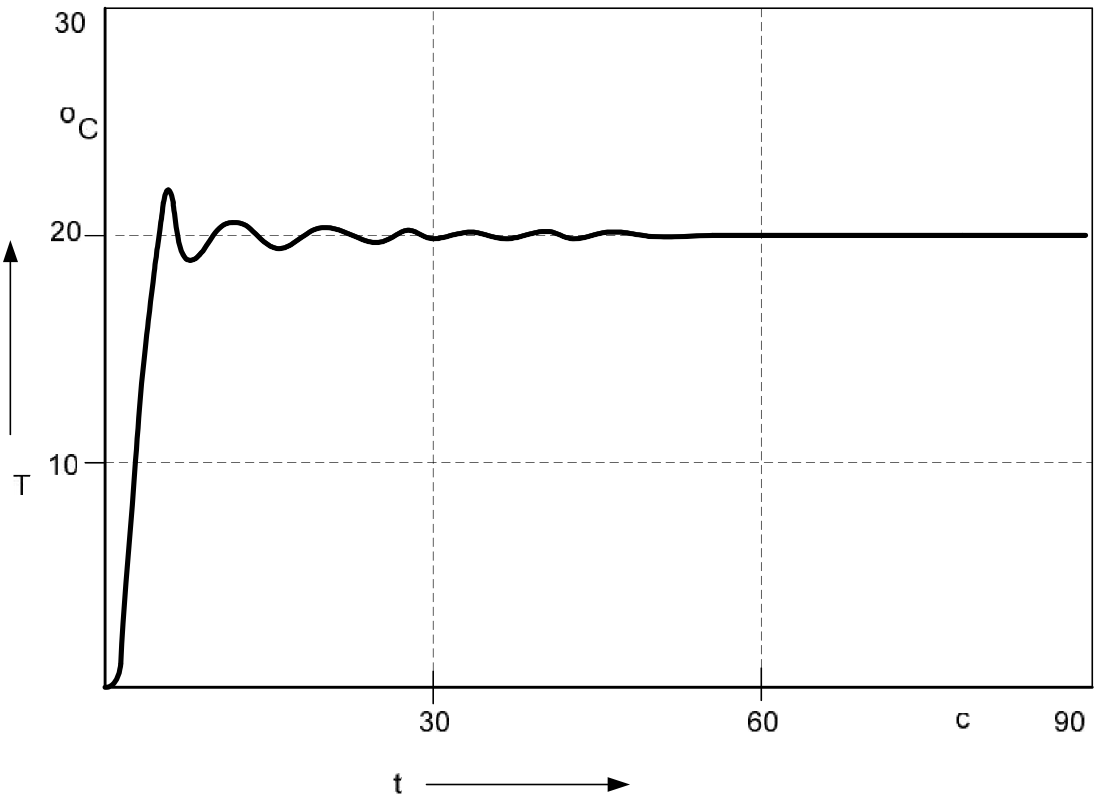


Рис. 10 - Графік перехідного процесу контуру регулювання температури при подачі східчастого керуючого впливу

Із графіка бачимо, що час перехідного процесу становить 50 секунд, при цьому контур температури є досить інерційним. Це пояснюється тим, що температуру неможливо встановити моментально.

Для контуру вологості:

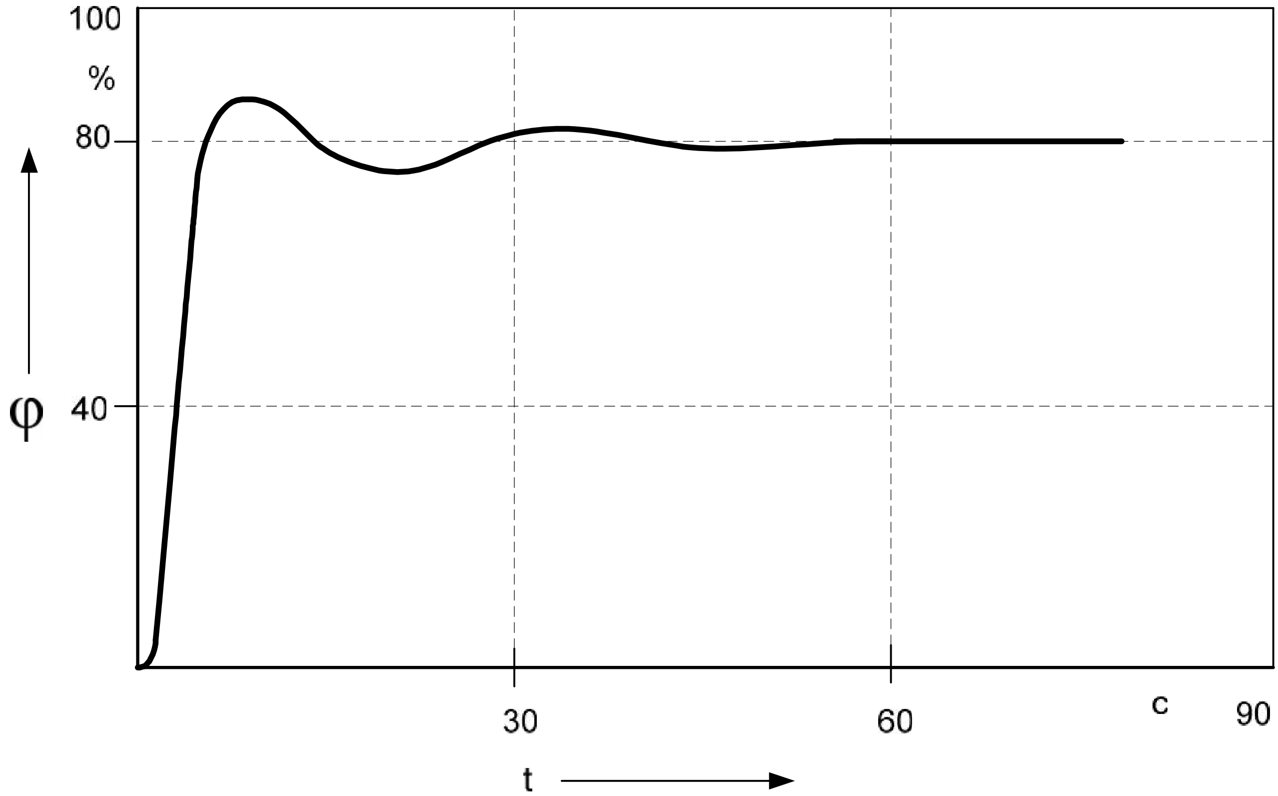


Рис. 11 - Графік перехідного процесу в контурі регулювання вологості при подачі ступінчатого керуючого впливу

Із графіка бачимо, що час перехідного процесу також досить великий, оскільки є пряма залежність від температури.

У результаті моделювання переконалися в тому, що математична модель камери копчення є стійкої, а отже дану модель має сенс розглядати як реально працюючу систему.

Коптильні камери рибообробних підприємств, як правило, використовують релейні системи стабілізації температури димо-повітряної суміші та димоутворення, а рідше — вологості суміші. Такі системи не здатні забезпечувати не тільки оптимальне протікання процесу копчення по стадіях, але й просто підтримувати параметри процесу з необхідною точністю:

- температуру димо-повітряної суміші — у межах ±1°С;
- вологість димо-повітряної суміші – у межах ±5%;
- температуру дымообразования — у межах ±10°С;
- швидкість руху димо-повітряної суміші – не нижче 2 м/с;
- концентрацію диму – постійною, що дозволяє, з одного боку, прискорити процес одержання готової продукції, не знижуючи її якості, а з іншого боку, зменшити витрати електроенергії та деревини на одержання диму.

Підтримка в ході всього процесу оптимальних параметрів копчення дозволяє найбільш ефективно наситити рибу коптильними компонентами, надаючи готовій продукції найкращого смаку, аромату та кольору. Додаткові складності для керування процесом копчення створюють випадкові, але при цьому не менш істотні зміни параметрів:

- сировини, що залежить від виду, розміру, ступеня оброблення, місця й часу улову, режимів зберігання й транспортування;
- деревини, що залежить від породи дерева, розміру й вологості тирси;
- навколишнього середовища.

У результаті, варіації параметрів об’єкта керування виявляються настільки великими, що говорити про оптимальне керування процесом копчення без застосування адаптивних систем керування просто безглуздо. Рішення всіх перерахованих проблем може бути отримане в результаті застосування розробленої нами системи керування з регуляторами, налаштованими по середнім або виявленим емпірично значенням параметрів

об’єкта.

Крім того, використання цифрової системи дозволяє створити цілісний, інформативний і зручний інтерфейс оператора технолога. Реальний ефект від експлуатації такої системи може бути отриманий за рахунок економії споживаної електроенергії, скорочення часу технологічного циклу, поліпшення якості продукції, що випускається.

Успішні підприємці у своїй діяльності давно застосовують автомати управління, які керують виконавчими пристроями й механізмами. Системи, побудовані на таких автоматах, працюють дуже надійно і легкі в обслуговуванні, однак можливості їхнього використання обмежені вкладеними в них алгоритмами, які не можуть бути змінені або підбудовані під технології, що змінюються. Використання пристроїв з жорстко заданою логікою призводить до збільшення вартості всього проекту, тому що доводиться додавати проміжні реле, реле часу й інші подібні пристрої, щоб реалізувати різні функції технологічного процесу, не прописані в алгоритмі автоматів управління.

Завдяки програмувальним логічним контролерам (ПЛК) у наш час з'явилася можливість порівняно просто й недорого вирішити безліч завдань за допомогою одного пристрою. Фахівці багатьох компаній із всіх представлених на ринку виробників ПЛК зупинили свій вибір на приладах російських виробників - компанії ОВЕН. Із застосуванням програмувальних контролерів можливості керування істотно розширилися, тепер можна створювати необхідні програмні алгоритми, підбудовувати їх під завдання й вимоги певного технологічного процесу, заміняти одним ПЛК велику кількість контрольно-вимірювальних приладів.

З появою можливості опису алгоритму роботи всієї системи в одному пристрої зникає необхідність у додаткових пристроях управління, що істотно зменшують вартість усього проекту. При цьому ще варто врахувати, що для з'єднання елементів керування використовується дешева вита пара, а самі елементи перебувають поблизу виконавчих пристроїв, що зменшує кількість сполучного кабелю та підвищує надійність роботи системи, точність параметрів, що реєструються та регулюються. Подібні проекти відрізняються нескладним проектуванням, простотою налагодження й порівняно невисокою ціною.

При розробці проекту ми постаралися закласти широкі можливості його застосування - не тільки в процесі копчення - але й на інших об'єктах, де використовуються системи клімат-контроль (теплиці, магазини, кліматичні випробувальні камери й т.д.).

Основні функціональні особливості комплексу:

- спрощене керування камерним устаткуванням;
- вимірювання температури;
- вимірювання вологості;
- керування камерним устаткуванням проводиться як за середнім значенням температури й вологості, так і за виміряним значенням у будь-якій точці;
- керування режимами охолодження, нагрівання, зволоження й осушення в автоматичному режимі по заданій програмі;
- керування приточно-вентиляційними блоками й приводами заслінок притоку й витяжки повітря в автоматичному режимі по заданій програмі з урахуванням температури зовнішнього повітря;
- плавне регулювання швидкості обертання й тривалості включення двигунів приточних вентиляторів залежно від температури.

При розробці системи автоматизації в якості основного програмуючого пристрою було взято контролер ОВЕН - ПЛК 150.

Для автоматизації обраний вітчизняний контролер, що підходить по параметрах проекту і пройшов російську сертифікацію[14].

ОВЕН ПЛК 150 – програмувальний логічний контролер з дискретними й аналоговими входами й виходами:

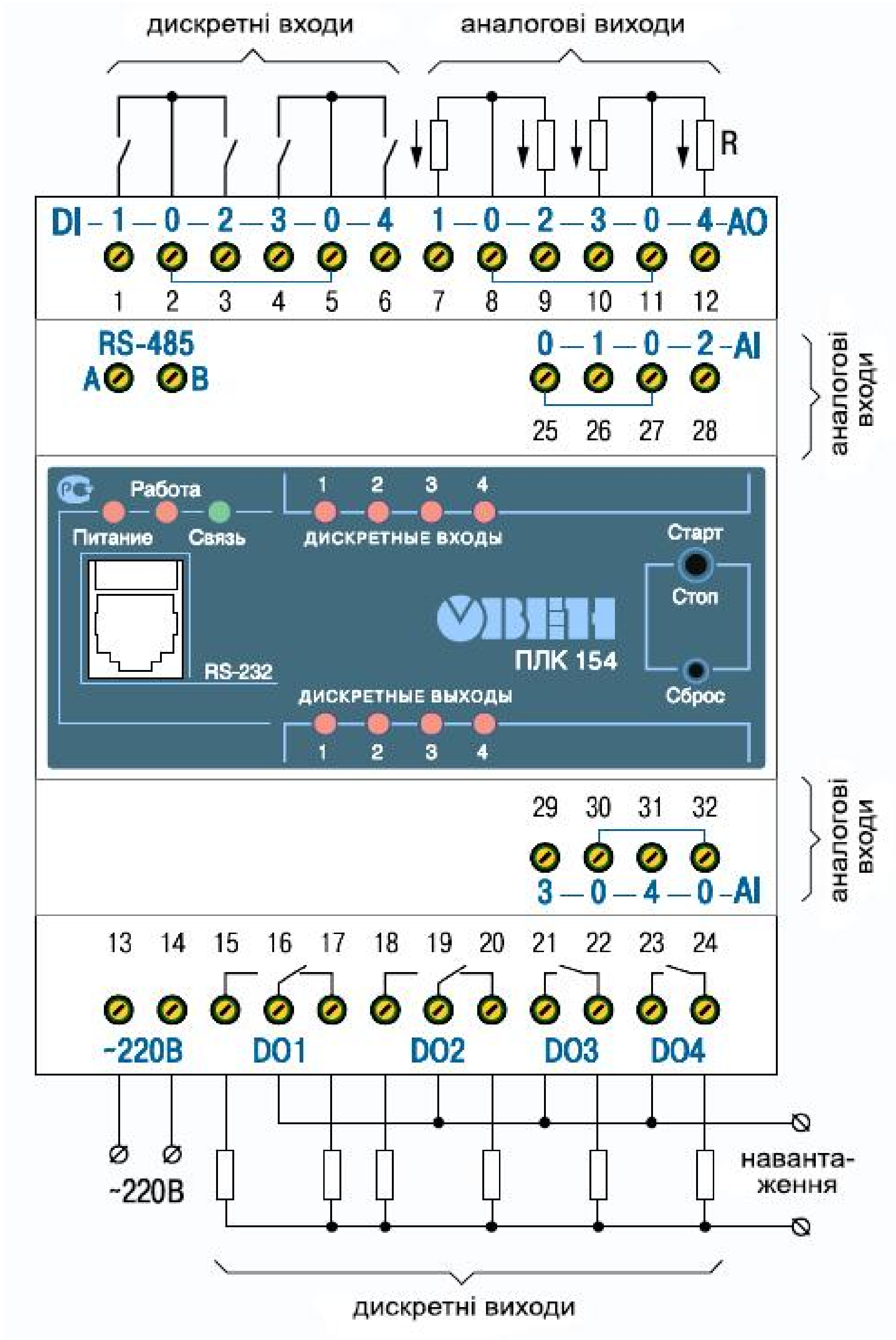


Рис. 12 - Зовнішній вигляд і схема підключення входів і виходів ПЛК150

Технічні характеристики ПЛК150:

Напруга живлення - ~90...264 У, 47...63 Гц.

Споживана потужність - 6 Вт.

Резервне живлення - вбудований акумулятор витримує перебої живлення до 10 хв без перезавантаження.

Ступінь захисту корпуса - IP20.

Центральний процесор - 32-х розрядний RISC процесор 200 Мгц на базі ядра ARM9.

Обсяг оперативної пам’яті - 8 Мбайт.

Обсяг енергонезалежної пам’яті зберігання програм і архівів - 3 Мбайт, (Flash пам’ять, спеціалізована файлова система),

Середовище програмування - CoDeSys 2.3 - поширюються безкоштовно (входить у комплект поставки),

Мови програмування - IL, ST, LD, SFC, FBD + додаткова мова CFC.

Дискретні входу - 4 (10 кгц у режимі енкодера - 1 кгц),

Аналогові входу - 4 універсальних - струм 0(4)...20 мА, 0...5 мА, напруга 0...1 В, 0...10 В, опір 0...5 кОм. Підключення датчиків струму й напруги здійснюється прямо й не вимагає погоджених резисторів.

Дискретні виходу - 4 (е/м реле 4 А при 220 В 50 Гц і cos φ - 0,4).

Аналогові виходу - 4 (універсальних 4...20 мА або 0...10 В, програмне перемикання типу вихідного сигналу),

Інтерфейси - RS-485, RS-232, internet 10/100 Mbps,

Швидкість обміну по протоколах RS - налаштовувана, до 115200 bps,

Інтерфейс для програмування й налагодження - RS-232, internet,

Можливість розширення - підключення модулів введення/висновку,

Вбудовані годинники - реального часу.

Спеціальний редактор, вбудований у середовище програмування CoDeSys для створення екранів з користувацькими мнемосхемами.

На екрані візуалізації можна додати прості геометричні об’єкти, кнопки, графіки, таблиці, гістограми, елементи введення й висновку інформації. В одному проекті може бути створено кілька вікон візуалізації, викликуваних за допомогою кнопок або інших способів.

Спеціальне вікно в середовищі програмування CodeSys, що дозволяє налаштовувати драйвери введення/висновку й периферійний обмін по інтерфейсах ПЛК.

За допомогою даного ресурсу виконується налаштування:

- Z зв’язку ПЛК із модулями розширення, GSM-модемом, панелями оператора або іншими пристроями, що підключають до контролера по мережних інтерфейсах і через підтримувані протоколи ОВЕН, Modbus, Modbus TCP і DCON;
- Z настроювання входів і виходів ПЛК для підключення датчиків і виконавчих механізмів;
- Z для контролерів ОВЕН можна набудовувати модуль статистики (сервісні дані про контролер) і модуль архіватора.

Від ПЛК сигнали керування надходять на перетворювач інтерфейсів АС3-М.

Рис. 13 - Зовнішній вигляд перетворювача інтерфейсів АС3-М

Таблиця №2. Технічні характеристики АС3-М

Найменування	Значення
Живлення	
Напруга:	

- змінна (для АС3-М-220) - постійна (для для АС3-М-024) Споживана потужність Допустима напруга гальванічної ізоляції входів	85…245 В, 47…60 Гц 10…30 В не більше 0,5 ВА не менше 1500 В
Інтерфейс RS-232	
Діапазон напруги вхідного сигналу Діапазон напруги вихідного сигналу Довжина лінії зв'язку із зовнішнім пристроєм Швидкість обміну даними Лінії передачі даних, що використовуються	+- 5…15 В +- 9…11 В не більше 3 м до 115200 біт/с TxD, RxD, GND
Інтерфейс RS-485	
Діапазон напруги вхідного сигналу Діапазон напруги вихідного сигналу Довжина лінії зв'язку із зовнішнім пристроєм Кількість приладів у мережі Лінії передачі даних, що використовуються	0,2…5 В 1,5…5 В не більше 1200 м не більше 32 A(D+), B(D-)

Після перетворювача встановлюємо вимірник-регулятор температури й вологості МПР51-Щ4.

Зв'язок між ПЛК і МПР51-Щ4 буде організована відповідно до протоколу MODBUS через промисловий протокол передачі даних RS-485.

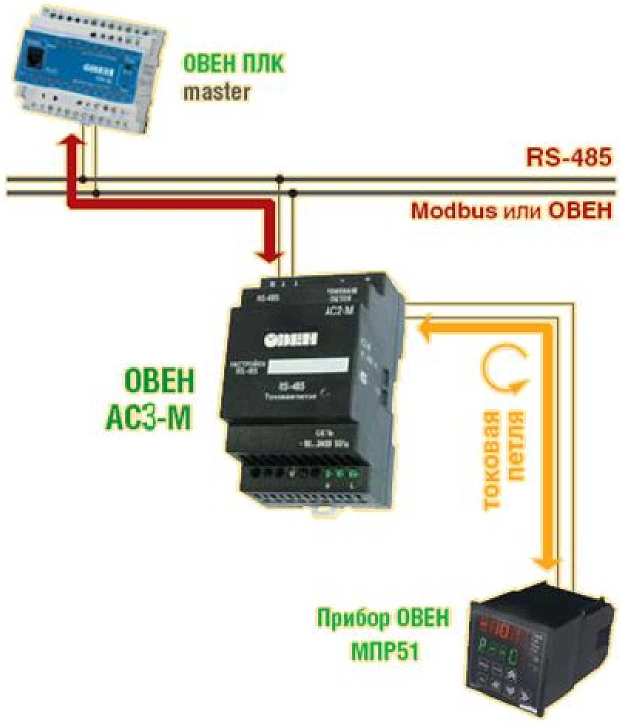


Рис. 14 - Приклад організації мережі обміну даних

Для того, щоб управляти всією системою в режимі реального часу, бачити показання датчиків на даний момент і можливість регулювати механізмами, є можливість підключення сенсорної панелі оператора фірми ОВЕН СП - 270 [14].

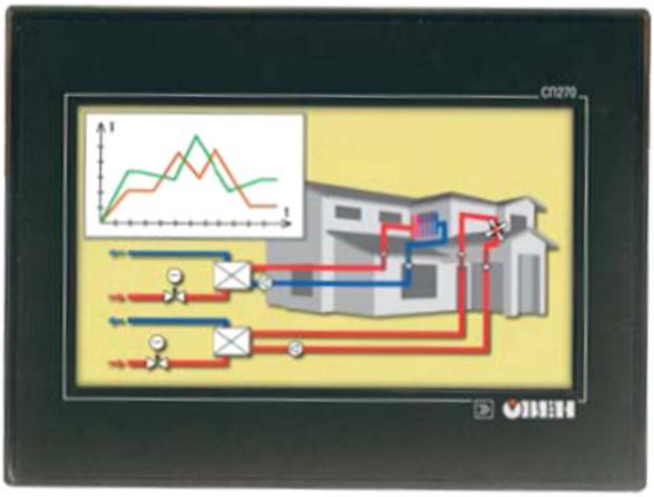


Рис. 15 - Зовнішній вигляд панелі оператора СП 270

Технічні характеристики СП 270:

Напруга живлення постійного струму - 22...26 В,

Номінальна напруга живлення -24 У.

Споживана потужність - не більше 5 Вт.

Тип дисплея - кольоровий TFT,178 (7) діагональ, мм (у дюймах).

Дозвіл дисплея - піксель 480 x 234.

Використовувані інтерфейси зв’язку - RS-232 (2 канали), RS-485 (1 канал),

Тип інтерфейсу для зв’язку із ПЛК і/або іншими приладами - RS-232, RS-485.

Тип інтерфейсу для завантаження проекту із ПК - RS-232.

Режими роботи панелі - Master, Slave.

Пам’ять програм (Flash-RAM) - 4 Мб.

Пам’ять даних (SDRAM) - 4 Кб.

Вбудовані годинники реального часу - є.

Панель оператора із сенсорним екраном СП 270 являє собою пристрій класу «людино-машинний інтерфейс», призначене для завантаження керуючої програми (проекту) функціонування ПЛК або інших приладів, до яких підключається панель, моніторингу функціонування й редагування значень параметрів функціонування. Дозволяє відображати на екрані хід виконання технологічного процесу й редагувати значення параметрів, відповідальних за функціонування системи.

Логіка роботи панелі СП 270 визначається споживачем у процесі конфігурування на ПК із використанням програмного забезпечення «Конфігуратор СП 200».

Панель СП 270 призначена для виконання наступних функцій:

Z відображення стану керованого об’єкта в режимі реального часу, з використанням графічних піктограм (індикатори, графіки, лінійки, умовні позначки устаткування й т.д.);

Z відображення сенсорних елементів, за допомогою яких оператор здійснює безпосереднє керування функціонуванням об’єкта;

Z керування функціонуванням ПЛК і/або інших приладів; запис і читання значень регістрів ПЛК і/або інших приладів, до яких підключається панель;

Z оперативна зміна режиму роботи (зміна зовнішнього вигляду екрана й інтерфейсу керування, параметрів керування та ін.) шляхом завантаження нового проекту;

Z робота в режимі Master або Slave.

У результаті основним вимірювальним і регулювальним органом є регулятор МПР51-Щ4. На рисунку16 зображена зразкова схема побудови АСУ.

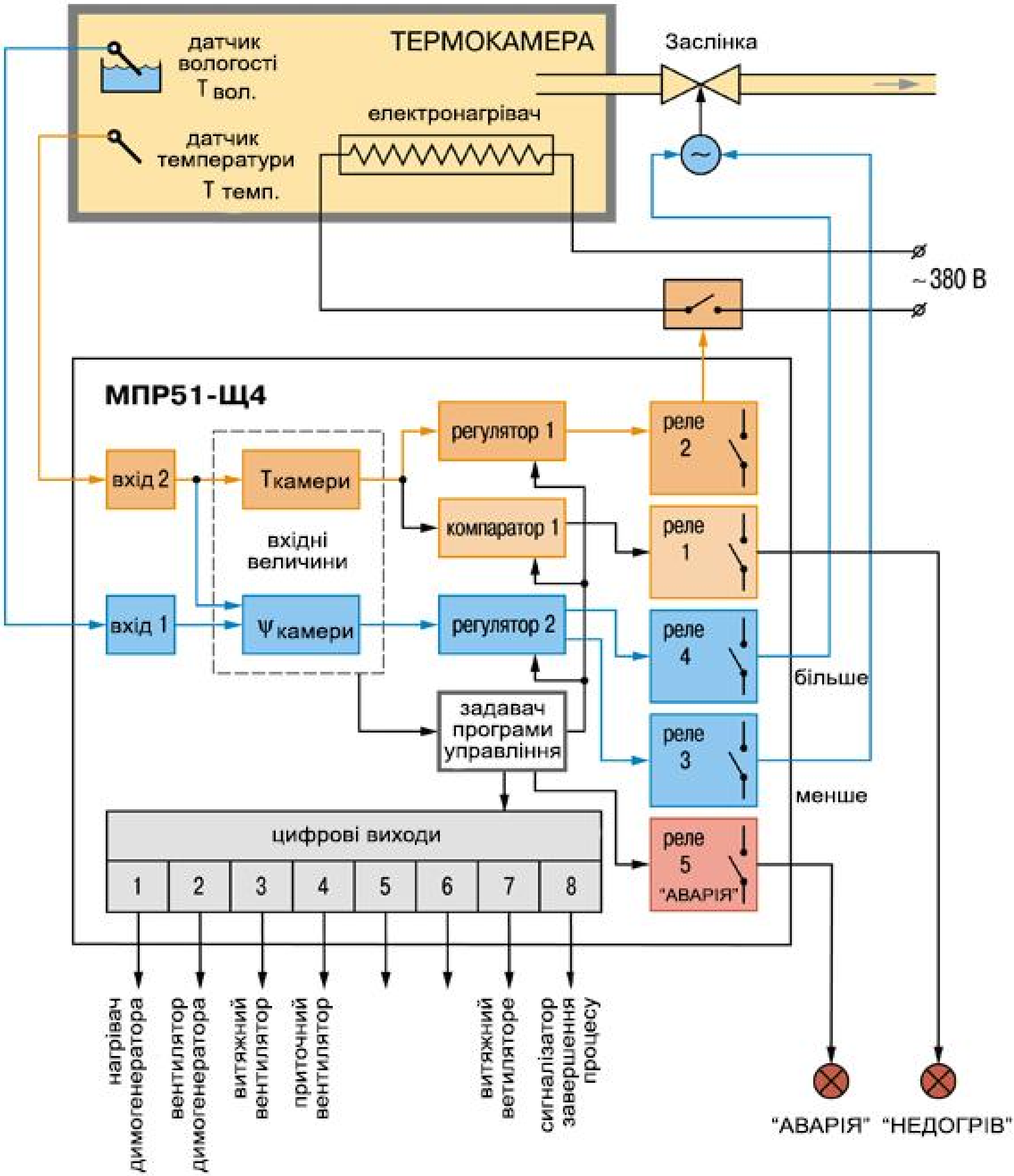


Рис. 16 - Схема побудови АСУ процесом копчення

Програмувальний вимірник-регулятор типу МПР51-Щ4 призначений для керування багатоступінчастими режимами температури та вологи технологічних процесів при виробництві м'ясних і ковбасних виробів, у хлібопекарській промисловості, в інкубаторах, при сушінні макаронів, виготовленні залізобетонних конструкцій, сушінню деревини, у кліматичних камерах та ін. по заданій користувачем програмі.

МПР51;Щ4 дозволяє:

• вимірювати температуру за допомогою термоперетворювача опору, підключених до входів Тсух, Тволог, Тпрод;

• визначати поточне положення засувок при наявності в них резистивних датчиків положення;

• вимірювати відносну вологість повітря за допомогою датчика психрометричного типу;

• регулювати температуру по двох незалежних каналах;

• задавати програму регулювання із захистом її від несанкціонованого доступу;

• сигналізувати про обрив або коротке замикання в лінії «прилад - датчик».

• реєструвати контрольовані параметри на IBM-сумісному комп'ютері (за допомогою адаптера інтерфейсу АС2 ОВЕН).

Рис. 17 - Програмувальний вимірювач-регулятор типу МПР51-Щ4

Таблиця №3 Технічні дані МПР51-Щ4

Найменування	**Значення**
Діапазон змінної напруги живлення:	
напруга, В	150…245
частота, Гц	47…63
Діапазон напруги живлення	210…300
Споживана потужність, ВА, не більше	12
Канали вимірювання температури	
Кількість каналів	3
Діапазон вимірювань, С, при використанні:	
⌡ датчиків ТСМ	-50…+200
⌡ датчиків ТСП	-80…+750
Роздільна здатність, С	0,1
Границя основної приведеної	0,5
Каналі контролю положення засувок	
Кількість каналів	2
Діапазон контролю, %	0…100
Роздільна здатність, %	1
При вимірюванні відносної вологості датчиком психометричного типу	
Діапазон температур, що контролюються «сухим» датчиком, С	+10…+95
Діапазон вимірювання, %	1…99
Роздільна здатність, %	1
Межа основної приведеної погрішності	
⌡ при температурах +10…+49,9 С «сухого» датчика, %, не більше	5
⌡ при температурах +50…+95 С «сухого» датчика, %, не більше	4
Період вимірювання вхідних величин, с, не більше	6,5
Канали регулювання	
Кількість каналів регулювання	2
Кількість компараторів	0…4
Кількість вихідних реле	5
Кількість вихідних транзисторних ключів	8

Період слідування управляючих імпульсів на виході регулятора, с	1…120
Максимально допустимий струм навантаження пристроїв управління:	
) електромагнітного реле (при 220В, cos φ≤0,4; або =30В), А	4
) транзисторного ключа (при постійній напрузі =50В), мА	200

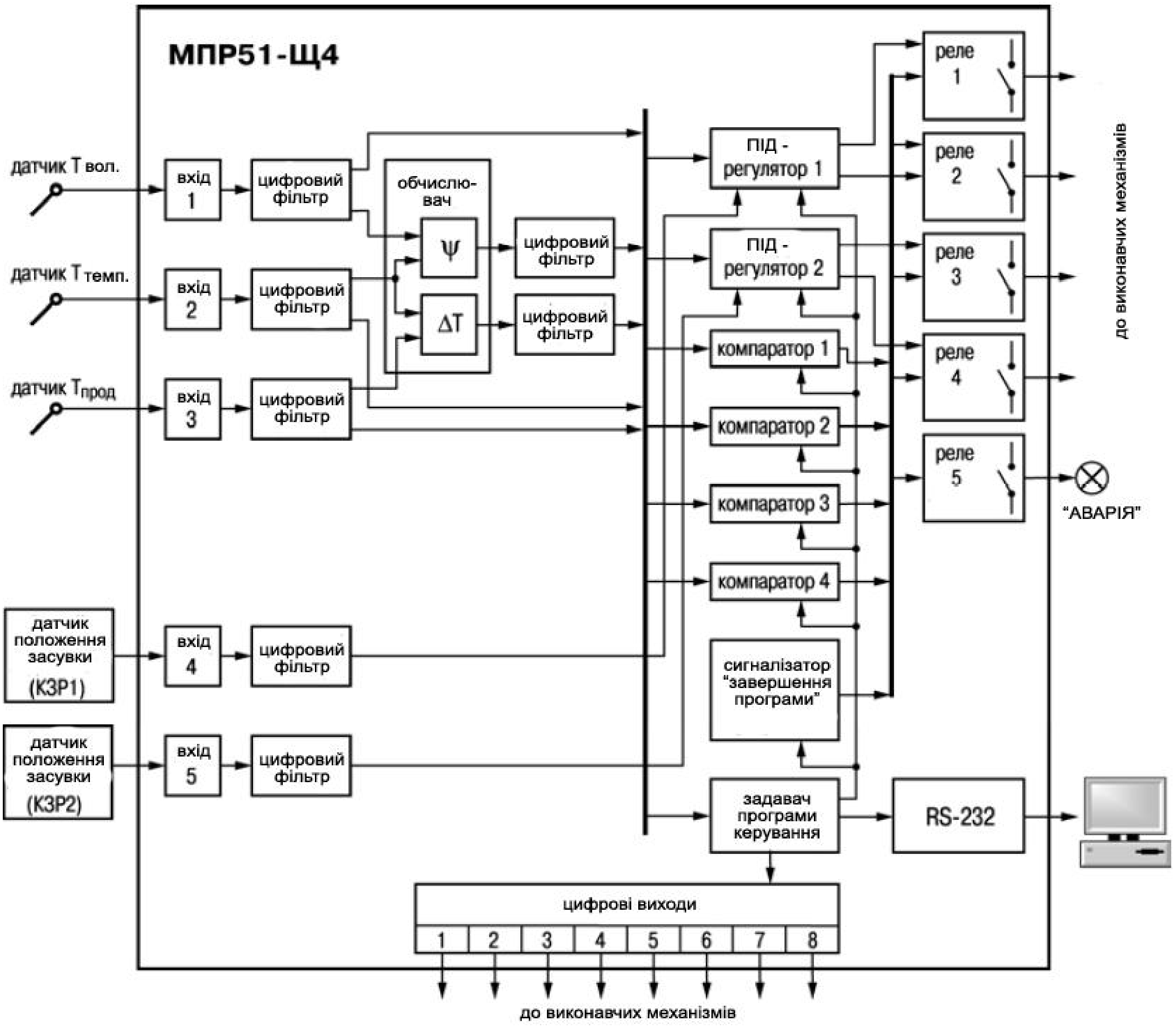


Рис. 18 - Функціональна схема приладу МПР51-Щ4

Як датчики температури вибираємо термоперетворювач опорів ТСП 100 фірми ОВЕН:

Рис. 19 - Термоперетворювач ТСП 100

Технічні характеристики ТСП 100:

Діапазон вимірюваних температур -200°C…+750C.

Чутливість 0,1°.

4. АСУ процесом копчення

4.1. Розробка програмного забезпечення

У якості програмного забезпечення контролерів фірми ОВЕН використаємо програмний продукт CoDeSys 3.0, що поставляє з ними спільно.

Мови МЕК (мови програмування контролера).

Стандартом МЕК передбачено 5 мов програмування ПЛК: IL, LD, FBD, ST, SFC. При розробці проекту користувач може обрати будь-яку з мов для написання конкретного програмного модуля (POU). У рамках одного проекту можуть бути присутні програмні модулі, написані на різних мовах. В CoDeSys підтримані всі 5 мов, а також одна додаткова:

)IL (Instruction List) - Список інструкцій - мова програмування, що нагадує асемблер Siemens STEP7. Всі операції виконуються через комірку пам'яті, «акумулятор», у якій програма записує результати виконаних дій.

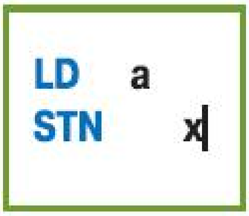


Рис. 20 - Список інструкцій - мова програмування

)LD (Ladder Diagram) - Релейні діаграми - графічна мова програмування, що використовує принципи побудови електричних схем. За допомогою елементів «контакт» і «котушка» користувач збирає схему проходження сигналу. Мова зручна для реалізації логічних алгоритмів роботи з дискретними сигналами.

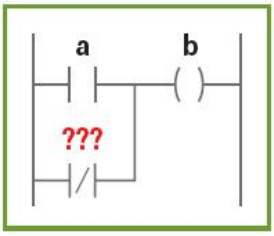


Рис. 21 - Релейні діаграми - графічна мова програмування

- FBD (Functional Block Diagram) - Діаграма функціональних блоків - графічна мова програмування. Всі дії й оператори, які використовуються в даній мові, представляються у вигляді функціональних блоків (ФБ). ФБ мають входи й виходи певних типів, які можуть бути зв’язані між собою.

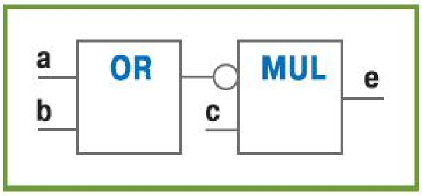


Рис. 22 - Діаграма функціональних блоків -графічна мова програмування

Крім стандартних ФБ користувач може вставляти в алгоритм власні, створені в рамках даного проекту або реалізовані в підключених до проекту бібліотеках.

В CoDeSys реалізованаа покращена мова програмування за допомогою функціональних блоків, що одержала позначення CFC.

- ST (Structured Text) - Структурний текст - текстова мова програмування, схожий з мовою високого рівня (C++, Pascal). Мова ST зручна для реалізації складних обчислень, циклів і умов, для роботи з аналоговими сигналами.

```
a:=a+1;
FOR y THEN
b:=b*3.14;
END_IF;
```

Рис. 23 - Структурний текст - текстова мова програмування

- SFC (Sequentional Functional Chart) - Послідовні функціональні схеми - графічна мова, пристосована для створення послідовності етапів алгоритму роботи. Кожний етап реалізується на будь-якій зручній для користувача мові. Мова зручна для створення алгоритмів керування складними процесами, що мають кілька щаблів написання моделей автоматів.

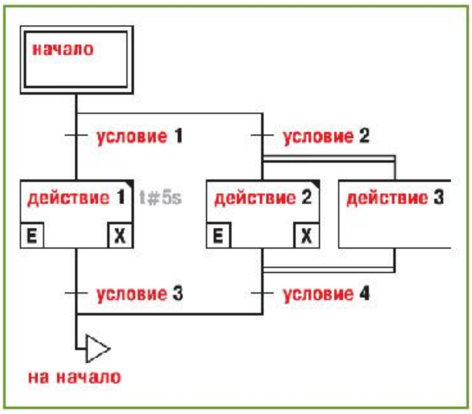


Рис. 24 - Послідовні функціональні схеми - графічна мова

Спеціальний редактор, вбудований у середовище програмування CoDeSys для створення екранів з користувальницькими мнемосхемами.

На екрані візуалізації можна додати прості геометричні об’єкти, кнопки, графіки, таблиці, гистограми, елементи вводу/виводу інформації. В одному проекті може бути створено кілька вікон візуалізації, що викликаються за допомогою кнопок або інших способів.

Спеціальне вікно в середовищі програмування CodeSys, що дозволяє набудовувати драйвери вводу/виводу й периферійний обмін по інтерфейсах ПЛК.

За допомогою даного ресурсу виконується налагодження:

Z зв’язку ПЛК із модулями розширення, GSM модемом, панелями оператора або інших пристроїв, що підключають до контролера по мережних інтерфейсах і через підтримувані протоколи ОВЕН, Modbus, Modbus TCP і DCON;

Z настроювання входів і виходів ПЛК для підключення датчиків і виконавчих механізмів;

Z для контролерів ОВЕН можна набудовувати модуль статистики (сервісні дані про контролер) і модуль архиватору.

Опис роботи основної прграми та програми візуалізації.

Основна програма написана в програмному середовищі CoDeSys за допомогою редактора лінійних діаграм LD. Мова релейних або релейноконтактних схем (РКС) - графічна мова, що реалізує структури електричних ланцюгів.

Найкраще LD підходить для побудови логічних перемикачів, але досить легко можна створювати й складні ланцюги як в FBD. Крім того, LD досить зручний для керування іншими компонентами POU.

Діаграма LD складається з ряду ланцюгів.

Ліворуч і праворуч схема обмежена вертикальними лініями – шинами живлення. Між ними розташовані ланцюги, утворені контактами й обмотками реле, за аналогією зі звичайними електронними ланцюгами. Ліворуч будь-який ланцюг починається набором контактів, які посилають зліва на право стан "ON" або "OFF", що відповідають логічним значенням TRUE або FOLSE. Кожному контакту відповідає логічна змінна. Якщо змінна має значення TRUE, то стан передається через контакт. Інакше праве з’єднання одержує значення виключене ("OFF").

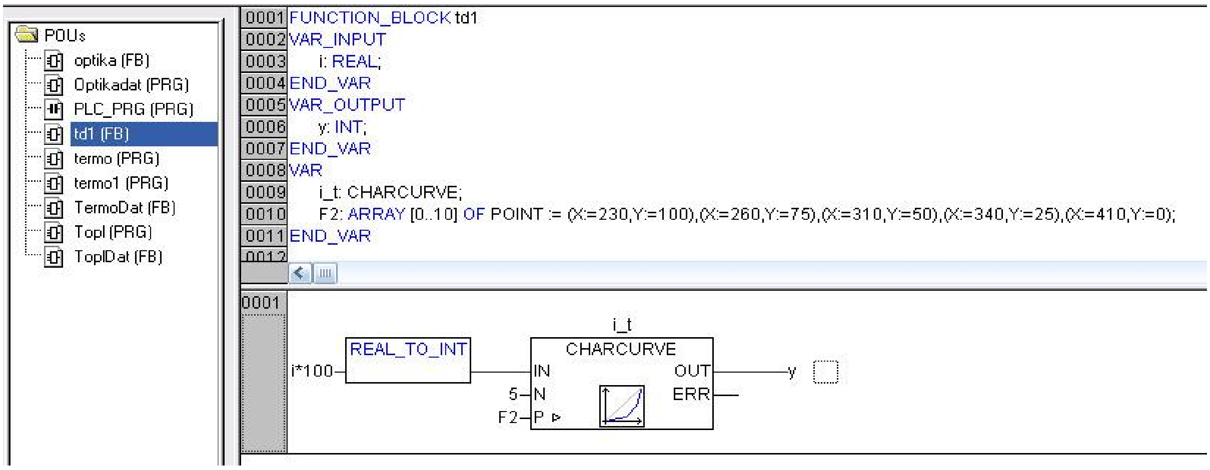


Рис. 25 - Функціональний блок температурного датчика

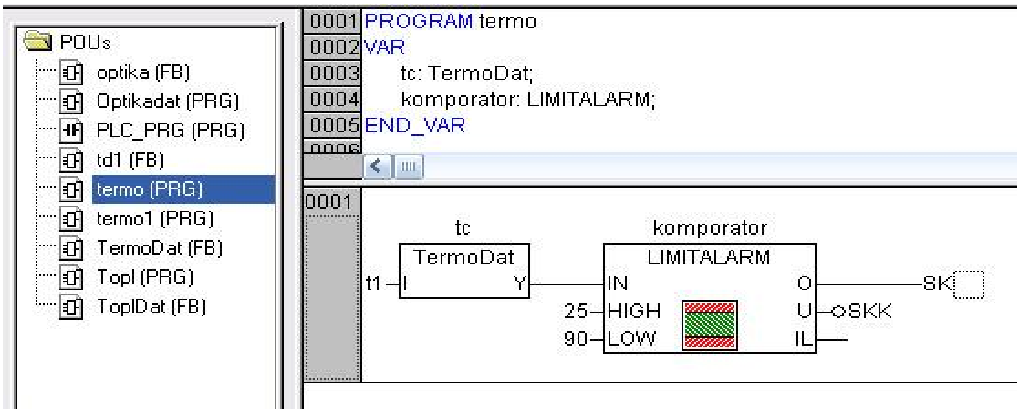


Рис. 26- Керуюча програма для температурного датчика №1

4.2. Алгоритм регулювання температури й вологості

Управління процесом регулювання температури здійснюється системою керування в такий спосіб (блок-схема алгоритму керування)

Рис. 27 - Блок-схема управління процесом регулювання температури

На першому етапі управління здійснюється ініціалізація системи керування (блок 1) - це тестування пам’яті, настроювання портів вводу/виводу ПЛК, перевірка лінії зв’язку.

Вимір величини температури, здійснюється датчиками. ПЛК системи керування здійснює послідовне опитування датчиків шляхом посилання до відповідного адаптера імпульсів «запиту» (блок 3). Далі здійснюється прийом інформації від запитуваного датчика й передача. Опитування датчиків здійснюється з інтервалом q=0,01c.

Поточні значення температури, отримані від датчиків, виводяться на прилади, що показують мнемосхеми технологічної установки пульта диспетчера. Крім того, у ПЛК порівнюються поточні значення параметрів із заданими (блок 6) і у випадку не відповідності формуються керуючі команди на автоматичні регулятори (блок 9). Наприклад, зміни температури в контрольованій точці здійснюється шляхом включення витяжного вентилятора.

Інформація про роботу установки передається від ЕОМ на мнемосхему технологічного об’єкта з елементами індикації й, при необхідності, на друкувальний пристрій.

Алгоритм регулювання значення вологості аналогічний, з тією лише різницею, що додано блок обчислення самого параметра (значення вологості). Приклад на рисунку 28.

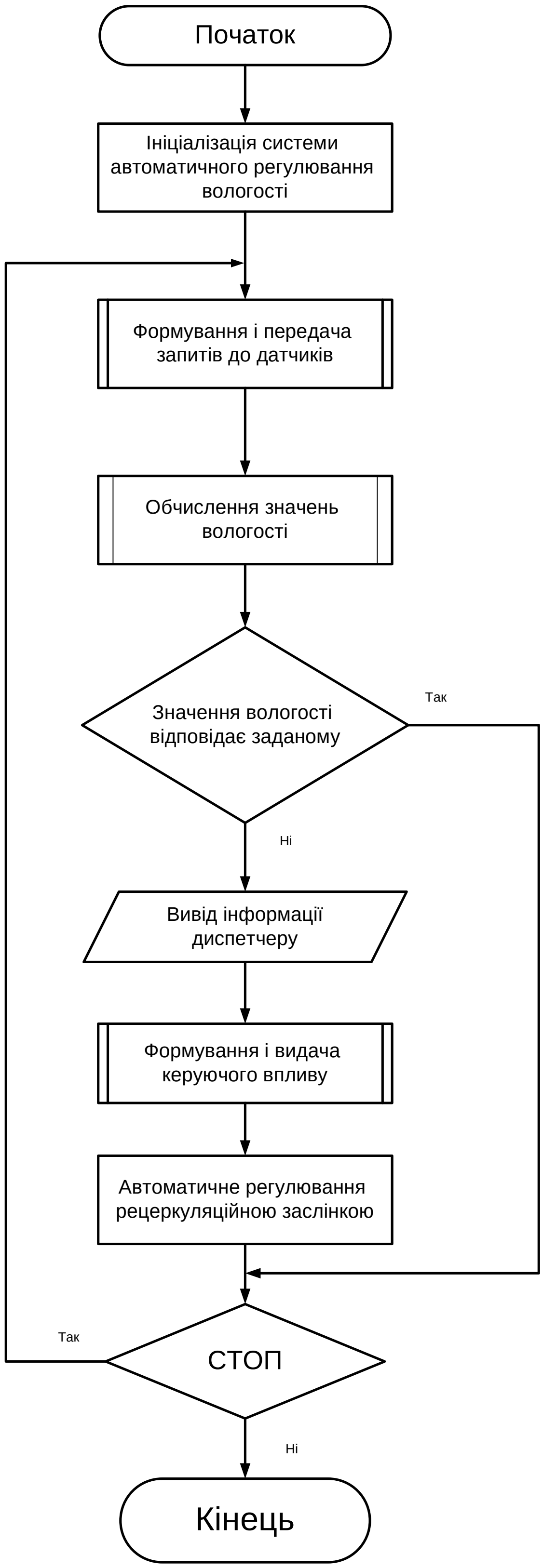


Рис. 28 - Блок-схема управління процесом регулювання вологості

4.3. Принцип передачі даних

Принцип передачі даних у системі керування полягає в наступному (див. блок-схему алгоритму на рисунку 29).

При одержанні запиту від ПЛК про необхідність одержання інформації про контрольований параметр (блок 2), мікроконтролер здійснює опитування і введення сигналів від відповідного аналогового або дискретного датчика (блок 5 або блок 6). Далі відбувається обробка й, при необхідності, нагромадження поточних значень контрольованого параметра. Отримана інформація передається на пульт оператора. Прийом-передача інформації здійснюється за допомогою інтерфейсу RS-485[2]. Стандарт RS485 є найбільш застосовуваним у сучасних системах керування й передбачає зв’язок в обидва боки по симетричній погодженій лінії зв’язку (витим парам дроту).

Уведення даних у ПЛК здійснюється через блок узгодження БС, що призначений для перетворення струмових сигналів від аналогових датчиків у сигнал напруги (для цього використовуються прецизійні резистори); здійснюється гальванічна розв’язки лінії зв’язку адаптера з контактними датчиками (наприклад, за допомогою транзисторних оптопар АОТ128Б [3]); здійснюється захист мікроконтролера від можливих перенапруг у сполучних лініях датчиків (за допомогою стабілітронів і резисторів).

Основним елементом є мікроконтролер, що здійснює прийом інформації від датчиків, обробку й зберігання в пам’яті даних, управляє передачею даних в ЕОМ, а також приймає «запит» від оператора про необхідність передачі інформації. Для передачі даних від регуляторів у ПЛК у структурі передбачений спеціальний погоджувальний елемент, АСМ3 послідовного інтерфейсу стандарту RS485.

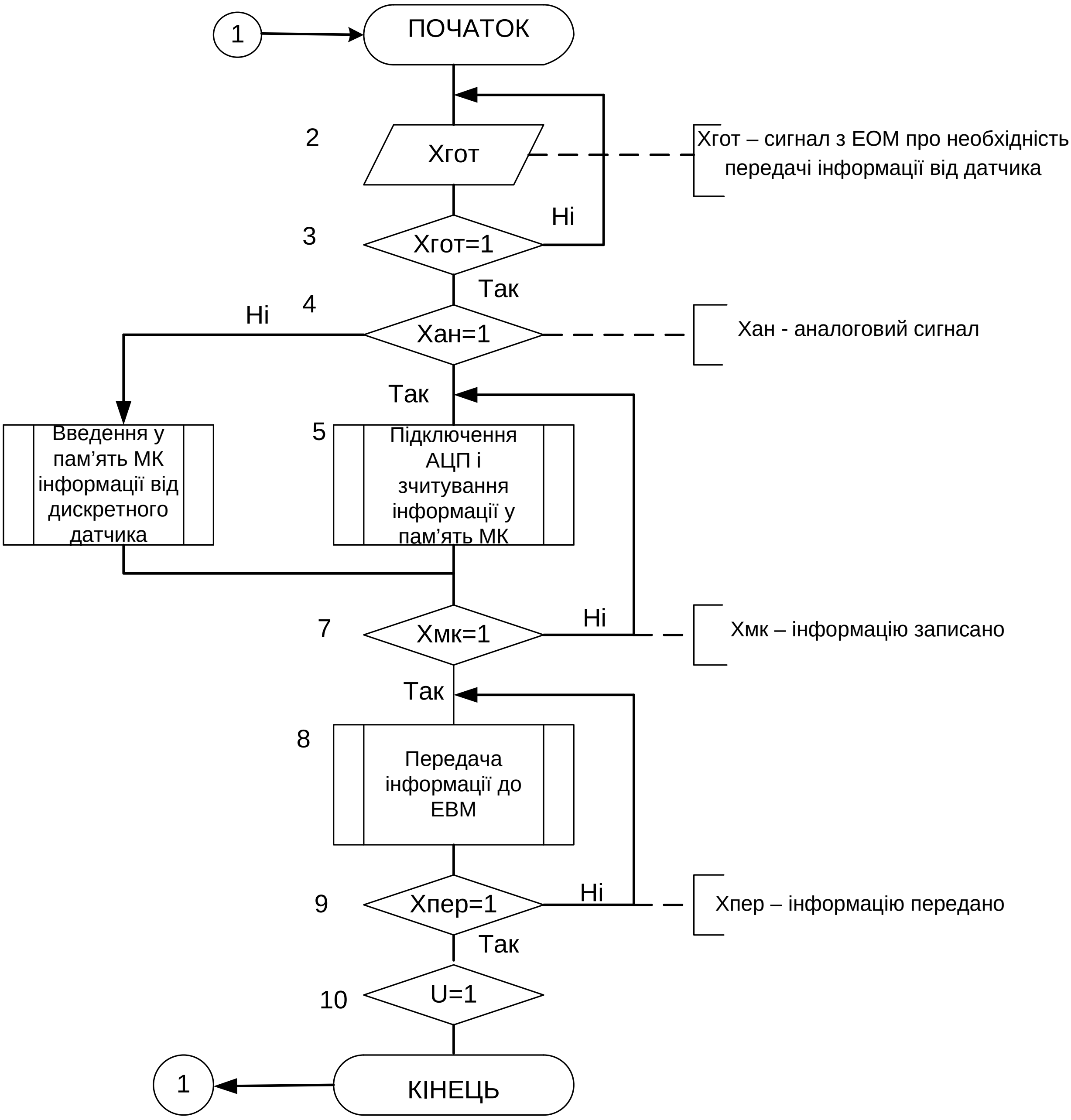


Рис. 29 – Блок-схема алгоритму передачі інформації

4.4. Візуалізація

На рисунку 30 зображена мнемосхема візуалізації панелі оператора камери копчення.

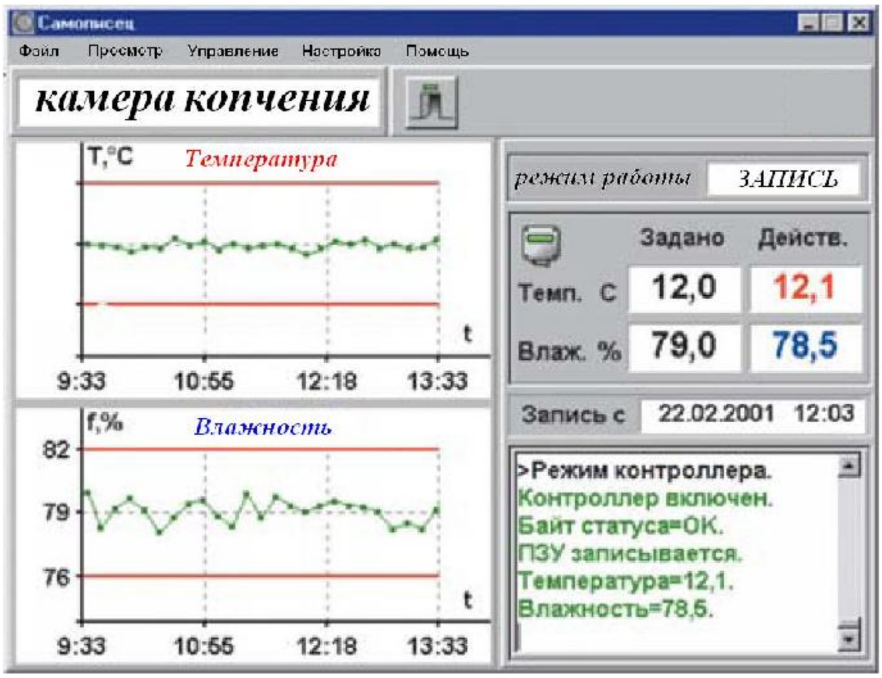


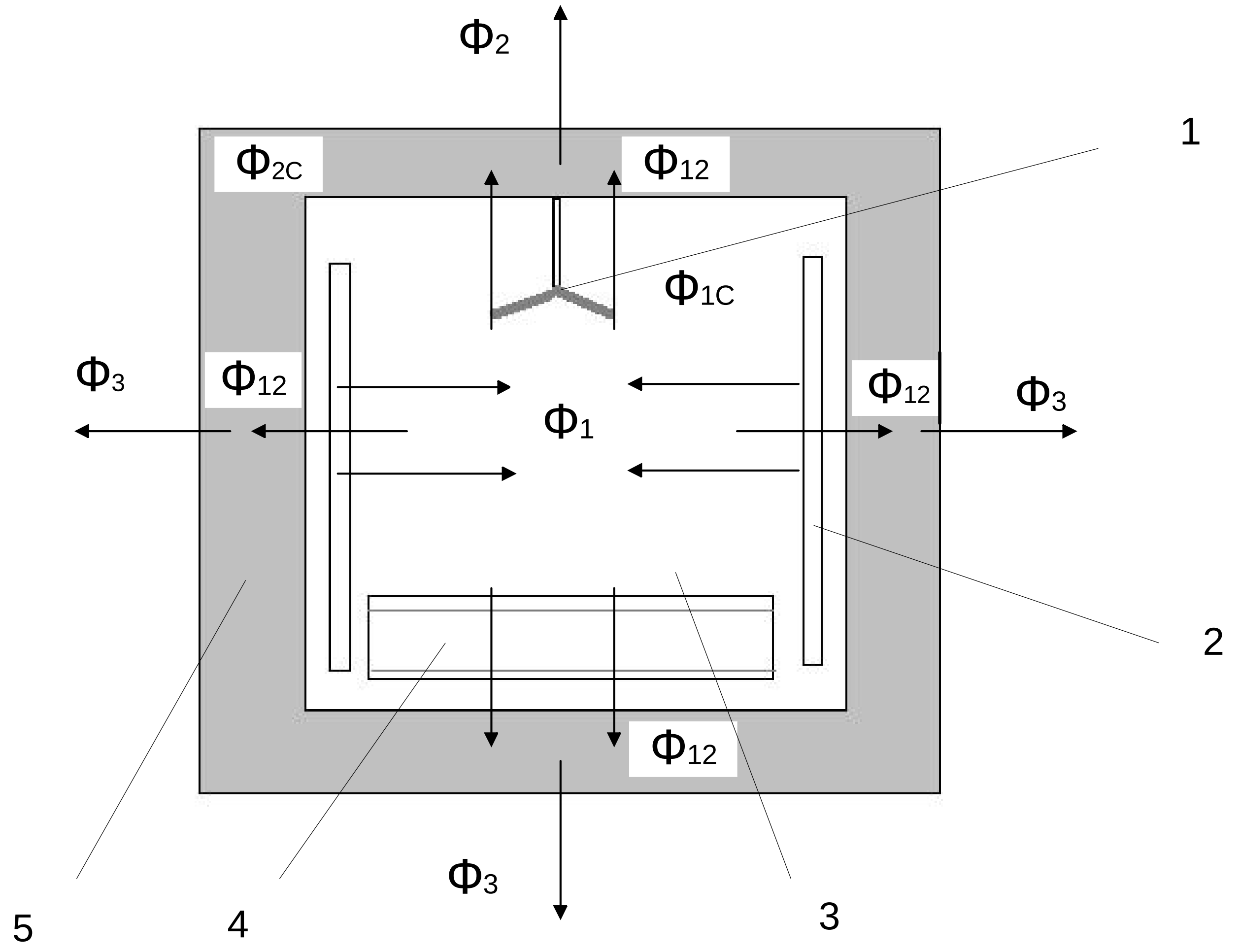
Рис. 30 - Мнемосхема візуалізації

4.5.1 Дослідження теплових процесів у печі

4.5.1.1 Побудова моделі нагрівання печі

Як уже зазначалося, зони нагріву в печах організовані ідентично, тому немає необхідності розглядати кожну зону, достатньо розглянути одну із зон нагріву. Подаємо модель зони нагріву у вигляді «чорної скриньки», представлену на Рис. 4.5.1. На вході чорного ящика тепловий потік Ф1 на виході температура в печі. Обуренням є ΔQ - відносно малі втрати теплової енергії при відкритті заслінок шлюзування печі. Зазначимо, що заслінки шлюзування є частиною шлюзової камери печі, яка призначена для мінімізації теплових втрат під час завантаження. Це здійснюється за рахунок того, що одна із заслінок камери шлюзування завжди закрита і, отже, відсутня безпосередній контакт між атмосферою печі та атмосферою цеху.

Температура в зоні нагріву залежить від наступних параметрів: теплового потоку від нагрівача зони нагріву, втрати тепла через стінки печі, які в свою чергу визначаються тепловим потоком між зовнішніми стінками печі та атмосферою цеху, та тепловим потоком, що йде на нагрівання стінок печі, теплоємністю атмосфери печі , теплоємністю матеріалу, з якого виготовлена піч. Розподіл теплового потоку від нагрівачів представлено схематично на Рис. 4.5.2.



1 – вентилятор зони нагрівання печі;
2 – секції нагрівача;
3 – внутрішній простір печі;
4 – конвеєр печі;
5 – стінки печі.

Рисунок 4.5.2 – Схема розподілу тепла у зоні нагрівання печі.

На Рис. Ф1 - тепловий потік від нагрівача, Ф12 - тепловий потік з робочого простору печі в її корпус, Ф2 – тепловий потік від стін печі в атмосферу цеху, Ф1С - тепловий потік, що йде на нагрівання атмосфери печі, Ф2С – тепловий потік, що йде на нагрівання стін печі.

При побудові моделі прийнято такі припущення:

- витік тепла з печі через заслінки відсутня;
- розподіл температури у зоні нагрівання рівномірно з допомогою вентилятора;
- температура у всіх зонах печі однакова;
- теплообмін між сусідніми зонами нагріву дуже малий;
- процеси, що протікають у симисторах_швидкоплинні, в порівнянні з процесом нагрівання тому для моделі можна прийняти, що перетворення сигналу завдання у величину вхідного струму нагрівача відбувається за лінійним законом.

Вихідні дані для побудови математичної моделі зони нагрівання печі представлені у таблиці 4.5.1.

Таблиця 4.5.1 Вихідні дані для побудови моделі зони нагріву печі

Найменування параметру	**Позначення параметра**	**Одиниця виміру**	**Значення**
1	2	3	4
Довжина зони нагрівання	*l1*	*м*	1.5
Висота зони нагрівання	*h1*	*м*	0.8
Ширина зони нагрівання	*l2*	*м*	1.2
Висота печі	*h2*	*м*	1.2
Ширина печі	*l3*	*м*	1.8
Питома теплоємність ендогазу	c_1	$\frac{Дж}{кг\ ⌈C}$	1.051 · 103
Щільність ендогазу	*ρе*	$\frac{кг}{м^3}$	1.4
Коефіцієнт теплопередачі між матеріалом (шамотна цегла/піношамот) та атмосферою печі	*α2*	$\frac{Вт}{м^2\ ⌈C}$	10÷12,5
Питома теплоємність піномату	c_2	$\frac{Дж}{кг\ ⌈C}$	0,58 · 103
Щільність піношамота	*ρш*	$\frac{кг}{м^3}$	0.83 · 103

Застосовуючи метод електроаналогій [16], розподіл тепла в зоні нагріву печі можна представити електричною схемою, представленою на Рис. 4.5. 4.5.

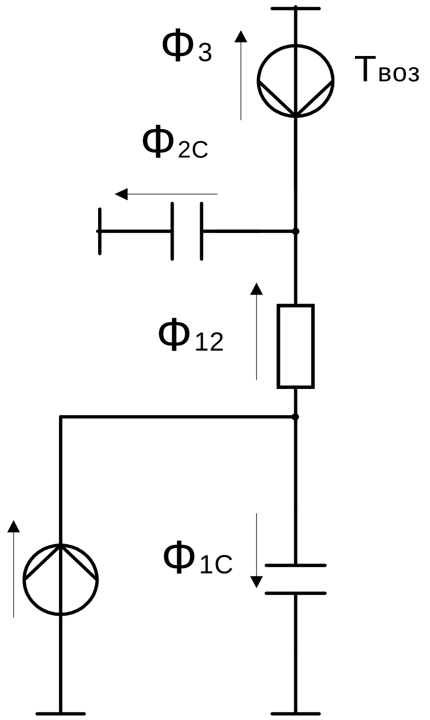


Рис. 4.5.3 - Еквівалентна електрична схема зони нагрівання печі

Для цієї електричної схеми можна записати таку систему топологічних рівнянь:

$$\begin{aligned} &\Phi_1 \; Z\Phi_{12} \; X\Phi_{1C}; \\ &\Phi_{12} \; Z\Phi_2 \; X\Phi_{2C}; \\ &T_{наг} \; ZT_1 \; XT_{\partial 1}; \\ &T_1 \; ZT_2 \; XT_{\partial 2}; \\ &T_2 \; ZT_{возд} \; XT_{\partial 3}. \end{aligned} \qquad (4.5.1)$$

де $T_{наг}$ – температура нагрівача у зоні нагрівання, °С;

T_1 – температура у зоні нагріву печі, °С;

T_2 – температура матеріалу печі, °С;

$T_{возд}$ – температура повітря у цеху, в якому розташовується піч, °С;

$T_{\partial 1}$ – різниця між температурою нагрівача та температурою атмосфери печі, °С;

$T_{\partial 2}$ – різниця між температурами атмосфери печі та температури матеріалу корпусу печі, °С;

$T_{\partial 3}$ – різниця між температурою матеріалу корпусу печі та температурою повітря в цеху, °С.

На підставі системи рівнянь (4.5.1) збудуємо алгебраїзований граф зв’язків між топологічними рівняннями системи.

Граф зв’язків між топологічними рівняннями системи представлено Рис. 4.5.4.

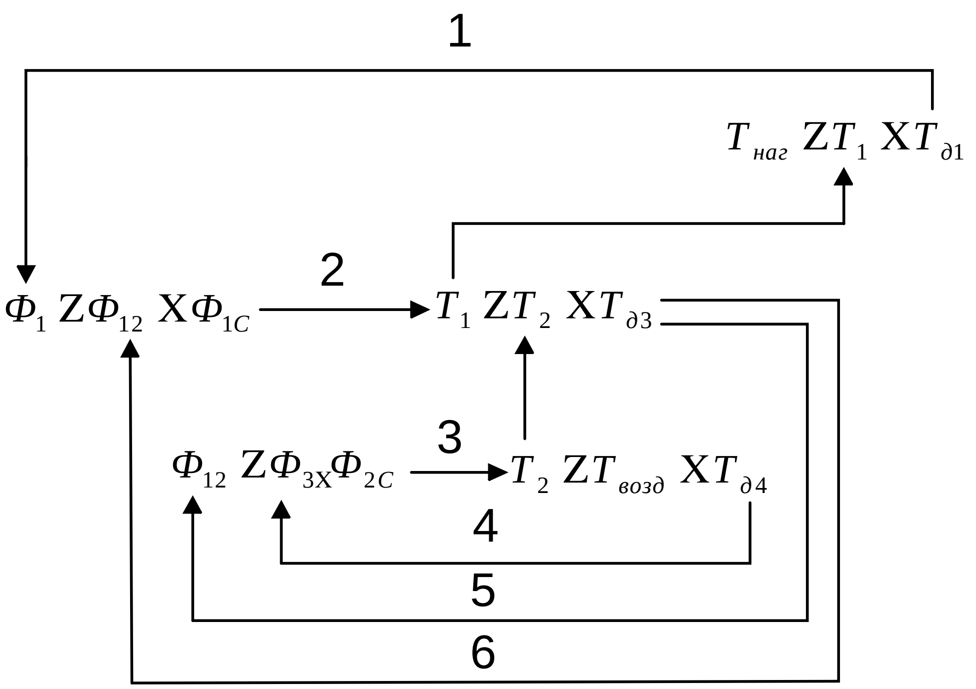


Рисунок 4.5.4 - Алгебраїзований граф зв’язків між топологічними рівняннями системи

Компонентні рівняння та відповідні їм передавальні функції, представлені в таблиці 4.5.2, визначають кількісні взаємозв’язки фізичних величин.

Таблиця 4.5.2 – Фізичні рівняння та передавальні функції теплової системи

Фізичні залежності	Передавальні функції
1	2
$\Phi_1 \text{X}\sim_1 \; A_1 \; T_{\partial 1}$	$W1=\alpha_1 \cdot A1$
$\Phi_{1C} \text{X} C_1 \dfrac{dT_1}{dt}$	$W_3 \text{X} \dfrac{1}{C_1 \; p}$
$\Phi_{2C} \text{X} C_2 \dfrac{dT_2}{dt}$	$W_4 \text{X} \dfrac{1}{C_2 \; p}$
$\Phi_2 \text{X}\sim_2 \; A_4 \; T_{\partial 4}$	$W5=\alpha_2 B \cdot A4$

Φ_{21} X~ $_2$ A_3 $T_{\partial 3}$	$W6=\alpha_2$B· A3
Φ_{21} X~ $_2$ A_3 $T_{\partial 3}$	$W7=\alpha_2$B· A3

де A1 - площа нагрівача зони печі, м2;

A2 - Площа внутрішньої поверхні печі, м2;

A3- Площа зовнішньої поверхні печі, м2;

α1 – коефіцієнт теплопередачі між повітрям та матеріалом печі, $\frac{Вт}{м^2 \; ⌈C}$;

α2 – коефіцієнт теплопередачі між матеріалом нагрівача та атмосферою печі, $\frac{Вт}{м^2 \; ⌈C}$;

C1 - теплоємність атмосфери однієї зони печі, $\frac{Дж}{⌈C}$;

C2 – теплоємність матеріалу печі однієї зони нагрівання, $\frac{Дж}{⌈C}$.

На основі таблиці можна побудувати структурну схему зони нагрівання печі (рис. 4.5.5).

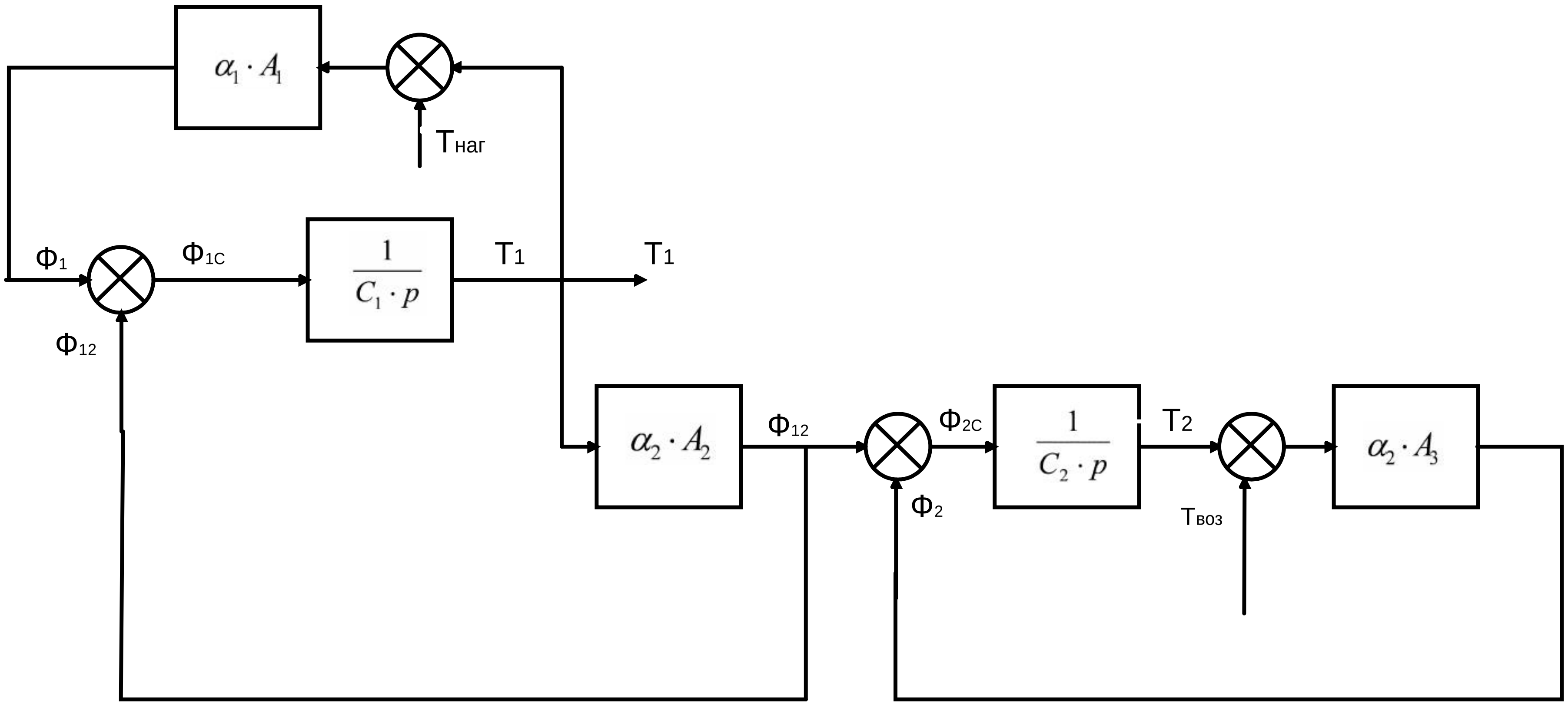


Рисунок 4.5.5 – Структурна схема зони нагрівання

4.5.1.2 Модель нагрівача печі

Вихідні дані для побудови математичної моделі нагрівача у зоні нагрівання печі представлені у таблиці 4.5. 4.5.

Таблиця 4.5.3 - Вихідні дані для побудови математичної моделі нагрівача

Найменування параметру	Позначення параметра	Одиниця виміру	Значення
1	2	3	4
Довжина провідника нагрівача, що нагрівається, в зоні нагрівання.	*l3*	*м*	9
Діаметр провідника нагрівача, що нагрівається.	*D*	*м*	0.04
Маса нагрівача	*m*	*кг*	64
Питома теплоємність матеріалу нагрівача (нихром)	*з*	$\frac{Дж}{кг \cdot {}^\circ C}$	0.4·103
Питомий опір ніхрому	*ρ*	$\frac{Ом \cdot мм^2}{м}$	110
Номінальний струм нагрівача	*Iн*	*А*	35
Температурний коефіцієнт опору ніхрому	*αе*	${}^\circ C^{-1}$	0.1 · 10-3
Коефіцієнт теплопередачі між матеріалом нагрівача та атмосферою печі	*α1*	$\frac{Вт}{м^2 \cdot {}^\circ C}$	7.5-11

Нагрівач являє собою пристрій, що перетворює електричну енергію на теплову [11]. Для секції нагрівача можна записати рівняння електричної потужності:

$$P = I^2 \cdot R_{наг} \cdot \eta, \qquad (4.5.2)$$

де I - Струм нагрівача, А;
Rнаг - опір секції нагрівача, Ом;
η – коефіцієнт корисної дії.

Потужність, що виділяється секцією нагрівача, не є постійною величиною, так як за зміни температури нагрівача змінюється його опір. Ця зміна описується наступним виразом:

$$R = R_0 \cdot (1 + \alpha_e \cdot \Delta T_{наг}), \qquad (4.5.3)$$

де R0 - опір секції нагрівача при температурі 20 С, Ом;

α_e - температурний коефіцієнт опору матеріалу

нагрівача, $^{\circ}C^{-1}$;

ΔТнаг – зміна температури нагрівача, ºС.

Опір провідника нагрівача можна визначити з формули:

$$R_0 = \rho \cdot \frac{l_3}{S}, \qquad (4.5.4)$$

де ρ – питомий опір матеріалу нагрівача, $\frac{Ом \cdot мм^2}{м}$; l3 - Довжина нагрівача, м;

S- Площа поперечного перерізу нагрівача, м2.

Потужність, що виділяється в нагрівачі, можна як тепловий потік, що надходить в нагрівач.

Якщо проінтегрувати рівняння за часом, можна отримати кількість енергії, що виділилося в нагрівачі:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot dt, \qquad (4.5.5)$$

Енергія, що виділилася в нагрівачі, витрачається на нагрівання нагрівача та на нагрівання атмосфери печі.

Для енергії витрачається на нагрівання матеріалу нагрівача можна записати таку формулу:

$$Q_{наг} = c \cdot m \cdot \Delta T_{наг}, \qquad (4.5.6)$$

де $Q_{наг}$ – енергія, що витрачається на нагрівання нагрівача, Дж,

c – питома теплоємність речовини нагрівача, $\frac{Дж}{кг \cdot {}^{\circ}C}$;

$\Delta T_{наг}$ – зміна температури матеріалу нагрівача під час передачі йому енергії $Q_{наг}$;

m – маса секції нагрівача, кг.

Енергія, що виділяється нагрівачем в атмосферу печі, можна визначити за формулою:

$$Q_1 = \Phi_1 \cdot dt, \qquad (4.5.7)$$

де Q1 - енергія, що виділилася в атмосферу печі.

З вище розглянутого, можна скласти структурну схему нагрівача. Структурна схема нагрівача представлена Рис. 4.5.6.

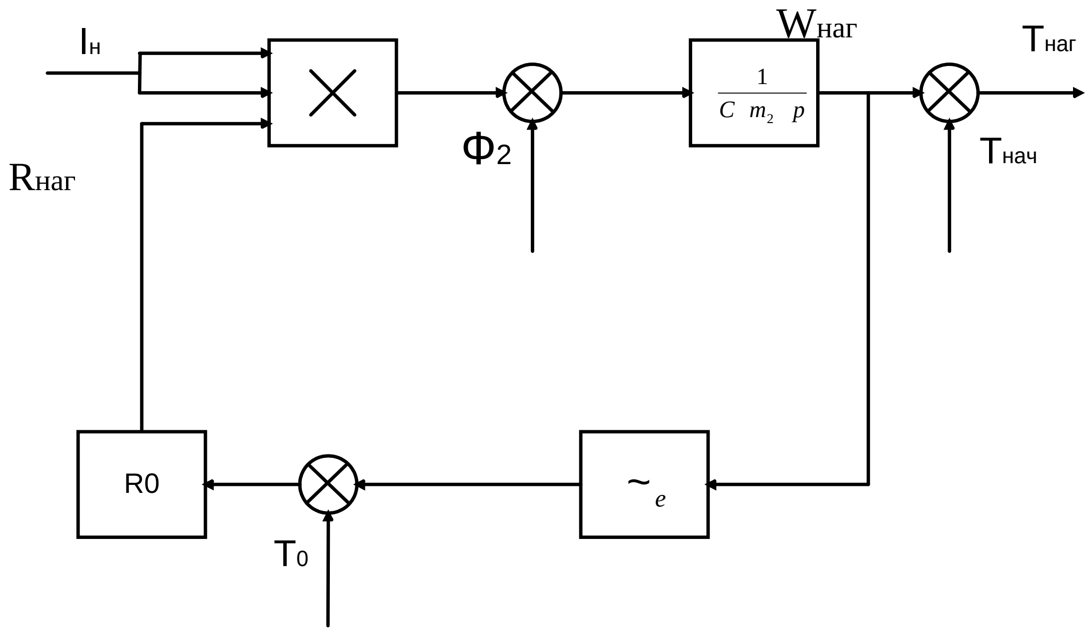


Рис. 4.5.6 – Структурна схема нагрівача

Застосовуючи формули (4.5.6) і (4.5.7) можна записати вираз для передавальної функції нагрівача:

$$W_{наг} \text{X} \frac{1}{c \;\; m \;\; p}, \tag{4.5.8}$$

де c – питома теплоємність матеріалу нагрівача, $\frac{Дж}{кг \;\; \lceil C}$;

m - Маса нагрівача, кг.

4.5.1.3 Побудова САР температури для зони нагрівання

Структурна схема САР температури для зони нагрівання представлена Рис. 4.5.7.

Wз.п. - Передавальна функція зони нагріву печі; Wнаг. - Передавальна функція нагрівача; WШІМ - передавальна функція широтно-імпульсного модулятора; Wрег. - Передавальна функція регулятора температури; Узад. - Пристрій управління, що видає сигнал завдання; Wдат.тем. – передатна функція датчика температури. Пристрій управління, ШІМ та регулятор температури реалізовані у схемі на базі програмованого логічного контролера.

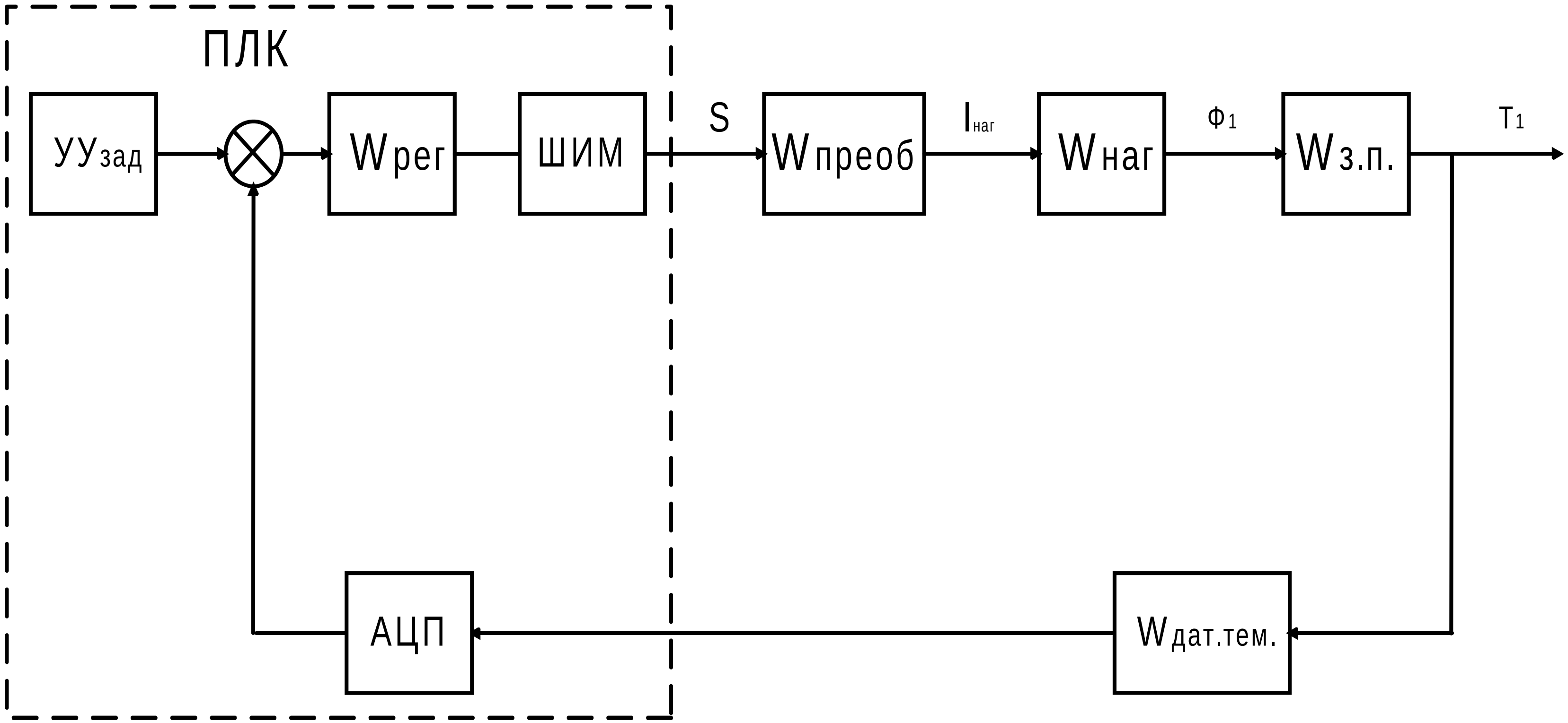


Рис.. 4.5.7 – Структурна схема САР температури

4.5.1.4 Визначення коефіцієнтів передавальних функцій моделі нагрівання печі та моделі нагрівача

Площа поверхні нагрівача визначається за такою формулою:

$$A_1 \, \mathrm{X} l_3 \;\; (\frac{D}{2})^2 , \qquad (4.5.9)$$

де l_3 - Довжина нагрівача в зоні нагріву, м;

D - Діаметр провідника нагрівача, м;

A_1 - площа нагрівача, *м2*.

Підставляючи у формулу значення таблиці 4.5.3 отримаємо:

$$A_1 \, \mathrm{X} 9 \;\; (\frac{0.04}{2})^2 = 0.0036 \text{ м2.}$$

Площу внутрішньої поверхні зони нагрівання печі можна визначити таким чином:

$$A_2 \, \mathrm{X} 2 \;\; l_1 \;\; h_1 \, \Gamma 2 \;\; l_1 \;\; l_2 , \qquad (4.5.10)$$

де l_1 - Довжина зони нагріву, м;

l_2 - Ширина зони нагріву, м;

h_1 - висота зони нагріву, м;

A_2 - Площа внутрішньої поверхні зони нагрівання, м2.

Підставляючи значення таблиці 4.5.1 отримаємо:

$$A_2 \, \mathrm{X} 2 \;\; 1.5 \;\; 0.8 \, \Gamma 2 \;\; 1.5 \;\; 1.2 = 6 \text{ м2.}$$

Площу зовнішньої поверхні зони нагріву печі можна визначити таким чином:

$$A_3 \, \mathrm{X} 2 \;\; l_1 \;\; h_2 \, \Gamma 2 \;\; l_1 \;\; l_3 , \qquad (4.5.11)$$

де l_1 - Довжина зони нагріву, м;

l_2 - Ширина зони нагріву, м;

h_2 - висота печі, м;

l_3 - Довжина нагрівача в зоні нагріву, м.м.

Підставляючи значення таблиці 4.5.1 визначимо площу зовнішньої поверхні:

$$A_3 \, \mathrm{X} 2 \;\; 1.5 \;\; 1.2 \, \Gamma 2 \;\; 1.5 \;\; 1.8 = 9, \text{ м2.}$$

Визначимо теплоємність атмосфери зони печі, для цього скористаємося такою формулою:

$$C_1 \; \mathrm{X} c_1 \;\; ^\circ{}_{э} \;\; V_1 , \qquad (4.5.12)$$

де V1 - обсяг зони нагріву печі, $м^3$;

з 1- Питома теплоємність ендогазу, $\frac{Дж}{кг \;\; \lceil C}$;

$^\circ{}_{э}$ - Щільність ендогазу, $\frac{кг}{м^3}$;

З 1 – теплоємність атмосфери печі, $\frac{Дж}{\lceil C}$.

Обсяг можна визначити з геометричних розмірів зони печі, зазначених у таблиці 4.5.1:

$$V_1 \; \mathrm{X} l_1 \;\; h_1 \;\; l_2 , \qquad (4.5.13)$$

де l_1 - Довжина зони нагріву, м;

l_2 - Ширина зони нагріву, м;

h_1 - висота зони нагріву, м.м.

Підставляючи значення з таблиці 4.5.1 до формул (4.5.12, 4.5.13) розрахуємо значення теплоємності атмосфери в зоні нагрівання печі:

$$V_1 \; \mathrm{X} 1.5 \;\; 0.8 \;\; 1.2 \; \mathrm{X} 1.44 \text{, м3;}$$

тоді теплоємність атмосфери зони печі:

$$C_1 \; \mathrm{X} 1051 \;\; 1{,}4 \;\; 1{,}44 \; \mathrm{X} 2118.82 \, , \frac{Дж}{\lceil C} .$$

Аналогічно можна визначити теплоємність частини корпусу, яка розташована навколо зони нагрівання печі:

$$C_2 \; \mathrm{X} c_2 \;\; ^\circ{}_{ш} \;\; V_2 , \qquad (4.5.14)$$

де V2 - обсяг займаний матеріалу корпусу печі в зоні нагріву, $м^3$.

с2 – питома теплоємність матеріалу печі, $\frac{Дж}{кг \;\; \lceil C}$;

$^\circ{}_{ш}$ - Щільність матеріалу печі, $\frac{кг}{м^3}$;

С2 – теплоємність стінок печі, що межують із зоною нагрівання, $\frac{Дж}{°С}$.

Об’єм можна визначити з геометричних розмірів зони печі, зазначених у таблиці 4.5.1:

$$V_2 = l_1 \cdot h_2 \cdot l_3 - V_1, \qquad (4.5.15)$$

де V1 - обсяг зони нагріву печі, $м^3$;

l_1 - Довжина зони нагріву, м;

h_2 - висота печі, м;

l_3 - Довжина нагрівача в зоні нагріву, м.м.

Підставляючи значення таблиці 4.5.1 у формулі (4.5.15) визначимо теплоємність матеріалу корпусу печі в зоні нагрівання:

$$V_2 = 1.5 \cdot 1.2 \cdot 1.8 - 1.44 = 1.8, \text{ м3};$$

тоді теплоємність корпусу (4.5.14):

$$C_2 = 580 \cdot 1290 \cdot 1.8 = 1336320, \ \frac{Дж}{°С}.$$

При підстановці значень з таблиці 4.5.1 і вище розрахованих значень у математичні вирази передавальних функцій, зазначені в таблиці 4.5.2, передавальні функції набудуть вигляду:

$$W1 = 0.0018 \cdot 14 = 0.0504;$$

$$W_3 = \frac{1}{2118.82 \cdot p};$$

$$W_4 = \frac{1}{1336320 \cdot p};$$

$$W5 = 12.5 \cdot 9 = 112{,}5;$$

$$W6 = 12.5 \cdot 6 = 75;$$

$$W7 = 12.5 \cdot 6 = 75.$$

Передатна функція нагрівача при підстановці у формулу (4.5.8) даних з таблиці 4.5.3 набуде вигляду:

$$W_{наг1} = \frac{1}{400\ \ 64\ \ p} = \frac{1}{25600\ \ p}.$$

4.5.1.5 Визначення передавальної функції датчика температури

Пристрій, що вимірює температуру печі, є термопару. На виході датчика формується сигнал як уніфікованого сигналу 4÷20 мА.

Діапазон вимірювання датчика (DТизм) 0÷1000 ºС.

Сигнал з датчика надходить у програмований логічний контролер, на вході якого знаходиться аналого-цифровий перетворювач (АЦП). АЦП перетворює сигнал датчика з аналогового значення значення температури (Тк) в діапазоні 0 ÷ 1000 ºС. Тому якщо розглядати термопару спільно з АЦП як єдиний датчик, отримаємо передатну функцію датчика.

$$W_{дат.тем.} = \frac{T_{к}}{T_{изм.макс}}, \qquad (4.5.16)$$

де Тк – максимальне значення температури, що визначається контролером, ºС;

Тизм.макс – максимальне значення температури вимірюване датчиком, ºС.

Підставляючи у формулу (4.5.16) отримаємо:

$$W_{дат.тем.} = \frac{1000}{1000} = 1.$$

4.5.1.6 Передатна функція перетворювача

Доцільним буде розглядати блок-ШІМ (широтно-імпульсний модулятор), реалізованих на базі контролера, і симисторний перетворювач як єдиний пристрій, далі називається «Перетворювач».

ШІМ видає послідовність імпульсів, тривалість яких залежить від величини помилки на вході перетворювача. Струм, що подається на нагрівач, пропорційний шпаруватості імпульсів. Запишемо вираз для шпаруватості імпульсу:

$$S = \frac{t_{имп}}{T}, \qquad (4.5.17)$$

де tімп - тривалість імпульсу, с;

Т – період імпульсу, з.

Симисторний перетворювач перетворює тривалість імпульсу у вхідний струм нагрівача.

Таким чином, передатна функція перетворювача виглядає так:

$$W_{преоб.} \text{X} \frac{I_{н}}{T_{зад.макс}}, \qquad (4.5.18)$$

де Ін - номінальний струм нагрівача, А;

Тзад.макс – максимальна величина завдання температури.

Підставляючи значення номінального струму (таблиця 4.5.3) та діапазону завдання температури отримаємо:

$$W_{преоб.} \text{X} \frac{35}{1000} \text{X} 0.035, \text{ А/С.}$$

5. Економічна частина

5.1. Розрахунок капітальних витрат на розробку й впровадження устаткування

Підрахуємо капітальні витрати на реалізацію проекту автоматичної системи керування процесом копчення.

Витрати на реалізацію проекту містять у собі капітальні витрати ($К_{КАП}$) і будуть складатися з витрат на складання проекту ($К_{С.П}$), вартості устаткування для автоматизованої системи керування ($К_{УСТ}$) витрати на монтаж і зборку ($К_М$). Також будемо враховувати інші видатки, такі як: транспортні видатки та видатки на непередбачені потреби ($К_{ПР}$) (приймемо їх як 10% від витрат на реалізацію проекту). Тобто:

$$К_{КАП} = К_{С.П.} + К_{УСТ} + К_М + К_{ПР.}$$

Витрати на складання проекту $К_{С.П.}$:

Час розрахунку проектної документації - 1 місяць, місячний оклад інженера проектувальника становить 14000,00 грн.

$$К_{С.П.} = \text{оклад} + \text{ЄСВ } (22\%)$$

Тоді:

$$К_{С.П.} = 14000,00 + 3080 = 17080,00 \text{грн}$$

Витрати на монтаж устаткування $К_М$:

Кількість людей, необхідних для монтажу автоматизованої системи керування процесом копченя - 2 людини, розрядність роботи з монтажу - 4 розряд, місячний оклад електрослюсаря цього розряду становить 8500,00грн.

Час на монтаж і налагодження устаткування автоматизованої системи керування складає 1,5 місяця.

Тому:

$$К_М = 2 \cdot 1,5 \cdot (\text{оклад} + \text{ЄСВ } (22\%))$$

$$К_М = 2 \cdot 1,5 \cdot (14000+3080) = 51\ 240,00 \text{ грн}$$

Витрати на вартість устаткування для автоматизованої системи керування представимо у вигляді кошторису, $К_{ОБ}$:

Таблиця 5.1.1

Кошторис витрат на придбання устаткування

	Найменування	**Ціна, грн.**	Кількість	**Сума, грн.**
1.	Програмувальний логічний контролер ПЛК150	**7 740,00**	1	**7 740,00**
2.	Модуль аналогового виводу МУ110-8И	**4200,00**	1	**4 200,00**
3.	Модуль висновку керуючий МВУ8	**1920,40**	1	**1920,40**
4.	ПИД - регулятор МПР151-Щ4	**1885,60**	1	**1885,60**
5.	Блок живлення БП 15	**984,00**	2	**1968,0**
6.	Блок комутації силових тиристорів БКСТ 1	**406,10**	1	**406,1**
7.	Сенсорні панельні контролери з Ethernet СПК1хх.	**11 880,0**	1	**11 880,0**
8.	Кабель КВП-5е 4х2х0,52	**8,5**	600 м.	**5100,0**
9.	Трансформатор ТСП - 10/0,7	**20650**	1	**20650**
10.	Датчики температури ТСП100	**3307**	1	**3307**
11.	Камера копчення КТД-500	**300000**	1	**300000**
Разом:				**359 057,1**

Розрахуємо непередбачені потреби КПР:

Далі щоб довідатися витрати на інші потреби треба

$$КПР_{.}= (К_{С.П.} + К_{ОБ} + К_{М}) \cdot 10\%$$

$$КПР_{.}= (17080 + \mathbf{359\ 057{,}1 + 51240}) \cdot 10\%$$

$К_{ПР.}$ = 470 114,81 грн.

У такий спосіб розрахуємо капітальні витрати на реалізацію проекту розробки автоматизованої системи керування

$$К_{КАП} = К_{С.П.} + К_{УСТ} + К_{М} + К_{ПР.}$$

$$К_{КАП} = 17\ 080 + 359\ 057{,}1 + 51\ 240 + 42\ 737{,}71 = 470\ 114{,}81 \text{ грн.}$$

Результати зроблених розрахунків зведемо в таблицю:

Таблиця 5.1.2 - Результати розрахунків

Витрати	Сума, грн.
Складання проекту	17 080,00
Вартість устаткування	359 057,1
Монтаж устаткування	51 240,00
Інші видатки	42 737,71
Разом:	**470 114,81**

Тому що на основний деаераторі три паралельних галузі деаерації, капітальні витрати на один деаератор складуть, грн:

$$К_{КАП} = 470\ 114{,}81 \cdot 3 = 1\ 410\ 344{,}43 \text{ грн}$$

5.2. Розрахунок поточних витрат на експлуатацію

Розрахуємо поточні витрати на експлуатацію системи $К_{ТЕК}$, тому що камера КТД має безперервний цикл робіт, можливо припустити, що в рік напрацювання буде складати максимум 8760 годин/рік.

Енергоспоживання автоматизованої системи, різниця по потужності між старою системою й нової, складе 184 Вт.

Вартість одного кВт/години на власні потреби установки становить приблизно 3,02грн.

Тоді $К_{ТЕК}$, грн:

$$К_{ТЕК} = 8760 \cdot 0{,}184 \cdot 3{,}02 = 4868{,}00 \text{грн}$$

5.3. Розрахунок економічного ефекту від впровадження автоматизованої системи

При підготовці магістерської роботи було з'ясовано, що на аналогічних установках копчення в м. Кременчук (2019р.) і в м. Черкаси (2020р.) після автоматизації на основі мікропроцесорної техніки нова система дозволила не тільки підвищити якість керування, але й збільшити продуктивність в 1,7 рази. У результаті отриманий чистий прибуток збільшився в 1,6 рази - будемо вважати це досягнутим економічним ефектом.

Оптова ціна готової продукції за 1 кг у нашому регіоні становить приблизно 180,00 грн (з урахуванням ПДВ).

Отже економічний ефект від впровадження автоматизованої системи керування процесом копчення складе:

$$Е = 10000 \cdot 180 = 1\ 800\ 000 \text{ грн.}$$

Час окупності автоматизованої системи керування розрахуємо по формулі:

$$К_{ТЕК} + К_{КАП} / Е = Т_{ОК},$$

де Е - ефект від впровадження нової автоматизованої системи керування, грн.;

Тоді $Т_{ОК}$ – час окупності, року.

$$1\ 410\ 344{,}43 + 4868{,}00 / 1\ 800\ 000 = 0{,}79 \text{ р.}$$

$$Т_{ОК} = \ \approx 0{,}8 \text{ р.}$$

$$Т_{ОК.М} = 0{,}8 \cdot 12 \text{ мес.} = 10 \text{ мес.}$$

Отже, час окупності розробленої автоматизованої системи керування процесом копчення складе 10 місяців.

Висновки за розділом

Виходячи з проведених розрахунків можемо зробити наступні висновки:

1. Капітальні витрати на реалізацію проекту розробки автоматизованої системи керування склали 470 114,81 грн.;
2. Річна експлуатаційна продуктивність збільшилась;
3. Витрати на електроенергію збільшились на 4 868,0 грн.;
4. Економічний ефект від проведеної модернізації становить 1 800 000 грн.;
5. Термін окупності становить 10 місяці.

Висновок

У магістерській роботі розроблена система управління процесом гарячого копчення риби.

Суть розроблювального проекту полягає:

- в автоматизації управління роботою камери копчення, що дозволяє скоротити час на обслуговування установки, а також поліпшити показники роботи;

- в установці сучасної системи керування на базі логічного контролера Овен ПЛК 150, що дозволяє знизити експлуатаційні витрати.

У проекті проводиться дослідження й аналіз технічної системи тобто принципу роботи камери копчення. Подібні дослідження представлені у вигляді алгоритму управління установкою. Приводиться програма керування камерою копчення. Введено рециркуляційну заслінку, як об’єкт, що дозволяє забезпечити більш надійну роботу установки. У розділі «Економічна ефективність» доводиться доцільність впровадження пропонованого устаткування.

Список використаних джерел

1. В. Л. Анхимюк. Теорія автоматичного регулювання / В.Л.Анхимюк. - М.: Мангуст, 2000. - 144 с.
2. М. Вилеб. Датчики. Пристрій і застосування / Г.Вилеб. - М.: Мир, 1993. - 145 з.
3. Б.М.Цим. Вибір потужності електроприводів виробничих механізмів: Учб. посібник для вузів / Б.М.Цим. - Комсомольск-на-Амурі: КГТУ, 1997. - 126 з.
4. В. І. Ключев. Теорія електропривода / В.ІИ. Ключев. - М.: Енергоматіздат, 1985. - 560 с.
5. І.П. Копилов. Довідник по проектуванню електричних машин в 2 т. Т. 1. Електричні машини / Копилов, И.П. - М.: Енергоматіздат, 1979. - 480 с.
6. Довідник 6-6202-7120-170-22. Нормативи часу на електромонтажні роботи М.: Енергоіздат, 1984 - 60 с.
7. Мікроконтролери [електронний ресурс]. - Режим доступу: http://www.owen.ru/mpr51/charact.htm (Опис контролера Owen). - Загл. з екрану. Мова. рос., англ.
8. Мікроконтролери [електронний ресурс]. - Режим доступу: http://www.syst.ru/mkr2/in_out.htm#ainor-rtd (Опис модулів). - Загл. з екрану. Мова. рос., англ.
9. М.Ф. Ільїнський. Електропривод: енерго- і ресурсозбереження / М. Ф. Ільїнський, В. В. Москаленко. - М.: Академія, 2008. - 208 с.
10. Електроустаткування підприємств харчової промисловості / В.Д. Афанасьєв і ін. - М.: Металургиздат, 1996 - 289 с.

Д О Д А Т К И

3. Mathematical model of the control object

3.1. Definition of mathematical model of control object

In this paper we consider a chamber for smoking fish. The functional diagram of the camera as an object of control can be represented as follows.

Adjustment occurs in two circuits. Input parameters or control parameters are heat (heat) emitted by the heater and air (B). The amount of heat and air supplied to the chamber is regulated by means of units (c). The magnitude of the impact is determined by PLC. The initial parameters of the chamber are temperature (T) and humidity (VL). We will adjust the parameters of the smoking chamber by adjusting these parameters. The output signals are recorded by thermometers, then converted by sensors into voltage (U1 and U2). Then the signals are sent to the appropriate adders, where the comparison of values with the specified. The difference between these values is amplified by amplifiers (n). The adjusted and amplified value on humidity arrives in the engine (Dzas) of a recirculation gate. Engine speed through the gearbox (p) will be converted into valve deviation (zaz). The damper, in turn, regulates the humidity in the chamber. When the humidity is higher than specified, the steam must be released - the damper opens, and vice versa. The temperature in the chamber is regulated by means of an exhaust fan, ie when the set temperature is exceeded. rounds the fan turns on, the air goes out, the temperature drops and vice versa. If the temperature does not increase due to the signal from the PLC, the heating element is switched off.

Let’s make transfer functions and differential equations for links, for this purpose we will use the data given in [3]. Most often the object of this class is represented in the form of the following transfer functions:

- smoking chamber $W(p) = \frac{K_c}{(T_1p+1)(T_2p+1)} \Rightarrow$

$T_1T_2\frac{d^2X_{ВИХ}(t)}{dt^2}+(T_1+T_2)\frac{dX_{ВИХ}(t)}{dt}+X_{ВИХ}(t)=K_c*X_{eX}(t)$;

- humidity converter $W\ (p) = K_1 \Rightarrow X_{ВИХ}(t) = K_1 * X_{ВХ}(t)$;
- voltage amplifier $\Delta U_1\ W\ (p) = K_2 \Rightarrow X_{ВИХ}(t) = K_2 * X_{ВХ}(t)$;
- engine (Dzas) $W\ (p)=\frac{K_3}{T_3p+1} \Rightarrow T_3\frac{dX_{ВИХ}(t)}{dt}+X_{ВИХ}(t)=K_3*X_{eX}(t)$;

- engine (Dven) $W\ (p) = \frac{K_9}{T_9 p+1} \Rightarrow T_9 \frac{dX_{ВИХ}(t)}{dt} + X_{ВИХ}(t) = K_9 * X_{eX}(t)$;
- reducer $W\ (p) = K_4 \Rightarrow X_{ВИХ}(t) = K_4 * X_{BX}(t)$;
- choke $W\ (p) = K_5 \Rightarrow X_{ВИХ}(t) = K_5 * X_{BX}(t)$;
- voltage amplifier $\Delta U_2\ W\ (p) = K_7 \Rightarrow X_{ВИХ}(t) = K_7 * X_{BX}(t)$;
- temperature converter $W\ (p) = K_6 \Rightarrow X_{ВИХ}(t) = K_6 * X_{BX}(t)$;
- fan $W\ (p) = \frac{K_8}{p} \Rightarrow \frac{dX_{ВИХ}(t)}{dt} = K_8 * X_{eX}(t)$;

Let's make the equation of dynamics of system on the channel giving and managing influence.

For humidity control circuit (1 circuit):

$$\Phi_{X_3'}(p) = \frac{x'(p)}{x_3'(p)} = \left(\frac{\mathrm{k}e^{-\tau_0 p}}{p(T_3p+1)(T_2p+1)(T_1p+1)}\right) : \left(1 + \frac{k_1 \mathrm{k}e^{-\tau_0 p}}{p(T_3p+1)(T_2p+1)(T_1p+1)}\right) =$$

$$= \frac{\mathrm{k}e^{-\tau_0 p}}{p(T_3p+1)(T_2p+1)(T_1p+1) + k_1 \mathrm{k}e^{-\tau_0 p}};$$

$$x'(p) = \frac{x_3'(p)\mathrm{k}e^{-\tau_0 p}}{p(T_3p+1)(T_2p+1)(T_1p+1) + k_1 \mathrm{k}e^{-\tau_0 p}},$$

where $k = k_2 k_3 k_4 k_5 k_c$

For temperature control circuit (2 circuits):

$$\Phi_{X_3}(p) = \frac{x(p)}{x_3(p)} = \left(\frac{\mathrm{k}e^{-\tau_0 p}}{p(T_1p+1)(T_2p+1)}\right) : \left(1 + \frac{k_6 \mathrm{k}e^{-\tau_0 p}}{p(T_1p+1)(T_2p+1)}\right) =$$

$$= \frac{\mathrm{k}e^{-\tau_0 p}}{p(T_1p+1)(T_2p+1) + k_6 \mathrm{k}e^{-\tau_0 p}};$$

$$x(p) = \frac{x_3(p)\mathrm{k}e^{-\tau_0 p}}{p(T_3p+1)(T_2p+1)(T_1p+1) + k_6 \mathrm{k}e^{-\tau_0 p}},$$

where $k = k_7 k_8 k_c$

Then the block diagram of the smoking chamber as a control object will look like (Fig. 9).

Fig. 9 - Block diagram of the smoking chamber

3.2. Calculation of control device settings

For the first circuit.

$$W'(p) = \frac{\mathrm{k}e^{-\tau_0 p}}{p(T_1p+1)(T_2p+1)(T_3p+1)} = \frac{200e^{-300p}}{p(900p+1)(3600p+1)(0.5p+1)};$$

where $k = k_2 k_3 k_4 k_5 k_c = 2 \cdot 100 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 200$

We apply the PID regulator:

$$W_p(p) = \frac{k_p(T_u p+1)(T_Д p+1)}{T_u p};$$

kp = 0.28; Tu = T2 = 3600 s; TD = 900 s

$$W'(p) = \frac{28e^{-300p}}{p^2 3600(0.5p+1)}.$$

SAC is unstable, get rid of one degree of astatism. To do this, enter the differential correction signal according to the transfer function:

$$W_k(p) = \frac{\mathrm{Tp}}{\mathrm{Tp}+1};$$

Under the condition that T = 0.5s transfer function SAC temperature control will take the form:

$$W'(p) = \frac{14e^{-300p}}{p3600(0.5p+1)^2}$$

For another circuit.

$$W(p) = \frac{\mathrm{k}e^{-\tau_0 p}}{p(T_1 p+1)(T_2 p+1)} = \frac{100e^{-300p}}{p(3600p+1)(900p+1)},$$

where $k = k_7 k_8 k_c = 100 \cdot 1 \cdot 1$

We apply the PID regulator.

$$W_p(p) = \frac{k_p(T_u p + 1)(T_Д p + 1)}{T_u p}$$

kp = 0.16; Tu = 3600 s; TD = 900 s

$$W(p) = \frac{16e^{-300p}}{p^2 3600}$$

Enter the differential component by mistake:

$$W_k(p) = \frac{\mathrm{Tp}}{\mathrm{Tp}+1};$$

When a similar condition is met, that T = 0.5s, the pre-reading function of the ACS humidity control will take the form:

$$W(p) = \frac{8e^{-300p}}{p3600(0.5p+1)}$$

3.3. Control system modeling

To assess the adequacy of the obtained model and verify the operability, we model the system in the Matlab SimuLink environment. To do this, in turn on each channel (temperature circuit and humidity circuit) will give a step signal and record the values obtained.

For temperature circuit:

From the graph we see that the transient time is 50 seconds, and the temperature circuit is quite inertial. This is because the temperature cannot be set immediately.

For the humidity circuit:

From the graph we see that the time of the transition process is also quite large, as there is a direct dependence on temperature.

As a result of modeling, we became convinced that the mathematical model of the smoking chamber is stable, so it makes sense to consider this model as a real system.

Smoking chambers of fish processing enterprises, as a rule, use relay systems to stabilize the temperature of the smoke-air mixture and smoke formation, and less often - the humidity of the mixture. Such systems are not able to provide not only the optimal course of the smoking process in stages, but also simply maintain the parameters of the process with the required accuracy:

- the temperature of the smoke-air mixture - within ± 1 ° C;
- humidity of smoke-air mixture - within ± 5%;
- smoke temperature - within ± 10 ° C;
- the speed of the smoke-air mixture - not less than 2 m / s;
- smoke concentration - constant, which allows, on the one hand, to speed up the process of obtaining finished products without reducing its quality, and on the other hand, to reduce the cost of electricity and wood to produce smoke.

Maintaining the optimal smoking parameters during the whole process allows you to most effectively saturate the fish with smoking components, giving the finished product the best taste, aroma and color. Additional difficulties for controlling the smoking process create random, but no less significant changes in parameters:

- raw materials, depending on the type, size, degree of processing, place and time of catch, storage and transportation;

- wood, depending on the species of wood, size and humidity of sawdust;
- environment.

As a result, the variations in the parameters of the control object are so large that to talk about the optimal control of the smoking process without the use of adaptive control systems is simply meaningless. The decision of all listed problems can be received as a result of application of the control system developed by us with the regulators adjusted on average or found out empirically value of parameters.

object.

In addition, the use of digital system allows you to create a holistic, informative and user-friendly interface of the technologist operator. The real effect of the operation of such a system can be obtained by saving electricity consumption, reducing the cycle time, improving the quality of products.

Successful entrepreneurs have long used automata in their activities, which control the actuators and mechanisms. Systems built on such machines are very reliable and easy to maintain, but their use is limited by the algorithms embedded in them, which can not be changed or adapted to changing technologies. The use of devices with rigid logic increases the cost of the whole project, because you have to add intermediate relays, time relays and other similar devices to implement various functions of the technological process, not specified in the algorithm of control machines.

Thanks to programmable logic controllers (PLCs) nowadays it is possible to solve many tasks relatively easily and inexpensively with one device. Specialists of many companies from all PLC manufacturers on the market chose the devices of Russian manufacturers - ARIES. With the use of programmable controllers control capabilities have significantly expanded, now you can create the necessary software algorithms, adjust them to the tasks and requirements of a particular process, replace one PLC a large number of control and measuring devices.

With the advent of the possibility of describing the algorithm of the entire system in one device, the need for additional control devices disappears, which significantly reduces the cost of the whole project. It should also be noted that cheap twisted pair is used to connect the controls, and the elements themselves are close to the actuators, which reduces the number of connecting cables and increases the reliability of the system, the accuracy of registered and regulated parameters. Such projects are simple to design, easy to set up and relatively low cost.

In developing the project, we tried to establish a wide range of possibilities for its application - not only in the process of smoking - but also in other facilities where climate control systems are used (greenhouses, shops, climate test chambers, etc.).

The main functional features of the complex:

- simplified control of chamber equipment;
- temperature measurement;
- humidity measurement;
- control of chamber equipment is carried out both on average value of temperature and humidity, and on measured value at any point;
- control of cooling, heating, humidification and dehumidification modes in the automatic mode according to the set program;
- control of supply and ventilation units and drives of air supply and exhaust valves in the automatic mode according to the set program taking into account outside air temperature;
- smooth adjustment of speed of rotation and duration of inclusion of motors of supply fans depending on temperature.

In the development of the automation system as the main programming device was taken controller ARIES - PLC 150.

For automation, a domestic controller was selected that fits the project parameters and has passed Russian certification [14].

ARIES PLC 150 - the programmable logic controller with discrete and analog inputs and outputs:

Technical characteristics of PLC150:

Supply voltage - ~ 90 ... 264 V, 47 ... 63 Hz.

Power consumption - 6 watts.

Backup power - the built-in battery can withstand power outages for up to 10 minutes without rebooting.

Degree of protection of the case - IP20.

The CPU is a 32-bit 200 MHz RISC processor based on the ARM9 core.

The amount of RAM is 8 MB.

The amount of non-volatile memory for storing programs and archives - 3 MB (Flash memory, specialized file system),

The programming environment - CoDeSys 2.3 - is distributed free of charge (included),

Programming languages - IL, ST, LD, SFC, FBD + additional CFC language.

Discrete inputs - 4 (10 kHz in encoder mode - 1 kHz),

Analog inputs - 4 universal - current 0 (4) ... 20 mA, 0 ... 5 mA, voltage 0 ... 1 V, 0 ... 10 V, resistance 0 ... 5 kO. The current and voltage sensors are connected directly and do not require matched resistors.

Discrete outputs - 4 (e / m relay 4 A at 220 V 50 Hz and cos φ - 0.4).

Analog outputs - 4 (universal 4 ... 20 mA or 0 ... 10 V, software switching type of output signal),

Interfaces - RS-485, RS-232, internet 10/100 Mbps,

RS exchange rate - configurable, up to 115200 bps,

Interface for programming and debugging - RS-232, internet,

Possibility of expansion - connection of modules of input / output,

Built-in clock - real time.

A special editor built into the CoDeSys programming environment to create screens with custom mnemonics.

On the visualization screen you can add simple geometric objects, buttons, graphs, tables, histograms, input and output elements. Multiple rendering windows can be created in one project, called by buttons or other methods.

A special window in the CodeSys programming environment that allows you to configure I / O drivers and peripheral exchange on PLC interfaces.

This resource is used to configure:

Z communication of the PLC with expansion modules, GSM-modem, operator panels or other devices that connect to the controller via network interfaces and through supported protocols ARIES, Modbus, Modbus TCP and DCON;

Z setting the inputs and outputs of the PLC to connect sensors and actuators;

Z for ARIES controllers you can configure the statistics module (controller service data) and the archiver module.

The control signals from the PLC are fed to the AC3-M interface converter.

Fig. 13 - Appearance of the AC3-M interface converter

Table №2. Technical characteristics of AC3-M

Name	Value
Nutrition	
High-voltage: - variable (for AC3-M-220) - constant (for for AC3-M-024) Power consumption Permissible voltage of galvanic isolation of inputs	 85… 245 V, 47… 60 Hz 10… 30 V not more than 0.5 VA not less than 1500 V.
RS-232 interface	
Input voltage range Output voltage range The length of the communication line with the external device Data exchange rate Data lines used	+ - 5… 15 V + - 9… 11 V not more than 3 m up to 115,200 bps TxD, RxD, GND
RS-485 interface	
Input voltage range	0.2… 5 V

Output voltage range	1.5… 5 V
The length of the communication line with the external device	not more than 1200 m
Number of devices in the network	not more than 32
Data lines used	A (D +), B (D-)

After the converter we establish the measuring instrument-regulator of temperature and humidity of MPR51-Shch4.

Communication between the PLC and MPR51-Shch4 will be organized according to the MODBUS protocol via the RS-485 industrial data transmission protocol.

In order to control the entire system in real time, to see the readings of sensors at the moment and the ability to adjust the mechanisms, it is possible to connect the touch panel of the operator ARIES JV - 270 [14].

Fig. 15 - Appearance of the panel of the operator JV 270

Technical characteristics of JV 270:

DC supply voltage - 22 ... 26 V,

Rated supply voltage -24 U.

Power consumption - no more than 5 watts.

Display type - color TFT, 178 (7) diagonal, mm (in inches).

Display resolution - 480 x 234 pixels.

Used communication interfaces - RS-232 (2 channels), RS-485 (1 channel),

Interface type for communication with PLC and / or other devices - RS-232, RS-485.

The type of interface for downloading a project from a PC is RS-232.

Panel modes - Master, Slave.

Program memory (Flash-RAM) - 4 MB.

Data memory (SDRAM) - 4 KB.

Built-in real-time clocks - yes.

The operator panel with touch screen SP 270 is a device of the class "human-machine interface", designed to download the control program (project) of the PLC or other devices to which the panel is connected, monitoring and editing the parameters of operation parameters. Allows you to display on the screen the progress of the technological process and edit the values of the parameters responsible for the operation of the system.

The logic of the JV 270 panel is determined by the consumer in the process of configuration on a PC using the software "JV Configurator 200".

The JV 270 panel is designed to perform the following functions:

Z display of the state of the controlled object in real time, with the use of graphic icons (indicators, graphs, rulers, symbols of the equipment, etc.);

Z display of sensory elements, with which the operator directly controls the operation of the object;

Z control of PLC and / or other devices operation; write and read values of registers of PLC and / or other devices to which the panel is connected;

Z prompt change of the operating mode (change of the appearance of the screen and the control interface, control parameters, etc.) by downloading a new project;

Z work in Master or Slave mode.

As a result, the main measuring and regulating body is the regulator MPR51-Shch4. Figure 16 shows an exemplary diagram of the ACS.

The programmable measuring instrument-regulator of the MPR51-Shch4 type is intended for management of multistage modes of temperature and humidity of technological processes at production of meat and sausage products, in the baking industry, in incubators, at drying of macaroni, production of reinforced concrete designs, drying of wood. . according to the user-defined program.

MPR51; Shch4 allows:

• measure the temperature using a resistance thermocouple connected to the inputs Tsukh, Tvolog, Tprod;

• determine the current position of the valves in the presence of resistive position sensors;

• measure the relative humidity with a psychrometric sensor;

• regulate the temperature through two independent channels;

• set a regulatory program to protect it from unauthorized access;

• signal a break or short circuit in the line "device - sensor".

• register monitored settings on an IBM-compatible computer (using the ARIES AC2 interface adapter).

Fig. 17 - Programmable meter-regulator type MPR51-Shch4

Table №3 Technical data MPR51-Shch4

Name	**Value**
AC supply voltage range:	
voltage, V	150… 245
frequency, Hz	47… 63
DC supply voltage range, V	210… 300
Power consumption, VA, no more	12
Temperature measurement channels	
Number of channels	3
Measurement range, C, when using:	
⌡ SCM sensors	-50… + 200
⌡ TSP sensors	-80… + 750
Resolution, C	0.1
The limit of the main reduced	0.5
Latch position control channels	
Number of channels	2
Control range,%	0… 100
Resolution, %	1
When measuring relative humidity sensor psychometric type	
Temperature range controlled by	+ 10… + 95
Measuring range,%	1… 99
Resolution, %	1
The limit of the main reduced error	
⌡ at temperatures + 10… + 49.9 C "dry" sensor,%, not more	5
⌡ at temperatures + 50… + 95 C "dry" sensor,%, not more	4
The period of measurement of input values, s, no more	6.5

Control channels	
Number of control channels	2
Number of comparators	0… 4
Number of output relays	5
Number of output transistor switches	8
The period of following the control pulses at the output of the regulator, p	1… 120
Maximum allowable load current of control devices:	
– electromagnetic relay (at 220V, cos φ≤0,4; or = 30V), A	4
– transistor switch (at constant voltage = 50V), mA	200

As temperature sensors we choose the thermocouple of resistance of TSP 100 of ARIES firm:

Technical characteristics of TSP 100:

Range of measured temperatures -200 ° C… + 750C.

Sensitivity of 0.1 °.