

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ІНЖЕНЕРСЬКОЇ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ДОНУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

автоматики та робототехнічних систем

ім. акад. І.І. Мартиненка

(назва кафедри)

д.т.н., проф.

В.П. Лисенко

(підпис)

(П.І.Б.)

2022 р.

ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ МАГІСТРА

Дослідження та вдосконалення САК процесом регулювання вологості в печі Фастівського хлібокомбінату з використанням КТЗ ОБЕН

Спеціальність: 151 - "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології"

Гарант освітньої програми

К.Т.Н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Мірошник В.О.

(П.І.Б.)

Керівник дипломного проєкту магістра

К.Т.Н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Опришко О.О.

(П.І.Б.)

Виконав

(підпис)

Тетерук Н.С.

(П.І.Б.)

КИЇВ – 2022

Анотація

У магістерському проекті було розглянуто короткий аналіз виробничих процесів в печі, аналіз існуючих систем і ступінь їх автоматизації. Була розроблена система автоматичного контролю вологості.

Зроблено загальну характеристику технологічного процесу виробництва хліба. Процеси і вибір технологічних засобів і засобів автоматизації.

У розрахунках показана раціональність рішень, перевірена рентабельність такої системи.

Annotation

In the master's project, a brief analysis of production processes in the furnace, analysis of existing systems and the degree of their automation was considered. A system of automatic humidity control was developed.

A general description of the technological process of bread production has been made. Processes and selection of technological means and means of automation.

The calculations show the rationality of the solutions, and the profitability of such a system is verified.

ЗМІСТ

						02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			2

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ	6
1.1. Інформаційний аналіз об'єкта керування.....	6
1.2. Опис технологічного обладнання об'єкта керування.....	14
1.3. Розробка функціональної схеми автоматизації.....	19
РОЗДІЛ 2. ПОБУДОВА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА	21
2.1. Загальний підхід до створення математичних моделей ОК.....	21
2.2. Приклад розробки і використання математичної моделі ОК.....	21
РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТОМ	30
3.1 Вибір технічних засобів.....	30
РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ ЯКОСТІ ФНКЦІОНУВАННЯ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ	35
4.1. Оцінка якості автоматичних систем за стандартними показниками якості.....	35
РОЗДІЛ 5. ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА	53
5.1. Вибір пускозахисної апаратури.....	53
5.1.1. Вибір проводів та кабелів.....	58
5.2. Розрахунок надійності схеми автоматичного управління.....	61
5.3. Розробка загального виду щита керування.....	64
РОЗДІЛ 6. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ВОЛОГІСТЮ В ПЕЧІ	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	71

ВСТУП

						02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			3

Нинішній рівень автоматизації вирізняється кількома виробничими цехами з автоматичними режимами. Проте переважачою тенденцією, насамперед при будівництві грандіозних заводів, є введення повної автоматизації, яка визначає систему автоматичного управління всього процесу та творення неподільної інтегрованої системи.

Автоматизація підприємств починається від творення локальних автоматизованих систем для окремих операцій до творення автоматизованих систем керування технічними і виробничими процесами в цілому, включаючи творення організаційних систем, до складу яких входять автоматизовані системи управління підприємством, автоматизовані системи управління виробництвом і автоматизовані системи управління. До них відносяться автоматизовані системи розрахунку будівництва, керування логістикою.

На сьогоднішній день датчики дуже поширені і дають можливість обробляти, збирати, передавати, архівувати і, при необхідності, використовувати обширний обсяг інформації у виробництві за допомогою сучасних інформаційних технологій.

Нині актуальні проектування і будівництво сучасних, розширення, технологічне покращення і переобладнання діючих виробництв.

Хлібопекарська промисловість стикається із збільшенням продуктивності хліба вагою від 0,7 до 0,9 кг на 37-42%, тоді як випікання хліба знижується від 1,0 до 1,3 кг.

За винятком заходів щодо зміни асортименту, продовжується робота щодо доцільного застосування та зменшення витрат борошна.

Важливим чинником підвищення ефективності та продуктивності виробництва є переведення печей на сучасні види палива (газ, нафтопродукти) та електроопалення, що надає перевагу для збільшення культури виробництва, минути тяжкої роботи в печах та збільшити продуктивність.

Підвищена увага присвячується збереженню хліба та перевезення його до полиць магазинів.

						02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			4

Ведеться ефективний пошук вирішення цієї проблеми, розробляються методи використання транспортування зерна в контейнерах, створені розгалужені системи механізації зберігання і транспортування зерна.

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

					02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ	Арк. 5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

1.1. Інформаційний аналіз об'єкта керування

Провівши аналіз технології виробництва, виділимо такі етапи (Рис.1.1)

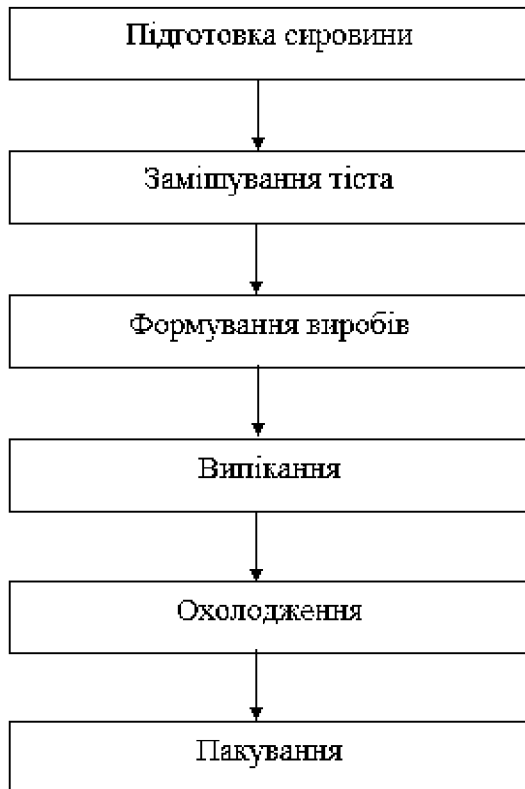


Рис.1.1 Схема виробництва хліба

Одним із найбільш споживаних у світі оброблених харчових продуктів є хліб і технологія, де принципи приготування хліба є одними з найдавніших відомих.

Проте немає точного визначення того, що таке хліб насправді, але унікальна мережа гліотену, яку має хліб, є одним із аспектів, що визначають цей продукт.

Saccharomyces cerevisiae, відомий як пекарські дріжджі, є важливим інгредієнтом у випіканні хліба. Щоб отримати ідеальну булочку, важливо, щоб дозування дріжджів було відповідним, занадто мала кількість спричиняє неактивне бродіння, і тісто виглядає липким. У той час як занадто багато дріжджів може опинитися в тісті, яке є пористим і більш ехильним, до раннього черствіння Пекарським заводам зазвичай потрібне більш жорстке тісто, ніж

домашнє, щоб запобігти застряганню тіста в машині під час випікання. Тому дозування дріжджів регулярно змінюється для досягнення оптимальних хлібопекарських властивостей. Без замісу бульбашки повітря не включатимуть тісто. Не було б жодного розвитку глютенної мережі.

Під час приготування хліба вистоювання є вирішальним кроком. Здатність дріжджів зброджувати глюкозу у вуглекислий газ сприяє розширенню в'язкопружного тіста та утворенню хлібного продукту, а не тіста.

Активність дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* інактивується при температурі вище 55 °C. Стійкість тіста зберігається, коли хліб теплий і тиск у клітинах позитивний. При вищій температурі розстоювання скорочується час, необхідний для нагрівання тіста. Це призводить до зниження якості продукту, оскільки виділення газу стає нерівномірним, що спричиняє неоднорідну клітинну структуру та текстуру булочок.

Фізико-хімічні зміни відбуваються під час приготування хліба, коли тісто формується та перетворюється на хліб. Важливим фактором, як уже згадувалося, домінуючим у цих змінах є температура. Важливо підтримувати постійну температуру духовки, щоб досягти оптимальних результатів випічки.

Борошно є найпоширенішим інгредієнтом булочок для хот-догів. Для великомасштабної випічки важливо, щоб кожне тісто мало однакові властивості. Тому якість борошна має бути постійно однаковою, доброякісною. Борошно поставляється з актом аналізу, борошно поза специфікацією не поставляється.

Пшеничне борошно з *Triticum aestivum* в основному складається з крохмалю. Однією з важливих властивостей крохмалю є його чудова здатність адсорбувати воду. Крохмаль адсорбує 46 % доданої води під час приготування тіста, сприяючи формуванню тіста.

Одним із важливих компонентів є крохмаль, іншим є білки глютену. Білки клейковини, гліадіни та глютеніни взаємодіють з іншими компонентами борошна, сприяючи отриманню в'язкого і водночас еластичного тіста, що сприяє газотриманню. У проведеному дослідженні гліадіни становили 45,7 %

					02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

загальної в'язкості тіста, тоді як гліадини разом з альбуміном становили 54 % загальної еластичності тіста.

Вміст білка в пшеничному борошні зазвичай становить 10-12 % і сприяє міцності тіста. Вміст білка залежить від пори року та температури. Іншими властивостями, пов'язаними з білком, є розширення тіста, вищий вміст білка дає більше розширення тіста під час випікання. Якісний хліб виходить при дотриманні балансу між в'язкістю і міцністю тіста. Висока міцність тіста збільшує об'єм хліба, але якщо вона надто міцна, підйом тіста буде перешкоджати. Тісто, випечене з пшениці з низькою якістю клейковини, стає менш еластичним, але більш в'язким, ніж тісто з пшениці хорошої якості.

Ще одним показником якості борошна, що використовується для випічки хліба, є число паління. Вимірювання числа паління дає вказівку на активність α -амілази. Висока активність α -амілази викликає ферментативний гідроліз крохмалю, що втручається в процес приготування хліба і призводить до зниження якості продуктів. Активність α -амілази залежить від погоди та температури протягом вегетаційного періоду, тому вказується в сертифікаті якості з кожною новою поставкою пшеничного борошна на пекарню. Активність α -амілази є максимальною при температурах 60-70 °C і не активується до досягнення 85 °C. Недостатня активність α -амілази сприяє зменшенню об'єму хліба, оскільки тісто стає жорстким і має меншу здатність розширюватися. Однак висока α -активність також не бажана, оскільки це сприяє згортанню тіста під час випічки.

На пекарні цього дослідження зміна борошна відбувається восени, тоді замість борошна попереднього сезону завозиться борошно зібраного врожаю. Тому не виключено, що якість борошна змінюється під час переходу на новий урожай. Протягом часу для цього дослідження було проведено зміни, і борошно нового врожаю показало хорошу якість і хлібопекарські властивості разом із високою ферментативною активністю.

На великих хлібопекарських підприємствах найчастіше використовуються тунельні печі. Це означає, що пекарні блоки

					02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

транспортуються на виробничих стрічках по всій довгій печі. У середині печей вбудовано кілька джерел нагріву, які ділять її на кілька зон або секцій. Серед інших властивостей хліба температура в різних зонах є важливим фактором, що сприяє підрум'яненню. Під час випікання всередині хліба відбуваються хімічні, фізичні та біохімічні зміни, що сприяє кінцевій якості випеченого хліба. Одним з важливих факторів випічки в печі є те, що активність *S. cerevisiae* знижується, коли температура перевищує 55°C.

Нагрівання починається на поверхні булочок і переходить в м'якуш. Це означає, що м'якуш булочок продовжує розширюватися, оскільки йому потрібно більше часу, щоб досягти температури, яка інактивує дріжджі. Коли утворюється м'якуш, він стає перешкодою для подальшого збільшення булочок. Розташування булочок у печі має бути ретельно розглянуто, оскільки це може вплинути на структуру потоку гарячого повітря та, таким чином, змінити якість хліба. Підрум'янювання скоринки відбувається внаслідок реакцій карамелізації, коли амінокислоти реагують із відновлюючим цукром у кислих і нагрітих умовах. Реакція Маєра сприяє смаку та аромату кількох харчових продуктів, у тому числі хлібобулочних виробів. Розвиток кольору залежить лише від температури під час випікання. Підрум'янювання скоринки відбувається при низькому вмісті води та температурі >110°C, оскільки це активує неферментативні реакції підрум'янювання, карамелізацію. При більш високій температурі скоринка набуває більш темного кольору. Таким чином, можна використовувати вимірювання кольору, щоб переконатися, що підрум'янювання та запікання є достатніми.

Визначити колір випічки легко. Minolta BC 10 Plus часто використовується в промисловій випічці як етап самоконтролю. Значення, яке він надає, є одиницею контрастності випічки (BCU) і є значенням темності або світлості продукту, де 0 означає найтемніший, а 5,25 — найсвітліший. Людське око відзначає відтінки, що відповідають 0,1 BCU. Визначивши швидкість підрум'янювання булочок і пов'язавши її з положенням, яке вони займали на сковороді, можна виявити різницю температур і нерівномірність.

					02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Колірні варіації печених булочок часто походять від різноманітного нагрівання. Зменшення цих коливань можливо за допомогою правильної конструкції та обробки печі. Обробка включає такі фактори, як температура повітря, потужність нагріву, час випікання та розмір хліба. Існує чітка залежність між температурою духовки та світлом. При підвищенні температури колір кірки стає темнішим.

Однак печі складні, і важко знайти таку, яка випікає однакові булочки. Дуже часто спостерігаються значні перепади температур залежно від положення духовки. Контроль процедури важливий для отримання інформації про можливі дефекти печей, щоб продовжувати виробництво булочок у великій мірі.

Ефективність дуже важлива у виробництві, тому пакування гарячих булочок у поліетиленові пакети може спричинити проблеми з якістю. Оскільки в пакеті збирається велика кількість конденсату, булочки можуть розмокнути та виникнути проблеми з якістю. Етап охолодження вставляється між духовкою та упаковкою булочок. Охолодження з кроком швидкого заморожування здійснюється з кількох причин. Частково це уповільнює потік тепла, що дозволяє відразу загортати випічку без дефектів якості. Швидке заморожування також сприяє зручному поводженню персоналу в зоні сортування.

У дослідженні не весь крохмаль клейстеризується під час випічки. Заморожування випеченого продукту може спричинити процес желатинізації крохмалю. Відповідно до хліба, випеченого при високій температурі, знижена здатність утримувати воду. У цю дисертацію було включено дослідження розміру до та після етапу охолодження, щоб з'ясувати, чи впливає цей етап на кінцевий розмір булочок.

Під час приготування хліба на якість готового хлібного виробу впливає кілька факторів. Усі фактори важливі, і вони часто пов'язані один з одним.

Описує один виразний приклад: Температура серцевини хліба вказує на те, коли хліб буде готовий до випічки, і тісно пов'язана зі збільшенням об'єму хліба. Збільшення об'єму, у свою чергу, залежить від таких обставин, як

									Арк.
									10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ				

температура, яка є домінуючим фактором, що регулює активність дріжджів. Це лише один приклад, який ілюструє складний процес приготування хліба.

На початку роботи над цією дисертацією деякі пекарі, які працювали на хлібокомбінаті, запитували інформацію щодо внутрішньої та зовнішньої температури та вологості, пропонуючи це як аспекти відмінності атрибутів якості. Як температура, так і відносна вологість сприяють правильному вистоюванню, оскільки тісто іноді відпочиває перед замішуванням, якщо воронки заповнені. Певною мірою відбувається додаткове доведення. Вологість у виробничих приміщеннях є параметром, який має великий вплив на якість хліба та впливає на випаровування води.

Вологість духовки є важливою змінною в процесі випічки. Разом із часом, температурою та потоком повітря (у конвекційних печах) він використовується для кращого контролю етапу випікання.

Температура в печі вища за температуру кипіння води і далеко за межами діапазону температур, де вологе повітря можна моделювати як ідеальний газ.

Таким чином, вологість всередині пекарної камери не може бути виміряна як відносна вологість.

Замість цього використовується концепція абсолютної вологості або співвідношення маси вологи.

Вологість пекарної камери, яка є функцією сушіння та продуктом згоряння, визначається як маса вологи відносно присутнього сухого повітря (Lb води/Lb сухого повітря). Або, як точка роси: температура, при якій волога в повітрі конденсується на поверхні. Ідеальний відсоток відносної вологості, зазвичай від 40 до 60 відсотків у більшості застосувань, може відрізнятися залежно від процесу, про який йдеться. Наприклад, для розстоювання хлібобулочних виробів виграють дещо вищі цифри – близько 80 відсотків – щоб забезпечити ефективне заквашування та розширення тіста з достатньою вологістю. Це також запобігає таким проблемам, як розтріскування або відшарування, які можуть зіпсувати візуальну привабливість обраної випічки.

Вологість у духовці впливає на 2 транспортні процеси, які відбуваються Арк.

02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата

під час випікання:

Теплопередача: енергія у вигляді тепла передається в продукт і спричиняє підвищення температури тіста. Це відображається у фізико-хімічних змінах, таких як випаровування води/етанолу, розширення газів, желатинізація крохмалю, денатурація білка та потемніння.

Масообмін або міграція вологи: через характер сушіння на етапі випічки вода мігрує з внутрішньої частини продукту на поверхню тіста. Випаровування в пекарній камері підвищує вологість гарячого повітря. Кількість водяної пари в духовці також впливає на швидкість надходження тепла в тісто.

На параметри випікання впливає вологість печі

Колір скоринки: висока вологість освітлює колір скоринки випічки. Це тому, що надмірна вологість блокує пряму передачу тепла продукту. Крім того, конденсат, що утворюється на поверхні тіста, діє як природна ізоляція для теплопередачі. За цього сценарію температура скоринки під час випікання нижча за цільову, що призводить до світлого кольору готового продукту.

Розширення тіста та об'єм виробу: висока вологість збільшує об'єм випікаєних виробів. Пекарна камера, багата вологою, зменшує рушійну силу міграції води. Таким чином, менше води втрачається з продукту в гаряче повітря, через що тісто/кляр залишається вологим для подальшого розширення/розтягування, перш ніж скоринка застигне.

Вміст вологи: висока вологість підвищує кінцевий вміст вологи у випеченому продукті, що впливає на термін придатності продукту та його здатність нарізати.

Характер скоринки: деякі види хліба ручної роботи та подового хліба вимагають пропарювання, щоб утворилася конденсація на поверхні та утворилася глянцева та блискуча скоринка. Вища вологість призведе до більш глянсової та товстої скоринки продукту.

Фактори, що впливають на вологість печі

Завантаження духовки: вологість усередині духовки зростає, оскільки більше продуктів потрапляє в камеру випікання. У той же час більш важкі вантажі

					02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

вимагають більше тепла для випаровування води. Це призводить до невеликого зниження температури разом із підвищенням вологості.

Температура: Абсолютна вологість нижча за низьких температур духовки, оскільки вода випаровується швидше за вищих температур.

Пропарювання в печі: протягом перших кількох хвилин випікання в пекарню камеру впорскується велика кількість пари під низьким тиском. Рівень насичення паром та кількість пари, що використовується в духовці, впливають на рівень вологості.

Визначення вологості печі

Датчик вологості можна використовувати для вимірювання вологості духовки на рівні продукту та при повному завантаженні духовки. Його використовують для вивчення:

Співвідношення між вологістю печі та вологістю готового продукту

Оптимізація механізму відведення/продувки, щоб уникнути надмірної втрати/накопичення вологи та тепла з пекарної камери, що може погіршити якість продукту

Оптимізація зовнішнього вигляду скоринки продукту.

Контроль вологості печі

Системи продувки: Вологість печі та розподіл тепла зазвичай контролюються витяжними вентиляторами та/або заслінками з фіксованою швидкістю. Їх можна регулювати вручну або за допомогою моторизованого клапана, керованого ПЛК. У сучасних печах зазвичай керують витяжними вентиляторами зі змінною швидкістю.

Освіження повітря: у деяких випадках і з міркувань безпеки вологе гаряче повітря можна замінити свіжим повітрям під час циклу випікання, що покращує характеристики продукту.

Впорскування пари: відстеження та регулювання рівню насичення, тиску і кількості пари, що вводиться в печі, які випікають подовий хліб.

									Арк.
									13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ				

Високоєфективний зволожувач може допомогти регулювати температуру в приміщенні, а також параметри вологості повітря, що особливо корисно для пекарень будь-якого розміру та фабричних умов. Ці системи допомагають зменшити присутність борошняного пилу, який інакше може служити шкідливим алергеном. Безумовно, найвагомішою перевагою, окрім комфортних і безпечних умов для працівників, є високоякісна продукція зі зменшенням витрат інгредієнтів. Регулюючи умови в приміщенні вашої пекарні, ви можете ефективно регулювати постійність якості своїх виробів, забезпечуючи максимальне утримання клієнтів і візуально привабливу продукцію, яка відповідає встановленим стандартам.

1.2. Опис технологічного обладнання об'єкта керування

Сучасні тунельні печі "King" (рис. 1.2) забезпечують виняткову універсальність і можливості для виготовлення різноманітних хлібобулочних виробів, включаючи тістечка, булочки, тостовий хліб, тістечка на пару, бублики, піцу, тістечка, пироги, печиво, сухарі. Характеристики печі наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 Характеристика печі марки "King"

Джерело	Внутрішній розмір духовки Зовнішній розмір духовки	Споживана потужність	Споживання енергії на метр	Вага/метр	Внутрішня висота Зовнішня висота
Газ	1400 мм - Внутрішній 2200 мм	0,2 кВт/год	0,6 м³/год -NG 0,4 кг/год -LPG	750 кг/м	850
Електрика	- Зовнішній	10 кВт/м		690 кг/м	мм 1600 мм
Газ	2600 мм - Внутрішній 3700	0,6 кВт/год	1,9 м³/год -NG 1,7 кг/год -LPG	980 кг/м	850
Електрика	мм - Зовнішній	20 кВт/м		900 кг/м	мм 1600 мм
Газ	2 0 00 мм - Внутрішній 3100	0,4 кВт/год	1,5 м³/год -NG 1,3 кг/год -LPG	1290 кг/м 1200 кг/	850
Електрика	мм - Зовнішній	15 кВт/м		м	мм 1600 мм



Рис. 1.2 Хлібопекарська піч тунельного типу марки "King"

Сучасна компанія "King" майже десять років працює в хлібопекарській промисловості як фахівець із проектування, виробництва та постачання хлібопекарського обладнання. Наш справжній досвід полягає в пропонуванні індивідуальних конфігурацій тунельних печей для задоволення їхніх виробничих потреб.

Особливості тунельної печі:

- Унікальна та міцна конструкція. Ці промислові хлібопекарські печі виготовлені з високоякісних сталевих листів, які добре ущільнені та ізольовані. Завдяки міцній ізоляції тунельна піч дозволяє швидко досягти бажаної температури та забезпечує ефективне збереження тепла в камері духовки без витоку тепла. Все це призводить до меншого споживання газу та значної економії електроенергії.
- Вільно плаваюча керамічна ізоляція. Тунельні печі для випікання виготовлені з ізоляційного матеріалу, тобто кераміки, розташованої між внутрішньою обшивкою та зовнішнім облицюванням бічних стінок тунелю для випікання. Ізоляція закріплена у вільно плаваючому місці керамічного матеріалу, таким чином додатково запобігаючи виходу тепла з духовки. Це рухливе зачеплення також сприяє уникненню деформації металевого корпусу печі, викликаній тепловим розширенням.
- Легка збірка. Пекарські тунельні печі розроблено з модульною конструкцією, що дозволяє легко та швидко збиратися. Завдяки цій функції пекарі можуть легко розібрати модульну тунельну піч для очищення та обслуговування, що значно зменшує трудомісткість.

									Арк.
									15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ				

• Нульовий тиск газу. Ця технологія означає, що газ тече під нульовим тиском. Система нульового тиску газу гарантує безпечну подачу газу без таких небезпек, як вибух газу, витік газу та отруєння, які можуть бути спричинені підвищенням тиску. Крім того, газ, що подається з використанням нульового тиску газу, буде правильно змішаний з повітрям, щоб не утворювався токсичний газ. А природний газ, який використовується в тунельній печі, не має запаху, невидимий і нетоксичний, забезпечує мінімальний вплив на навколишнє середовище, що відповідає нормам викидів.

• Відображення тепла, висока теплова ефективність

Тепло, що утворюється під час згоряння, відбивається назад у камеру печі за допомогою рефлекторів теплового випромінювання для концентрації теплової енергії, досягаючи високої ефективності використання теплової енергії в тунельній печі при одночасному зниженні споживання енергії.

• Інфрачервоне радіаційне нагрівання. Завдяки використанню інфрачервоного та дальнього інфрачервоного випромінювання ці пекарські тунельні печі дозволяють скоротити час випікання та більш рівномірне забарвлення випічки.

• Виявлення витoku газу. Блок виявлення витoku газу обладнаний у хлібопекарській печі для відбирання проби газу та аналізу, чи є відпрацьований газ, що забезпечує більш безпечне постачання газу.

• Самодіагностика несправностей. Ця система автоматично виявляє такі помилки, як несправність запалювання, електромагнітний клапан або пошкодження електричних частин. Ці помилки відобразатимуться на дисплеї, спрямовуючи користувача до усунення несправностей.

• Оглядове віконце. Пекарська тунельна піч оснащена оглядовими віконцями, які дозволяють легко контролювати процес випікання.

• Ексклюзивна інтелектуальна система управління E-FACTORY. Система E-FACTORY в основному використовується для збору виробничих даних у реальному часі, таких як потужність продукту, продуктивність і частота відмов, що дозволяє операторам отримувати повний збір даних і

									Арк.
									16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ				

звітність через інтерфейс HMI. Це допомагає оптимізувати управління, зменшити трудомісткість, підвищити ефективність виробництва та звести до мінімуму кількість відмов.

Подвійний спіральний міксер зі знімною чашею

Подвійний спіральний міксер для високопродуктивних виробництв (рис. 1.3), що вимагають високої продуктивності та високого професіоналізму.

Подвійний спіральний міксер зі знімною чашею ідеально підходить для хлібного тіста. Підходить для будь-якого дріжджового тіста та будь-якого тіста для хлібобулочних виробів з вологістю понад 45%

Вони можуть досягти:

- від 8 до 10 циклів замішування на годину;
- відмінне рафінування та насиченість тіста киснем із збільшенням об'єму отриманого тіста;

- скорочений час замісу.

- Вони відрізняються:

- запас енергії при виконанні важких замішувань;
- інструменти з ремінним приводом з подвійною передачею;
- шестерневе обертання чаші;
- стикування різка чаші електромагнітами;
- міцна конструкція з великогабаритною столяркою;
- високонадійна механічна система.



Рис. 1.3 Подвійний спіральний міксер зі знімною чашею

									Арк.
									17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ				

Подвійні спіральні міксери зі знімними чашами доступні з різними двигунами від 25 кВт до 50 кВт. У результаті вони забезпечують потужність і крутний момент, необхідні для задоволення жорстких вимог. Чаша приводиться в рух мотор-редуктором-адаптером в масляній ванні. Обертання здійснюється за допомогою індукційних шестерень із загартованої сталі та незалежного двигуна, що дозволяє реверсувати. Висока надійність механічної системи гарантується пристроєм, що забезпечує амортизацію напруги, що виникає під час фази запуску та умов жорсткого замішування тіста.

Чаша фіксується в робочому положенні потужними електромагнітами. Кришка чаші виготовлена з нержавіючої сталі з поліетиленовою смугою з внутрішнім краєм. В результаті забезпечується хороше ущільнення та уникнення розсипання борошна. Керування відкриттям, закриттям і блокуванням головки здійснюється за допомогою гідравлічного щита.

Лазерний сканер забезпечує безпеку оператора.

Електрообладнання розташоване всередині бічної коробки, ізольованою від машини та повністю водонепроникною. Тому його можна легко перевірити. Панель управління встановлена на верхній частині коробки. Має сенсорний екран для ручного та автоматичного керування процесом замішування та запам'ятовування рецептів.

Подвійний спіральний міксер зі знімною чашею можна використовувати для замішування різних тістових розчинів. Наприклад, у рішеннях для виробництва прямого тіста.

Подвійний спіральний міксер зі знімною чашею доступний на вимогу:

- регулювання швидкості обертання інструментів для підбору рецептів інвертором;
- термозонд для контролю температури тіста всередині чаші;
- модель повністю виготовлена з нержавіючої сталі;
- налаштування кришки для вставки інгредієнтів;
- чаші для спорожнення продуктів;

						Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ	

Готові тістові заготовки переміщують без порушення рядності.

Хліб випікається протягом 45...60 хв при таких температурах по зонах (°C): 110...120; 240...250; 150...180°C. Конкретні значення параметрів приготування залежать від продуктивності печі, рецептури, розміру заготовок тіста, вологості тіста готових виробів та інших факторів.

Для підтримки певного значення вологості при випіканні встановлюється камера розпилення 3 з форсункою 4. Система спалювання газової суміші в камері згоряння досить складна, тому що вона повинна відповідати всім нормам безпеки. Подача газу в камеру здійснюється по трубопроводу через форсунку 5, запальник 6 служить для отримання безперервної іскри, яка в свою чергу запалює суміш горючих газів 7.

НУБІП України
НУБІП України
НУБІП України
НУБІП України
НУБІП України

						02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			20

РОЗДІЛ 2. ПОБУДОВА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА

2.1. Загальний підхід до створення математичних моделей ОК

Завданням цього розділу є розробка і вдосконалення математичної моделі об'єкта керування з урахуванням впливу контрольного параметра, а потім створення його на основі динамічного рівняння моделі ОК. Вивчення моделі дає змогу отримати постійний час об'єкта, обчислити транспортну затримку та знайти коефіцієнт передачі об'єкта.

Матеріальний баланс процесу

Розрахуємо потужність печі хлібу пшеничний, маса форми 0,95 кг.

З першого розділу візьмемо:

ширина поду печі – 2500 мм,

довжина поду печі – 25000 мм;

а також запам'ятаємо, що діаметр виробу 230 мм, відстань між ними становить близько – 50 мм.

Кількість рядів по довжині поду:

$$n_1 = \frac{25000-50}{230+50} = 89 \text{ рядів} \quad (2.1)$$

Кількість рядів по ширині поду:

$$n_2 = \frac{2500-50}{230+50} = 9 \text{ рядів} \quad (2.2)$$

Час за який спичеться хліб – 40 хвилин.

Розрахуємо годинну потужність печі.

$$P_{\text{год.}} = \frac{89 \cdot 9 \cdot 0,95 \cdot 60}{40} = 1141,4 \text{ кг/год} \quad (2.3)$$

Потужність печі за одну зміну з урахуванням 20 хвилин на перезмінку (8 год. – 20 хв. = 4,66 год.).

$$P_{\text{зм}} = 1141,4 \cdot 4,66 = 8743,3 \text{ кг/зміну} \quad (2.4)$$

Відповідно за одну добу потужність буде становити:

$$P_{\text{добу}} = 8743,3 \cdot 3 = 26229 \text{ кг} \quad (2.5)$$

Тепловий баланс печі

					02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Як паливо в ній печі використовується природний газ. Після установки сила пального становить 320 кДж/с. У печі використовуються дві конфорки. Потужність – 640 кДж/с. Якщо припустити, що час випічки становить 40 хвилин, знайдемо витрату тепла для одної випічки:

$$Q = 640 \cdot 40 \cdot 60 = 1536000 \text{ КДж} \quad (2.6)$$

Теплотворна здатність для природного газу складає $\Delta H_{н.г.} = 32,68 \text{ КДж/м}^3$. Розрахуємо витрату газу для одної випічки:

$$Q_{kv} = \frac{Q}{\Delta H_{н.г.}} = \frac{1536000 \cdot 10^3}{32,68 \cdot 10^6} = 47 \text{ м}^3 \quad (2.7)$$

Розрахуємо витрату газу для однієї зміни:

$$Q_{kz} = 47 \cdot 11,49 = 540 \text{ м}^3 \quad (2.8)$$

де 11,49 – кількість випічок.

Схема зволоження в пекарній камері

Отримуємо, що на вологість в пекарній камері впливають: температура в печі та витрата пари (рис.2.1).

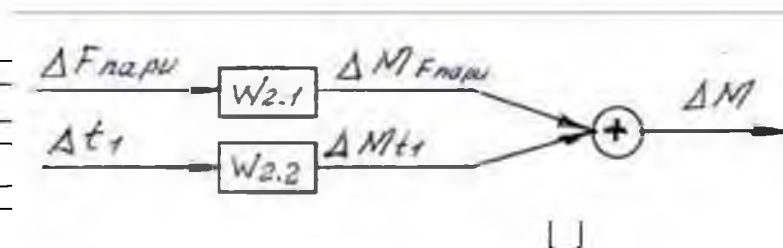


Рис. 2.1 Структурна схема по каналу регулювання вологості

2.2. Приклад розробки і використання математичної моделі ОК

Випікання передбачає зміни температури, вмісту вологи та об'єму, які тісно пов'язані між собою. Було розроблено багато моделювання для випікання з урахуванням окремих явищ, що відбуваються під час випікання. Деякі дослідники запропонували детальні математичні моделі, засновані на фізичних властивостях інгредієнтів, які беруть участь у процесі розквашування. Наприклад, модель процес розширення бульбашок газу в дріждюваних

					02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

продуктах загального призначення та може точно передбачити м'якість, твердість (вміст води) і кислотність дріжджового продукту. Математичну модель для розширення тіста під час подальшого підйому в духовці. Їхня модель показала, що об'єм тіста збільшується майже лінійно з часом до 65 С, після чого воно розширюється зі зниженою швидкістю.

Модель також показала, що ріст бульбашок контролюється розподілом CO₂ і води між водною та бульбашковою фазами на початкових стадіях випікання, а постійне збільшення в'язкості збільшує опір росту бульбашок. Іноді зміна вологи розглядається як простий процес дифузії, але насправді випаровування води та потік, керований тиском, співіснують. Дуже добре відомо, що теплофізичні та діелектричні властивості їжі дуже сильно залежать від вмісту вологи та температури, особливо для гігроскопічних матеріалів.

На основі цих основ розробили комп'ютерну модель для прогнозування температури та вмісту вологи під час мікрохвильового нагрівання випеченого тіста за допомогою кінцево-різницевого методу Кренка-Ніколсона. Але вони враховували лише транспортні явища і нехтували деформацією, яка відбувається під час випікання. Цю роботу, напевно, можна розширити, включивши розширення обсягу.

Подібним чином дослідження розглядає лише деформацію, припускаючи, що транспортні явища можуть бути розв'язані незалежно. Вони змоделювали тепло- і вологообмін та формування гігростресу для шаруватих цеглин, виготовлених із гідратів порошків крохмалю та суміші порошків крохмалю та сахарози 3:1, підданих примусовій сушінні на повітрі.

Результати моделювання узгоджуються з результатами експерименту. Обидва результати підтвердили, що розташування шарів має сильний вплив на передачу вологи та формування напруги та менший вплив на теплопередачу. Але важливо вивчати ці процеси в цілому.

					02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

$$\frac{H_t}{H_0} = 1,07 - (9,2 \times 10^{-4} t) \text{ якщо } t \leq 1140 \text{ с,}$$

$$\frac{H_t}{H_0} = 2,61 - (4,5 \times 10^{-4} t) \text{ якщо } t > 1140 \text{ с.}$$

Розроблено модель, що враховує перенесення тепла та вологи, яка повністю поєднується з великою зміною об'єму. Розробили керівні рівняння для багатозафазного транспорту в пористому середовищі на основі збереження енергії та трьох видів маси рідкої води, водяної пари та газу CO₂ таким чином:

Для енергозбереження

$$\frac{\partial (\sum \rho_i \cdot c_{pi}) \cdot T}{\partial t} + \sum \rho_i \cdot c_{pi} \cdot \nabla \cdot (u_i \cdot T) = \nabla \cdot (k \cdot \nabla \cdot T) - \lambda \cdot I_v$$

для збереження рідкої води:

$$\rho_s \cdot \frac{\partial M}{\partial t} + \rho_m \cdot \frac{\partial (\nabla \cdot u)}{\partial t} = -\nabla \cdot n_w - I_v$$

для збереження водяної пари:

$$\varepsilon(1-S) \cdot \frac{\partial (p_v \cdot \frac{M_v}{RT})}{\partial t} + (1-S) \cdot \rho_v \cdot \frac{\partial (\nabla \cdot u)}{\partial t} = -\nabla \cdot n_v + I_v$$

для збереження CO₂:

$$\varepsilon(1-S) \cdot \frac{\partial (p_c \cdot \frac{M_c}{RT})}{\partial t} + (1-S) \cdot \rho_c \cdot \frac{\partial (\nabla \cdot u)}{\partial t} = -\nabla \cdot n_c + I_c$$

потік пари n_v і потік CO₂ n_c обумовлені загальним тиском градієнта та бінарною дифузією.

$$n_v = -\rho_v \frac{k_g}{\mu_g} (\nabla \cdot p_v + \nabla \cdot p_c) - M_v \cdot C \cdot D_{eff.g} \cdot \nabla \cdot x_v$$

$$n_c = -\rho_c \frac{k_g}{\mu_g} (\nabla \cdot p_v + \nabla \cdot p_c) - M_c \cdot C \cdot D_{eff.g} \cdot \nabla \cdot x_c$$

Перенесення рідкої води відбувається через градієнт тиску води і може бути описано за допомогою закону Дарсі.

$$n_w = -\rho_w \frac{k_w}{\mu_w} \cdot \nabla \cdot p_w = -\rho_w \frac{k_w}{\mu_w} \cdot \nabla \cdot (p_v + p_c) - \rho_w \cdot D_w \cdot \nabla \cdot M$$

Також провели аналіз чутливості для певних властивостей матеріалу, щоб показати їх відносний вплив на випічку.

Існує можливість розв'язувати ці рівняння за допомогою методів кінцевих різниць або кінцевих елементів із застосуванням початкових і граничних умов.

Подібним чином більшість імітаційних моделей дифузії для сушіння харчових продуктів розглядають дифузію рідкої води та водяної пари як єдине явище. Розробивши уявний коефіцієнт дифузії, який є функцією градієнта концентрації в результаті зменшення вмісту води на поверхні. Тому градієнт концентрації виникає не тільки через висихання поверхні, але також в результаті дифузії водяної пари до центру.

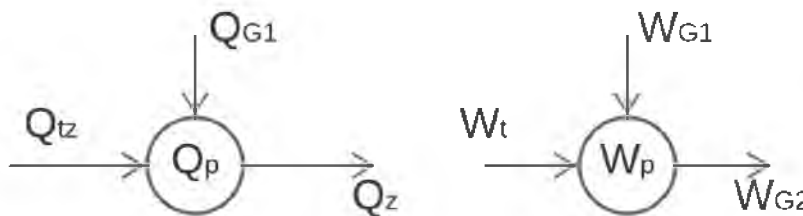


Рис. 2.2. Схема потоків тепла камери печі

1. Тепловий потік від тисга до повітря в камері печі

$$Q_{tz} = \alpha_{tp} \cdot F_t \cdot (t_t - t_p), \text{ Вт}, \quad (2.9)$$

де F_t – площа поверхні тістової заготовки, м^2 ; α_{tp} – коефіцієнт тепловідведення від тістової заготовки у повітря, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$; t_t – температура тістової заготовки, °C ; t_p – температура повітря в камері, °C .

2. Потік тепла, що надходить з повітрям,

$$Q_{G1} = V_v \cdot \rho_p \cdot C_p \cdot t_z, \text{ Вт}, \quad (2.10)$$

де V_v – витрата повітря, $\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$; ρ_p – густина повітря, C_p – теплоємність

повітря, $1005 \frac{\text{Вт}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$; t_z – температура зовнішнього повітря, °C ;

3. Тепловий потік, що виходить з повітрям камери печі,

$$Q_{G2} = V_v / \rho_p \cdot C_p \cdot t_p, \text{ Вт}, \quad (2.11)$$

де V_v – витрата повітря, $\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$; ρ_p – густина повітря, C_p – теплоємність

повітря, $\frac{\text{Вт}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$; t_p – температура повітря в камері, °C ;

4. Тепло яке знаходиться в повітрі камери

$$Q_p = V_p \cdot \rho_p \cdot C_p \cdot t_p, \text{ Вт}, \quad (2.12)$$

де V_p – об'єм повітря в камері, м^3 ; ρ_p – густина повітря; C_p –

теплоємність повітря, $\frac{\text{Вт}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$; t_p – температура повітря в камері, °C ;

5. Тепло, що втрачається через стінки камери,

$$Q_z = \alpha_{cp} \cdot F_c \cdot (t_c - t_p), \text{ Вт}, \quad (2.13)$$

де F_c – поверхня стінок камери, м^2 ; α_{cp} – коефіцієнт тепловіддачі повітря в

камері до стінки, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$; t_p – температура повітря в камері, °C ; t_c – температура стінки (середня), °C ;

6. Вміст вологи в повітрі камери,

$$W_p = V_p \cdot \rho_p \cdot d_p \quad (2.14)$$

де V_p – об'єм повітря в камері, м^3 ; ρ_p – густина повітря; d_p – вологість повітря в камері, %;

7. Вологість, яка надходить з повітрям,

$$W_{G1} = V_v \cdot \rho_p \cdot (d_z - d_p), \text{ Вт}, \quad (2.15)$$

де V_v – витрата повітря, $\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$; ρ_p – густина повітря; d_z – вологість зовнішнього повітря, %;

					02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Система диференціальних рівнянь зміни вологості в камері печі

$$\frac{dt_p}{dt} = \frac{1}{V_p \cdot \rho_p \cdot c_p} \cdot \alpha_{tp} \cdot F_t \cdot (t_t - t_p) + V_v \cdot \rho_p \cdot \epsilon_p \cdot (t_z - t_p) - \alpha_{cp} \cdot F_c \cdot (t_c - t_p) \quad (2.16)$$

$$\frac{dd_p}{dt} = \frac{1}{V_p \cdot \rho_p} \cdot V_v \cdot \rho_p \cdot (d_z - d_p) + W_t \quad (2.17)$$

Імітаційна модель контролю вологості в печі у середовищі Simulink MATLAB. (рис.2.3.)

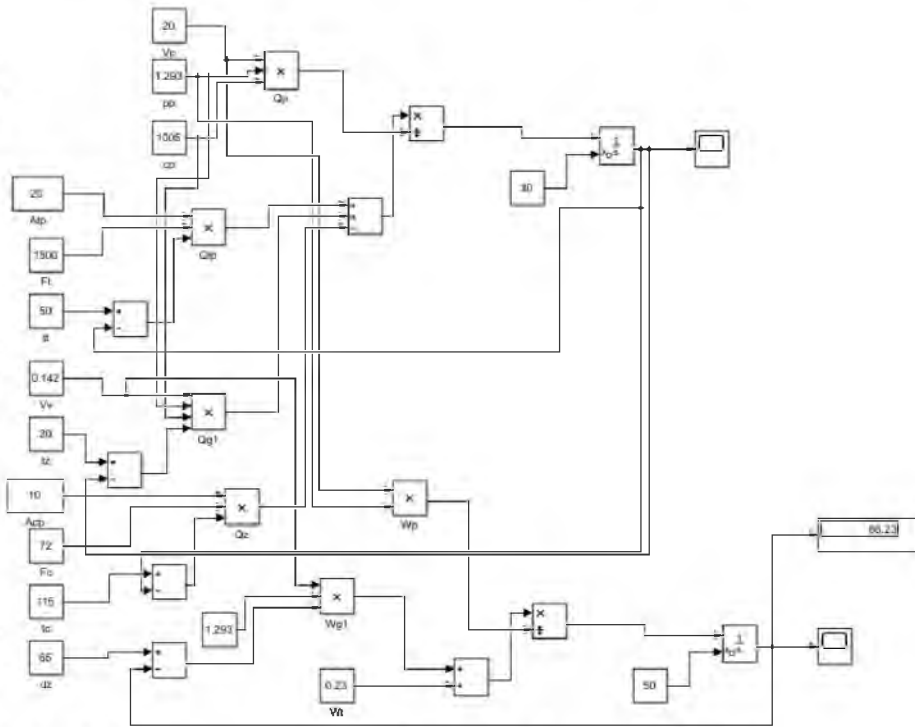


Рис.2.3. Схема моделі вологості хлібокомбінату в блоках Simulink MATLAB

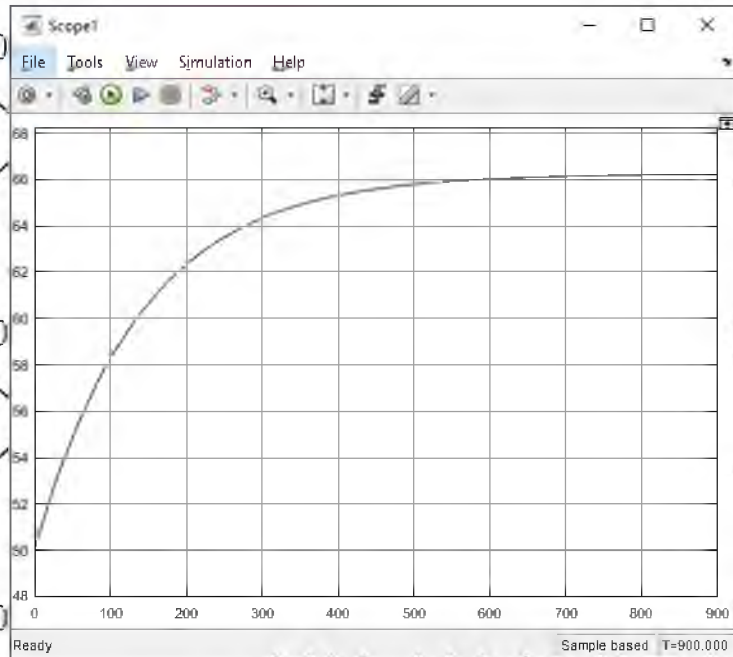


Рис.2.4. Розгінна крива зміни вологості в печі, яка отримана по даних моделі Simulink.

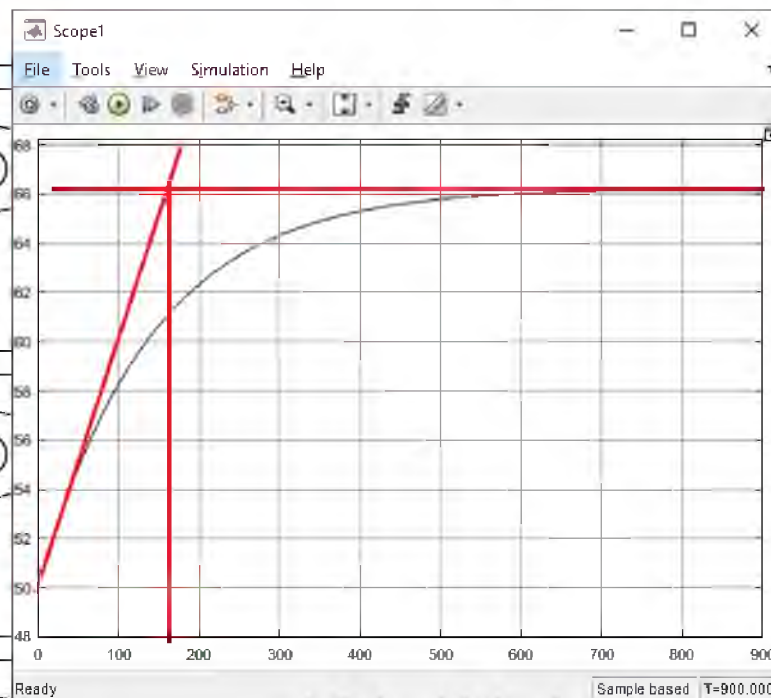


Рис.2.5 Розгінна характеристика об'єкту керування

Для статичних об'єктів передаточна функція, отримана по кривій розгону матиме аперіодичну структуру:

$$W_0(s) = \frac{K_0}{T_0 \cdot s + 1}$$

За допомогою розгінної характеристики, проводимо догінну з початкової точки до лінії усталеного значення, і запишемо постійну часу

$$T_0 = 165 \text{ с}$$

Коефіцієнт підсилення об'єкта K_0 знаходимо за формулою :

$$K_0 = \frac{\Delta y}{\Delta x} = 0,696$$

де $\Delta y = 16$, $\Delta x = 23$.

В даному випадку передатну функцію печі як об'єкта керування вологості повітря можна апроксимувати інерційною ланкою, яка виглядатиме так :

$$W_0(s) = \frac{K_0}{T_0 \cdot s + 1} = \frac{0,696}{165 \cdot s + 1}$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТОМ

3.1 Вибір технічних засобів

Вибираємо сприймаючий елемент



Рис.3.1. Датчик вологості

Таблиця 3.1 Технічна характеристика датника вологості: **RIXEN MTR-740A**

Діапазон вимірювання	0,0... 100,0 %
Точність (при температурі 25 °С)	деревина: ±1,5 % за різними матеріалами різні значення
Сервісний діапазон температур датчика і кабелю	-20... +200 °С
Довгострокова стабільність	краще, ніж 1 % на рік (типова)
Температурна компенсація	±0,02 %/°С
Відгук	приблизно 3 секунди
Вихід	4... 20 mA / 0... 100 % 0... 2 VDC / 0... 100 %
Напруга живлення	12... 40 В постійний струм >250 mA
Умови експлуатації	температура: -40 ... +60 °С (-40 ... +140 °F)
Корпус / Захист	водонепроникний корпус з ABS пластику (IP 65), датчик: SUS304 або SUS316
Вага	приблизно 190 г (без датчика і кабелю)
Габарити	пристрій: ø90x54 (H) мм датчик: ø2,5x25 (L) мм *довжина датчика і довжина кабелю може варіюватися

Знаходимо коефіцієнт передачі датника вологості:

$$K_p = 1$$

Так як інерційність датника до 15 с то постійна часу визначається

НУБІП України

Передатна функція:

$$T = \frac{15}{3} = 5 \text{ с.}$$

$$W_{CE} = \frac{1}{5 \cdot s + 1}$$

Регулюючий клапан КПСР серії 200



Рис. 3.2 Регулюючий клапан КПСР серії 200

1 Знаходимо максимальну пропускну здатність РО.

$$K_y = Q_{max} \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P}} = 4 \cdot \sqrt{\frac{0,1}{0,1}} = 4 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

де $Q_{max} = 4 \text{ м}^3/\text{год}$ об'ємна витрата, $\gamma = 0,1 \text{ кг}/\text{см}^3$ об'ємна маса води,

$\Delta P = P1 - P2$ перепад тиску на РО.

$$\Delta P = P1 - P2 = 3 - 2,9 = 0,1 \text{ кг}/\text{см}^2$$

де $P1 = 3 \text{ кг}/\text{см}^2$ тиск до регулюючого органу, $P2 = 2,9 \text{ кг}/\text{см}^2$ тиск після регулюючого органу.

2 Знаходимо індекс в'язкості:

$$Z = \frac{420 \cdot Q_{max}}{v \cdot \sqrt{K_{ymax}}} = \frac{420 \cdot 1}{0,6531 \cdot \sqrt{4}} = 321,54 > 100,$$

де $v = 0,6531$ в'язкість води

3 Знаходимо за такими характеристиками регулюючий орган

$$K_{yPO} = 2,5 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} \text{ і } D_y = 10 \text{ мм.}$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ

Арк.

31

Проводимо перевірку виконання умови:

$$K_{\gamma PO} \geq 1.1 K_{\gamma max}$$

$$2.5 \text{ м}^3/\text{год} > 1 \cdot 1.1 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$2.5 \text{ м}^3/\text{год} > 1.1 \text{ м}^3/\text{год}$$

4. Визначаємо пропускну здатність лінії:

$$K_{\gamma л} = Q_{max} \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_{л max}}} = 4 \cdot \sqrt{\frac{0.1}{0.4}} = 2 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

$$\Delta P_0 = P_2 - P_3 = 2.9 - 2.5 = 0.4 \text{ кг/см}^2,$$

де $P_3 = 2.5 \text{ кг/см}^2$ тиск після лінії

5. Знаходимо на лінії відношення пропускних здатностей РО:

$$n = \frac{K_{\gamma PO}}{K_{\gamma л}} = \frac{2.5}{2} = 1.25.$$

6. Визначаємо на регулюючому органі перепад тиску:

$$\Delta P_c = P_1 - P_3 = 3 - 2.5 = 0.5 \text{ кг/см}^2.$$

7. Витрата регулюючого середовища через регулюючий орган

$$Q_{PO} = K_{\gamma PO} \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_{PO}}} = 2.5 \cdot \sqrt{\frac{0.1}{0.044}} = 3.77 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

8. Відносн. витрати регулюючого середовища через РО:

$$\mu_{max} = \frac{Q_{max}}{Q_{PO}} = \frac{4}{3.77} = 1.06,$$

$$\mu_{min} = \frac{Q_{min}}{Q_{PO}} = \frac{2}{3.77} = 0.531,$$

де $Q_{min} = 2 \text{ м}^3/\text{год}$ об'ємна витрата рідини

9. Знаходимо по графіках відносний хід плунжера:

$$l_{max} \approx 0.1$$

$$l_{min} \approx 0.05$$

10. Знаходимо на регулюючій органі відношення перепадів тиску до перепадів тиску:

					02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

$$\beta_{\min} \approx 1,5$$

$$\beta_{\max} \approx 1$$

11. Знаходимо на регулюючому органі максимальний перепад тиску:

$$\Delta P_{po \max} = \beta_{\max} \cdot \Delta P_c = 1,5 \cdot 0,5 = 0,75 \text{ кг/см}^2$$

$$\Delta P_{po \min} = \beta_{\min} \cdot \Delta P_c = 1 \cdot 0,5 = 0,5 \text{ кг/см}^2$$

З характеристик РО розрахуємо коефіцієнт передачі:

$$K_{PO} = \frac{0.32}{2.5} = 0,128.$$

Отже, знайдено параметри регулюючого органу, що необхідно для аргументування вибору виконавчого механізму (Таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 Технічні характеристики клапана

Номинальний діаметр, мм	50
Номинальний тиск, МПа (кгс/см ²)	2,5 (16)
Пропускна характеристика	лінійна
Робочий хід плунжера, мм	10
Умова пропускна здатність K_{vy} , м ³ /ч	2,5 3,2 4,0
Відносний витік в затворі, % от K_{vy}	0,1 при $\Delta P_{исп} = 0,4 \text{ МПа}$ (4 кгс/см ²)
Робоче середовище	Вода, пара, повітря та ін. Рідкі і газоподібні середовища
Температура робочого середовища T, °C	Від -15 до +300
Температура навколишнього середовища, °C	Від -15 до +50
Вага клапана, кг	140

Щоб вибрати виконавчий механізм необхідно розрахувати залежність величини обертового моменту ВМ для переміщення плунжера РО:

$$M_{BM} = 2 \cdot (M_p + M_M).$$

де M_p – реактивний момент, спричинений намаганням потоку речовини закрити заслінку; M_M – момент опору. Щоб знайти обертовий момент виконавчого

механізму нам потрібно визначити реактивний момент M_p і момент опору M_M .

$$M_p = 0,07 \cdot \Delta P_{po\ max} \cdot D_y^3$$

$$M_M = 0,75 \cdot \Delta P_{po\ min} \cdot D_y^2 \cdot \lambda$$

Де $\Delta P_{po\ max}$ – максимальний перепад тиску на регулюючий орган; $\Delta P_{po\ min}$ – мінімальний перепад тиску на регулюючий орган; λ – коефіцієнт тертя в опорах регулюючого органу; D_y – діаметр регулюючого органу.

Момент обертання валу виконавчого механізму повинен бути не менший за момент, що потрібний для відкриття заслінки.

$$M_H \geq M_{BM}$$

Розрахунок ВМ:

Знаходимо реактивний момент M_p і момент опору M_M

$$M_p = 0,07 \cdot \Delta P_{po\ max} \cdot D_y^3 = 0,07 \cdot (0,75 \cdot 10^4) \cdot (10^{-3} \cdot 10)^3 = 0,16\ H \cdot м$$

$$M_M = 0,75 \cdot \Delta P_{po\ min} \cdot D_y^2 \cdot \lambda = 0,75 \cdot (0,5 \cdot 10^4) \cdot (10^{-3} \cdot 10)^2 \cdot 0,15 = 0,12\ H \cdot м$$

Тоді момент виконавчого механізму дорівнюватиме:

$$M_{BM} = 2 \cdot (0,12 + 0,16) = 0,56\ H \cdot м.$$

Перевіряємо, чи забезпечує обраний виконавчий механізм задану нерівність:

$$M_H \geq M_{BM}$$

$$0,63 \geq 0,56.$$

Знаходимо електричний ВМ «ГЗ-ОФВ», в якого: $T_{BM} = 7,5\ с.$

Отже передатна функція ВМ буде виглядати:

$$W_{BM} = \frac{K_{BM}}{7,5s} = \frac{0,14}{s}.$$

Еквівалентна передатна функція:

$$W'_{BM}(s) = \frac{W_{ПК}(s)}{(1 + W_{ПК}(s) \cdot W_{ЗЗ}(s))} = \frac{\frac{K_{BM}}{s}}{1 + \frac{K_{BM}}{s}} = \frac{1}{\frac{1}{K_{BM}} \cdot s + 1} = \frac{1}{7,14 \cdot s + 1}$$

Інтегруюча ланка зміниться на інерційну

					02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ ЯКОСТІ ФНКЦІОНУВАННЯ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

4.1. Оцінка якості автоматичних систем за стандартними показниками якості

Створення структурної алгоритмічної схеми системи (рис. 4.1).

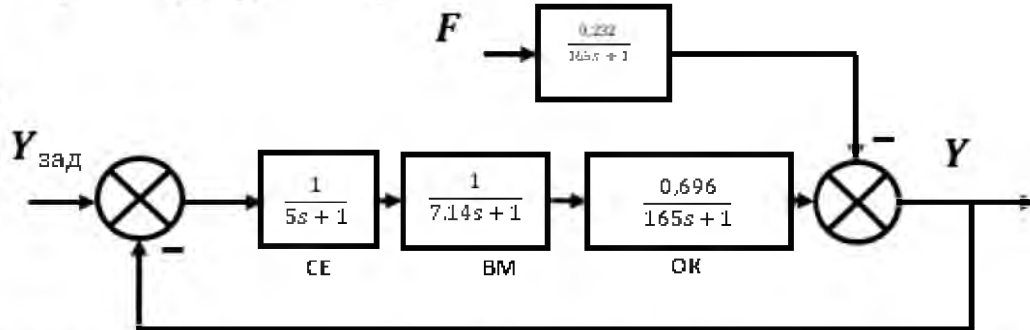


Рис. 4.1 – Структурно-алгоритмічна схема САР

$$K_0 = 0,696$$

$$T_0 = 165 \text{ с.}$$

$$K_F = 0,232.$$

Знайдемо передаточні функції системи автоматичного регулювання: замкнутої системи, розімкнутої системи за керуванням.

Передавальна функція елемента — це відношення зображення Лапласа до початкового значення вхідного сигналу при нульових початкових умовах.

Функцію необхідно проаналізувати для отримання передавальної функції елементів системи, а задані параметри функціональних елементів порівняти з параметрами передавальної функції первинних вузлів.

- Розімкнутої системи ($F=0$)

$$W_{\text{роз}}(s) = \frac{1}{5s+1} * \frac{1}{7,14s+1} * \frac{0,696}{165s+1}$$

$$= \frac{0,696}{(5 * 7,14 * 165)s^3 + (5 * 7,14 + 5 * 165 + 7,14 * 165)s^2 + (5 + 7,14 + 165)s + 1}$$

$$= \frac{0,696}{5890,5s^3 + 2038,8s^2 + 177,14s + 1}$$

- Замкнутої системи за керуванням

$$W_{\text{зам}}(s) = \frac{W_{\text{роз}}(s)}{1 + W_{\text{роз}}(s)} = \frac{0,696}{5890,5s^3 + 2038,8s^2 + 177,14s + 1 + 0,696}$$

$$K=0,696$$

Одержання формули та зведення АЧХ безперервної замкнутої системи. Знаходження допустимого періоду дискретизації цифрового контролера з заданою похибкою квантування $\theta = 1\%$.

Під час проектування цифрової системи керування постає питання про необхідність обмеження частоти квантування. Зі збільшенням частоти квантування збільшується точність управління цифровою системою, але збільшується і навантаження контролера. При зменшенні частоти квантування втрачається важлива інформація про сигнал, що унеможливує відтворення вихідного сигналу з дискретних різновидів.

Знаємо, що найменша частота квантування має бути не менше $2\omega_c$, де ω_c - найвища значна частота у спектрі безперервного сигналу. Оскільки амплітуди високочастотних складових значно ослаблені, враховуючи точність відтворення сигналу, можна припустити, що він має обмежений спектр. Ця межа спектра ω_c визначається формулою:

$$|W_{\text{зам.н.ч.}}| \leq \epsilon_{\text{зад}} \quad (4.1)$$

Частота квантування $\omega_s = \frac{2\pi}{T}$, і має виконуватись нерівність $\omega_s \leq 2\omega_c$ тоді допустимий період квантування визначається за формулою

$$T_{\text{ц}} \leq \frac{\pi}{\omega_c} \quad (4.2)$$

Безперервний сигнал описуємо з заданою точністю та значеннями вимірними в дискретні моменти часу з інтервалом $T_{\text{ц}}$.

Тому безперервна частина системи цифрового управління має функцію передачі

$$W_{\text{роз.н.ч.}}(s) = \frac{0,696}{5890,5 \cdot s^3 + 2038,8 \cdot s^2 + 177,14 \cdot s + 1}$$

Потрібно розрахувати допустимий період квантування, який буде забезпечує максимальну похибку відтворення первинного безперервного сигналу $\theta_{\text{зад}} = 1\%$.

Передаюча функція неперервної частини замкненої системи:

					02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Амплітудно-фазова частотна характеристика (АФЧХ) неперервної частини замкненої системи:

$$W_{\text{зам.н.ч}}(s) = \frac{0,696}{5890,5 \cdot s^3 + 2038,8 \cdot s^2 + 177,14 \cdot s + 1 + 0,696}$$

$$W_{\text{зам.н.ч}}(j\omega) = \frac{0,696}{5890,5 \cdot (j\omega)^3 + 2038,8 \cdot (j\omega)^2 + 177,14 \cdot (j\omega) + 1,696}$$

$$= \frac{0,696}{-j \cdot 5890,5 \cdot \omega^3 - 2038,8 \cdot \omega^2 + j \cdot 177,14 \cdot \omega + 1,696}$$

$$= \frac{0,696}{(1,696 - 2038,8 \cdot \omega^2) + j \cdot (177,14 \cdot \omega - 5890,5 \cdot \omega^3)}$$

Амплітудно-частотну характеристику неперервної частини замкненої системи знайдемо як модуль АФЧХ цієї системи:

$$A(\omega) = |W_{\text{зам.н.ч}}(j\omega)| = \frac{0,696}{\sqrt{(1,696 - 2038,8 \cdot \omega^2)^2 + (177,14 \cdot \omega - 5890,5 \cdot \omega^3)^2}}$$

Прирівняємо АЧХ до заданої похибки $A(\omega) = 0,01$ та у результаті розв'язання рівняння

$$\frac{0,696}{\sqrt{(1,696 - 2038,8 \cdot \omega^2)^2 + (177,14 \cdot \omega - 5890,5 \cdot \omega^3)^2}} = 0,01$$

З допомогою програми MathCad знаходимо амплітудно-частотна характеристику неперервної частини системи (рис.4.2.)

$\omega = -1$
Given

$$\frac{0,696}{\sqrt{(1,696 - 2038,8 \cdot \omega^2)^2 + (177,14 \cdot \omega - 5890,5 \cdot \omega^3)^2}} = 0,01$$

Find(ω) = 0.187

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

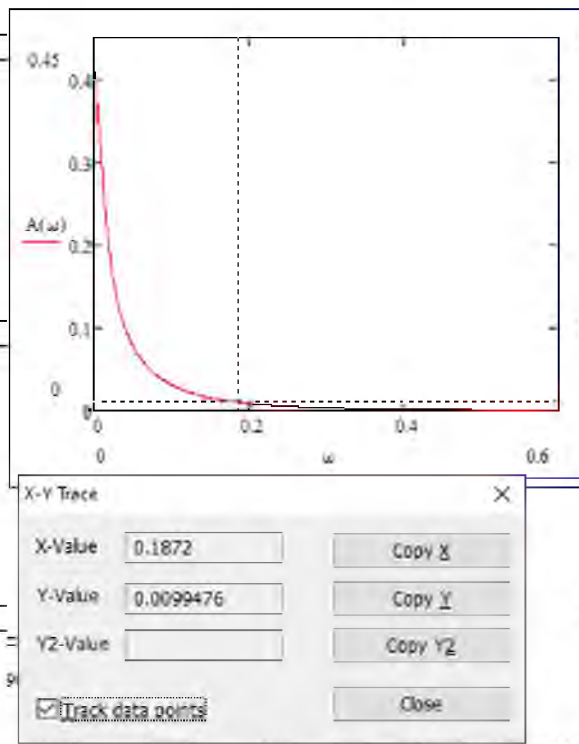


Рис.4.2. Амплітудно-частотна характеристика неперервної частини системи

Найбільша суттєва частота:

$$\omega_c = 0,187$$

Максимально допустимий період квантування, що забезпечує

максимальну похибку $\theta_{зад.} = 1\%$

$$T_{ц} = \frac{\pi}{\omega_c} = \frac{3.14}{0,187} = 16,79 \approx 17 \text{ с}$$

Розрахунок параметрів налаштування регулятора

Якщо виконавчий механізм або інші можливі елементи, що виникають у

функціональній схемі системи автоматичного керування, через великого значення/ постійної часу або через їх інтегруючих властивостей роблять вагомий вплив на частотні і динамічні характеристики системи, складності застосування графо-аналітичні методи росту. Тому ми рекомендуємо

використовувати метод аналізу, запропонований у цьому розділі. Аналітичний

метод визначення параметрів регулятора заснований на вираженні передавальної функції відкритої системи у вигляді

$$W_{роз}(s) = W_{рег}(s) \cdot W_{нч}(s), \quad (4.3)$$

					02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

До незмінної частини входить об'єкт керування з передавальною функцією $W_{ок}(s) = \frac{0,696}{165s+1}$ та виконавчий пристрій з передавальною функцією $W_{BM}(s) = \frac{1}{7,14s+1}$. Передавальною функцією сприймаючого елемента можемо знехтувати. Розраховуємо параметри налаштування ПІД-регулятора.

Передавальна функція незмінної частини:

$$W_{нч}(s) = \frac{0,696}{(165s+1)(7,14s+1)(5s+1)} \approx \frac{0,696}{(165s+1)(7,14s+1)(5s+1)}$$

У випадку ПІД-регулятора компенсуються дві постійні часу $T_1 = 165$ с. та $T_2 = 7,14$ с. Параметри налаштування регулятора:

$$K_p = \frac{T_1 + T_2}{K2T_\mu} = \frac{165 + 7,14}{0,696 \cdot 2 \cdot 5} = 24,73;$$

$$K_i = \frac{1}{K2T_\mu} = \frac{1}{0,696 \cdot 2 \cdot 5} = 0,144;$$

$$K_d = \frac{T_1 \cdot T_2}{K2T_\mu} = \frac{165 \cdot 7,14}{0,696 \cdot 2 \cdot 5} = 169,267;$$

Структурно-алгоритмічної схеми скоректованої системи.

Аналitичний метод визначення параметрів регулятора базується на вираженні передавальної функції відкритої системи у вигляді

$$W_{роз}(s) = W_{рег}(s) \cdot W_{нч}(s),$$

де $W_{рег}(s) = K_p + K_i/s + K_d s$ - для ПІД регулятора, $W_{нч}(s)$ - передавальна функція сталої частини системи, яка вміщує у загальному вигляді об'єкт управління, первинний вимірювальний перетворювач та виконавчий механізм.

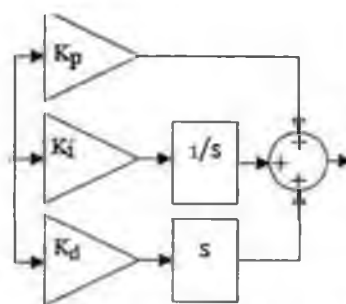
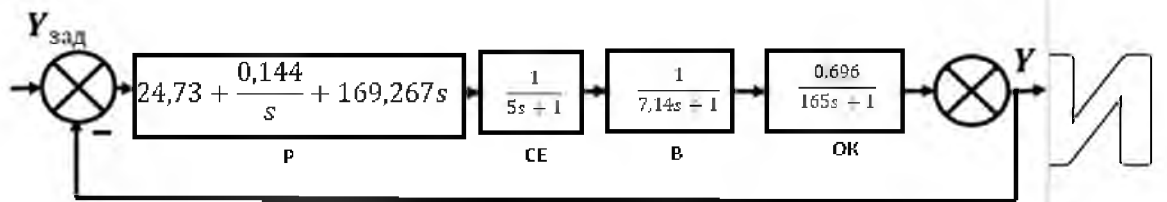


Рис. 4.3. Структурна алгоритмічна схема неперервного ПІД-регулятора

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



Якщо завчасно вказати бажану передатну функцію $W_{роз}(s)$, яка відповідає технологічним вимогам, то, знаючи передатну функцію нерухомої частини, яка містить об'єкт, виконавчий пристрій і первинний перетворювач, і тип контролера, можна визначити передатну функцію регулятора і формулу його налаштування

$$W_{рег}(s) = \frac{W_{роз}(s)}{W_{об}(s)} \quad (4.4)$$

Simulink-моделі неперервної скоректованої системи

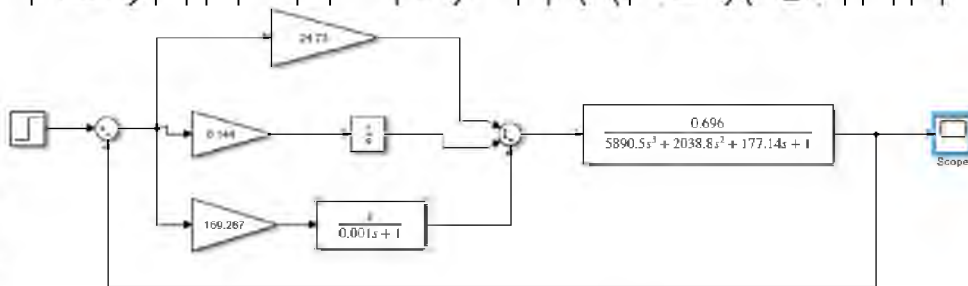


Рис.4.4. Імітаційна модель аналогової системи об'єкта інерційною ланкою

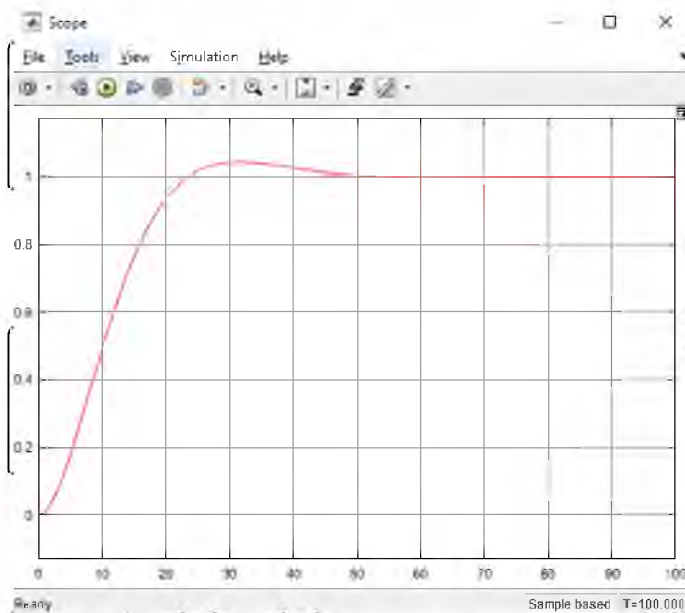


Рис.4.5. Перехідні характеристики системи з ПІД-регулятором об'єкта інерційною ланкою.

Показники якості скоректованої системи :

- статична похибка $\delta = \frac{(1 - y_{уст})}{1} * 100\% = \frac{1-1}{1} * 100\% = 0\%$;
- час регулювання $t_p = 47$ с.;
- перерегулювання $\sigma = \frac{Y_{max} - Y_{уст}}{Y_{уст}} * 100\% = \frac{1,043 - 1}{1} * 100\% = 4,3\%$;
- кочивальність $\eta = 1$.

ВИСНОВОК: Оцінка показників якості налагодженої системи показує, що після впровадження ПІД-регулятора система відповідає показникам якості, встановленим технічним завданням.

Створено Simulink модель системи компенсації з цифровим ПІД-регулятором та отримано перехідну характеристику цифрової системи компенсації.

Дискретна передавальна функція цифрового регулятора визначається відповідно до обраного алгоритму керування:

для ПІД-регулятора :

$$W_{рег}(z) = K_p + \frac{K_i T (z+1)}{2(z-1)} + \frac{K_d (z-1)}{Tz} \quad (4.5)$$

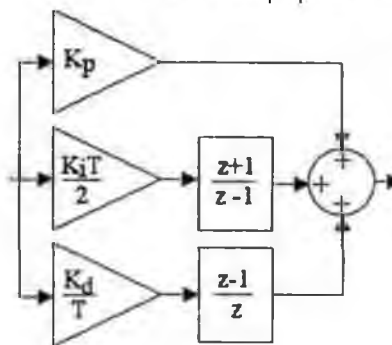


Рис.4.6. Структурна алгоритмічна схема цифрового ПІД-регулятора.

За період квантування T треба взяти значення, що у 10 разів менше, ніж максимально допустимий період $T_{ц}$, що визначається за пунктом 2.5: $T = \frac{T_{ц}}{10}$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

НУБІГ $K_p = 24,73$ аїни

$$\frac{K_i \cdot T}{2} = \frac{0,144 \cdot 1,7}{2} = 0,1224$$

$$\frac{K_d}{T} = \frac{169,267}{17} = 99,57$$

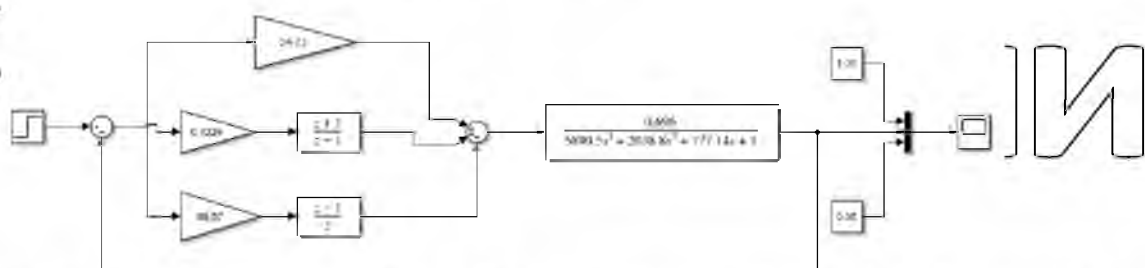


Рис.4.7. Simulink-модель системи автоматичного управління з цифровим ПІД-регулятором

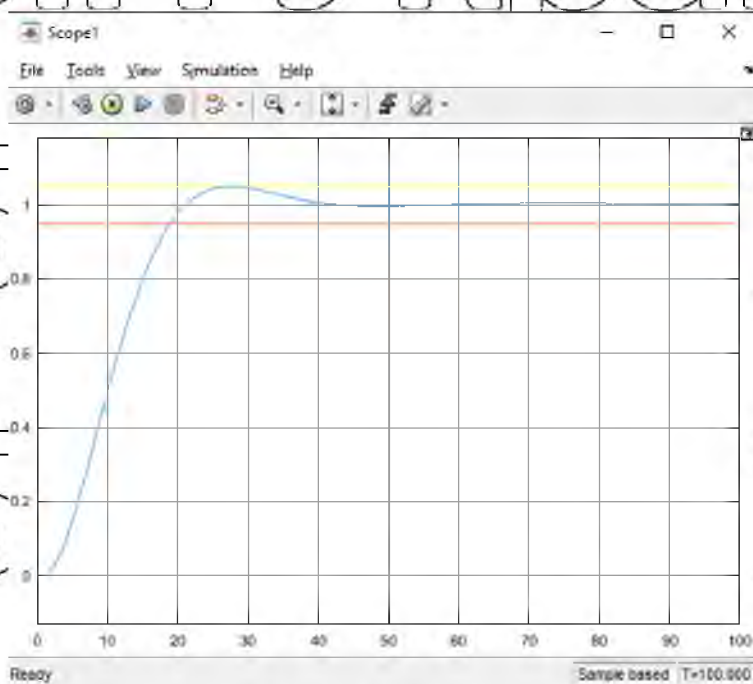


Рис.4.8. Перехідна характеристики цифрової системи з ПІД-регулятором

Для автоматизації технологічного процесу виробництва хліба вибираємо OWEN ПЛК 210(Рис.4.9.).

Основні функціональні можливості

Висока продуктивність

- Процесор ARM® Cortex-A8 з частотою 800 МГц
- Великий обсяг пам'яті:

- ROM 512 Мбайт (NAND)
- RAM 256 Мбайт (DDR3)
- RETAIN 64 Кбайт (MRAM)
- Операційна система Linux з RT-патчем
- Підтримка швидких входів/виходів до 95 кГц на виділеному PRU

Розширені комунікаційні можливості

- Ethernet дає низку переваг:
 - мультимайстерність;
 - висока швидкість опитування;
 - варіативна топологія мережі.
- Підтримка промислових протоколів Modbus RTU/ASCII/TCP, OPC UA (Server), MQTT
- Підтримка прикладних протоколів NTP, FTP, HTTP, HTTPS, SSH
- Підтримка Web-візуалізації CODESYS
- Web-інтерфейс для налаштування і діагностики контролера
- Просте підключення до OwenCloud

Технічні характеристики

Параметр	Значення (властивості)
Живлення	
Кількість портів живлення	2 (основний і резервний)
Напруга живлення	10...48 В (номінальна 24 В)
Напруга переходу від основного джерела живлення до резервного	6 ... 9 В
Споживана потужність, не більше	16 Вт
Захист від переполюсування	Є
Обчислювальні ресурси	
Центральний процесор	RISC-процесор Texas Instruments Sitara AM3358, 800 МГц
Обсяг флеш-пам'яті (тип пам'яті)	512 Мбайт (NAND)
Обсяг оперативної пам'яті (тип пам'яті)	256 Мбайт (DDR3)
Обсяг Retain-пам'яті (тип пам'яті)	64 Кбайт (MRAM)

Час виконання порожнього циклу (стабілізований)	3 мс	—ИИ
Операційна система	Linux Версія ядра 4.14.67	
Інтерфейси зв'язку		—ИИ
Ethernet 100 Base-T		
Кількість портів	<ul style="list-style-type: none"> • 4 x Ethernet 10/100 Мбіт/с (RJ45) • Порти 1-3-комутатор • Порт 4-окремий мережевий адаптер 	—ИИ
Підтримувані промислові протоколи*	<ul style="list-style-type: none"> • Modbus-TCP (Master / Slave) • OPC UA (Server) • MQTT 	
Підтримувані прикладні протоколи	<ul style="list-style-type: none"> • NTP • FTP • HTTP • HTTPS • SSH 	—ИИ
RS-485		
Кількість портів	2	—ИИ
Підтримувані протоколи*	Modbus RTU (Master/Slave) Modbus ASCII (Master/Slave) OBEH (Master)	
Швидкість передачі	1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200 біт/с	—ИИ
Підтягуючі резистори	Є	
RS-232		—ИИ
Кількість портів	1 (сигнали Rx, Tx, GND)	
Підтримувані протоколи*	Modbus RTU (Master/Slave) Modbus ASCII (Master/Slave) OBEH (Master)	—ИИ

Швидкість передачі	1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200 біт/с	ИИ
USB Device		
Кількість портів	1 × micro USB (RNDIS)	ИИ
Підтримувані протоколи	CODESYS Gateway FTP HTTP HTTPS SSH	
Накопичувачі		ИИ
USB Host		
Кількість з'єднувачів	1 × USB type A	ИИ
Підтримувані пристрої	MSD / FTDI, USB 2.0 / 1.1	
SD card		ИИ
Кількість з'єднувачів	1	
Підтримувані пристрої	microSD	ИИ
Максимальна ємність	4 ГБ (microSD) 32 ГБ (microSDHC) 512 ГБ (microSDXC)	
Годинник реального часу		ИИ
Похибка ходу, не більше:		
- при температурі + 25 °С	3 секунди на добу	ИИ
- при температурі -40 і + 55 °С	18 секунд на добу	
Тип джерела живлення	Батарея CR2032	ИИ
Термін роботи на одній батареї	5 років	
Загальні відомості		ИИ
Габаритні розміри	(105×124×83) ±1 мм	

						02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			45

Хмарний сервіс OwenCloud

Хмарні технології стали незамінними в повсякденному житті. Нам байдуже, якщо збій комп'ютера призведе до втрати даних або знищення важливих документів – дані зберігаються в надійних і безпечних хмарних сервісах.

Уявімо, у пристрої стався збій під час віддаленої установки. Інформація про те, що сталося, надійде лише тоді, коли її розкриють. Щоб вирішити проблему, потрібно знайти конфігурацію аварійного пристрою та налаштувати новий. Навіть якщо значення параметрів конфігурації завантажуються та зберігаються відразу після встановлення, немає гарантії, що вони не змінилися під час роботи. Виявляється, необхідно не тільки замінити і налаштувати пристрій, але і перевірити його роботу в різних ситуаціях, щоб виключити помилки конфігурації, що вимагає витрат, часу і зусиль. значні гроші.

Ситуація кардинально змінюється при підключенні пристрою до хмарного сервісу Owen Cloud. Сервіс повідомляє про збій пристрою або датчика, а при необхідності екстрене сповіщення електронною поштою або SMS. Пристрій може бути замінений персоналом середньої кваліфікації в домашніх умовах. Потім новий пристрій налаштовується віддалено: остання оновлена конфігурація пристрою зберігається на хмарному сервері, що полегшує його відновлення. І нарешті: перевіряється працездатність нового пристрою.

Послуга скорочує витрати часу, економить кошти та підвищує ефективність АСУ ТП.

Хмарний сервіс Owen Cloud відкриває нові можливості, раніше недоступні навіть при використанні дорогих систем SCADA, коли пристрої підключаються до них через OPC-сервери.

Перегляд даних АСУ

Ви можете зручно переглядати дані про результати вимірювань, розрахунки або вихідний стан пристрою у вигляді графіків і таблиць, і архівувати їх на сервері до 90 днів. У майбутньому планується додаткова

									Арк.
									47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ				

функція відображення мнемонічних даних об'єкта керування.

Контроль аварійних та позаштатних ситуацій

На основі одного або кількох параметрів хмарна служба діагностує ненормальний стан або аварію на заводі та може відображати повідомлення на електронну пошту, коротке повідомлення на мобільний пристрій або дані на

веб-сайті служби. Після встановлення мобільного додатку користувачеві доступні push-повідомлення.

Віддалений контроль та управління

Запустити процес або змінити уставку можна з будь-якої точки світу через web-інтерфейс хмарного сервісу.

Віддалене конфігурування приладів ОВЕН

На сервері періодично змінюється конфігурація пристрою, підключеного до «хмари». Доступно до п'яти остаточних конфігурацій. Ви можете побачити різницю між ними, змінити дату конфігурації, ви можете змінити значення параметрів конфігурації та записати їх на пристрій. Якщо ви змінюєте пристрій або хочете налаштувати інший пристрій, просто скористайтеся функцією копіювання.

Передача даних у SCADA-системи та інші програми

Oven OPC Server дозволяє отримувати дані з хмарного сервісу Oven Cloud і передавати їх в іншу систему ACS або більш високу систему для реалізації загального інтерфейсу керування без зайвих витрат.

Відображення на карті

Ця функція сервісу стане в нагоді для моніторингу розподілених об'єктів, щоб оцінити ситуацію на аварійних об'єктах.

Збір даних

Для збору даних від віддалених об'єктів до центру управління зазвичай необхідно обладнати центр управління сервером, який працює 24 години на добу, 7 днів на тиждень, призначити статичну «білу» IP-адресу та платний OPC-сервер. придбати. Систему ще потрібно налаштувати та підтримувати.

Використання Oven Cloud все спрощує, оскільки більшість описаних завдань

						Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ	

вирішуються в хмарі. Вам потрібно налаштувати безкоштовний OPC-сервер OVEN для отримання та передачі даних з Owen Cloud до систем SCADA. Зручність та мобільність

Інтерфейс сервісу підходить для практичної роботи з будь-якого комп'ютера чи мобільного пристрою. На додаток до функцій Owen Cloud, згаданих вище, є багато інших функцій, запланованих на майбутнє.

Прилади OVEN, що підключаються до Owen Cloud

До сервісу Owen Cloud можуть підключатися прилади з інтерфейсами Ethernet та RS-485 (сервіс підтримує протоколи OVEN та Modbus RTU/ASCII).

Прилади з інтерфейсом Ethernet (OVEN ПЛК) підключаються до OwenCloud без додаткових пристроїв: достатньо підключити пристрій до мережі Ethernet з виходом до Internet. Передача даних здійснюється за протоколом Modbus TCP.

Для приладів з RS-485 розроблено три шлюзи з різними вихідними інтерфейсами, що дозволяють організувати двосторонній зв'язок польових пристроїв OVEN із «хмарою».

Шлюз OVEN PM210 із вбудованим модулем GSM дозволяє пристроям, встановленим у віддалених місцях, де немає дротового Інтернету, підключатися до хмари Owen. Шлюз встановлюється SIM-карта мобільного оператора. Передача даних здійснюється через GPRS і не потребує значних витрат на оплату послуг.

Шлюз OVEN PE210 передає дані від приладів OVEN у хмарний сервіс за інтерфейсом Ethernet за наявності у ньому виходу Internet.

Шлюз OVEN PW210 оснащений модулем Wi-Fi і може з'єднуватися з «хмарою» бездротовою мережею Wi-Fi.

Шлюзи не вимагають складного налаштування, не потребують статичної IP-адреси, тобто можуть працювати з так званої сірої мережі. Шлюзи OVEN призначені для промислового застосування та експлуатації у жорстких умовах.

Зручність Owen Cloud

Робота з Owen Cloud не вимагає особливої кваліфікації чи спеціальних

									Арк.
									49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ				

знань. Веб-інтерфейс сервісу практичний та інтуїтивно зрозумілий. Після простої реєстрації на початку роботи користувач заходить в особистий кабінет, додає вибрані пристрої та може працювати з даними та конфігураціями. Якщо цим пристроєм або іншими пристроями мають керувати певні співробітники, послуга налаштовується з різними рівнями доступу.

Веб-інтерфейс сервісу адаптується для роботи з екранами різних розмірів і однаково корисний на широкоформатних настільних моніторах, ноутбуках і мобільних пристроях. Для зручності розробляється мобільний додаток для платформи Android, що полегшує роботу з Oven Cloud на мобільних пристроях.

Надійність Oven Cloud

Окрім зручності, Oven Cloud пропонує високий ступінь надійності та безпеки. Дані надсилаються в зашифрованому вигляді та зберігаються на захищених серверах у центрі обробки даних, їх не можна змінити чи підробити під час атаки MITM.

При необхідності дії користувача сервісу можуть бути обмежені. Для особливо важливих дій, які можуть вплинути на роботу пристрою, ви можете налаштувати їх підтвердження за допомогою кодів, надісланих через SMS. Цей механізм використовується банками для підтвердження операцій, здійснених через онлайн-сервіси.

Сервери Oven Cloud забезпечують високий рівень стійкості до відмов і резервування, що знижує майже до нуля ймовірність втрати даних.

Вартість Oven Cloud та перспективи розвитку

Основні функції хмарного сервісу для пристроїв OVEN доступні безкоштовно. Існують певні обмеження щодо часу збереження даних і кількості надісланих текстових повідомлень. Додаткові функції можуть бути доступні за окрему плату. У майбутньому функціонал Oven Cloud буде розширено: з'являться функції обробки та візуалізації даних. Ці функції також будуть доступні з місячною підпискою.

Сервіс Oven Cloud активно розвивається. Поряд із задумами розробників цікаві ідеї підказують користувачі. Це дозволяє створити кращий, зручний та

					02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

потрібний сервіс хмарних обчислень для вирішення багатьох завдань у галузі АСУ ТП.



Рис.4.11. Список обладнання ОВЕН з можливістю підключення до Owen Cloud

Сервер OVEN OPC можна підключити до служби Owen Cloud. Завдяки серверу OPC ви можете читати або записувати параметри пристроїв, підключених до Owen Cloud. Це зручно, коли потрібно перенести дані з Owen Cloud в систему SCADA або організувати віддалену диспетчерську систему. Комбінація OPC-сервера та SCADA дозволяє створити локальний архів на комп'ютері.

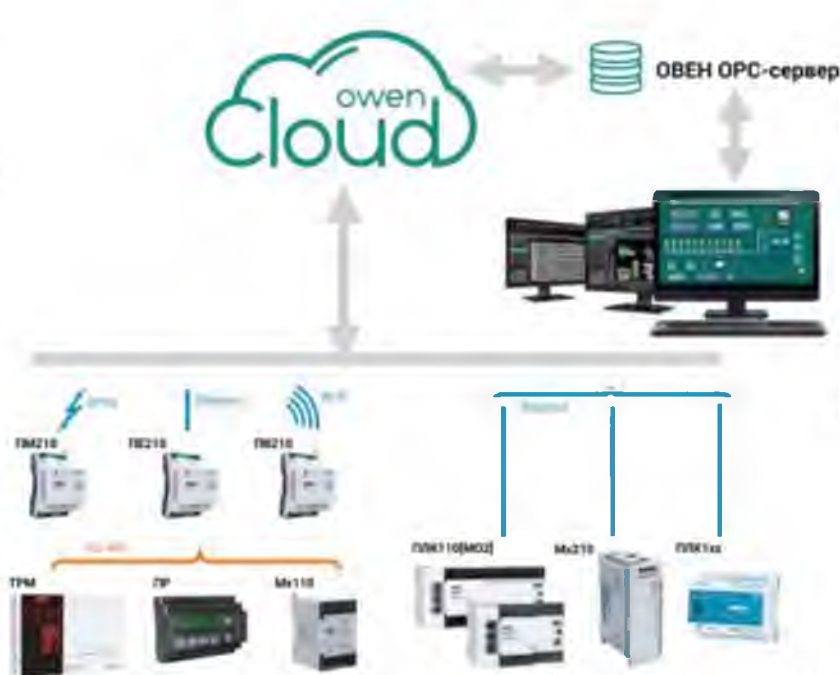


Рис.4.12. Список обладнання ОВЕН з можливістю підключення до OPC-сервера

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

					02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ	Арх.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

РОЗДІЛ 5. ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

5.1. Вибір пускозахисної апаратури

З попереднього розділу ми взяли електродвигун ГЗ-ОФВ з наступними технічними характеристиками: $P_{ED} = 370 \text{ Вт}$; $I_H = 2,5 \text{ А}$; $\cos\varphi_H = 0,27$; $K_i = 5$;

$$I_{II} = 8,84 \text{ А}$$

Вибір автоматичного вимикача QF1

Вибір автоматичного вимикача виконують за умовами:

- за типом або серією;
- номінальна напруга за умовою:

$$U_{H.B} \geq U_M, \quad (5.1)$$

де $U_{H.B}$ - номінальна напруга автоматичного вимикача, В; U_M - номінальна напруга електромережі, В;

- за номінальним струмом:

$$I_{H.B} \geq I_{H.e}, \quad (5.2)$$

де $I_{H.B}$ - номінальний струм автоматичного вимикача, А; $I_{H.e}$ - номінальний струм електродвигуна, А;

- за номінальним струмом теплового розчіплювача:

$$I_{HP} \geq 1,25 \cdot I_{H.e}, \quad (5.3)$$

де I_{HP} - номінальний струм теплового розчіплювача автоматичного вимикача, А; 1,5 - коефіцієнт, враховуючий роздріб за струмом спрацювання теплового розчіплювача; за яким проходить струм, та перебувають в середині корпусу, від потрапляння в корпус сторонніх твердих тіл і потрапляння в нього води, згідно ГОСТ 14254-69;

- за кліматичним виконанням та категорією розміщення, згідно з ГОСТ 11543-70 і ГОСТ 15150-69.

Вихідні дані для вибору автоматичного вимикача QF1:

Для елетродвигуна ГЗ-ОФВ з такими характеристиками: $P_{ED} = 370 \text{ Вт}$;

$$I_H = 2,5 \text{ А}; \cos\varphi_H = 0,27;$$

Тому для вибору автоматичного вимикача QF1 використовуємо наступні дані:

									Арк.
									53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ				

$$U_{н.вм} = 380В;$$

$$I_{н.р.} = I_{н.д.л.} = 2,5 А;$$

$$I_{н.р.} = 2,5 \cdot 1,25 = 3,125 А;$$

Залежно від умов, що розглядаються, можна підібрати автоматичний вимикач.

Обираємо автоматичний вимикач Siemens 3р С 6А 6кА 400V 5SL6306-7 за такими технічними характеристиками $U_{н.вм} = 380В$; $I_{н.вм} = 6А$; $I_{н.р.} = 7,5 А$; $380В = 380В$; $6А > 2,5 А$; $7,5А > 3,125А$.



Рис. 5.1. Автоматичний вимикач двигуна

Умови виконуються, а тому автоматичний вимикач вибраний правильно.

Автоматичний вимикач QF2:

Обираємо автоматичний вимикач QF2

Вибираємо Schneider Electric ВА63 50/1С за такими технічними характеристиками $U_{н.вм} = 280В$; $I_{н.вм} = 6А$.



Рис. 5.2. Автоматичний вимикач електричної схеми

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ

Арк.

54

Вибір електромагнітного пускача

Електромагнітні пускачі застосовуються для дистанційного пуску, зупинки і реверсування трифазних асинхронних електродвигунів, а також можуть використовуватися для автоматичного керування електродвигунами та іншим електрообладнанням. Електромагнітні пускачі вибираються виходячи з наступних умов:

- а) за типом та серією;
- б) за номінальною напругою:

$$U_{н.м.} \geq U_{м.}, \quad (5.4)$$

де $U_{н.м.}$ - номінальна напруга магнітного пускача, В; $U_{м.}$ - номінальна напруга електромережі, В;

- в) за номінальним струмом:

$$I_{н.м.} \geq I_{н.}, \quad (5.5)$$

де $I_{н.м.}$ - номінальний струм магнітного пускача, А; $I_{н.}$ - номінальний струм навантаження, А.

- г) за номінальною напругою котушки електромагнітного пускача:

$$U_{к.м.} \geq U_{кк.}, \quad (5.6)$$

де $U_{к.м.}$ - номінальна напруга котушки магнітного пускача, В; $U_{кк.}$ - напруга кола керування, В;

Вихідні дані щоб вибрати електромагнітний пускач КМ1, КМ2:

$$U_{н.с.} = 380\text{В}; I_{н.д.} = 2,5\text{А}; U_{н.м.} = 220\text{В}$$

Наведені вище умови використовуються для вибору пускача електродвигуна. Вибраємо електромагнітні пускачі Siemens 3RT1015-1BB41 з технічними характеристиками: $U_{н.м.п.} = 660\text{В}$; $I_{н.м.п.} = 7\text{А}$; $U_{н.к.} = 220\text{В}$.

$$660\text{В} > 380\text{В}; 7\text{А} > 2,5\text{А}; 220 = 220\text{В}$$

					02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55



Рис. 5.3 Електромагнітний пускач

Вибір теплового реле КК1

Теплові реле захищають трифазні асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором від неприпустимих струмів перевантаження.

Вибір теплового реле виконують за умовами:

- а) за типом та серією;
- б) за номінальною напругою:

$$U_{n.tr} \geq U_M \quad (5.7)$$

де $U_{n.tr}$ - номінальна напруга теплового реле, В; U_M - номінальна напруга електромережі, В;

- в) за номінальним струмом:

$$I_{n.tr} \geq I_{n.dv.} \quad (5.8)$$

де $I_{n.tr}$ - номінальний струм теплового реле, А; $I_{n.dv.}$ - номінальний струм електродвигуна, А;

- г) за номінальним струмом неспрацьовування:

$$I_{nn.tr.} \geq I_{n.dv.} \quad (5.9)$$

де $I_{nn.tr.}$ - номінальний струм неспрацьовування теплового реле, А; $I_{n.dv.}$ - номінальний струм електродвигуна, А;

Вихідні дані для вибору:

$$U_M = 380 \text{ В}; I_{n.dv.} = 2,5 \text{ А}$$

Згідно розглянутих умов вибираємо теплове реле Siemens 3RU2116-1DB0 за такими технічними характеристиками

									Арк.
									56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ				

$U_{н.тр.} = 660 \text{ В}; I_{н.тр.} = 40 \text{ А}; I_{н.нтр.} = 2,2 - 3,2 \text{ А}$

за наступними

налаштуваннями на номінальний струм $I_{н.нтр.} = 2,5$



Рис. 5.4 Теплове реле

Двопозиційний перемикач

- за напругою ($U_{н.з} > U_{н.т}$), $U_{н.з} \geq 220$;

- за струмом ($I_{н.з} > I_{н.т}$), $I_{н.з} \geq 2,5$.

З приведених умов вибираємо перемикач SA1 типу Harmony XB5 за такими технічними характеристиками: $U_{н.з.} = 240 \text{ В}; I_{н.з.} = 3 \text{ А}$.



Рис. 5.5 Двопозиційний перемикач

Сигнальні лампи:

Обираємо сигнальні лампи HL1, HL2, HL3 типу L2RR-L3

Технічні характеристики:

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

- виступаючий тип розміщення з плоским круглим плафоном,
 - висота виступаючої частини не більше 14 мм,
 - діаметр монтажної частини – 22,5 / 25,5 мм,
 - діаметр плафона – 28,5 мм,
- для мереж напругою 110...240 В АС або 12...24В АС / DC в залежності від обраного блоку індикації,
- захист корпусу стандарту IP52,
 - для робочої температури в діапазоні -15°C ... + 55°C.



Рис. 5.6 Сигнальна лампа

Кнопки:

Обираємо кнопки SB1, SB2 марки Аско XB2-EN121

Технічні характеристики:

$U_{н.п.} = 230 В$

$I_{н.зат.} = 1 А$



Рис. 5.7 Кнопка

5.1.1. Вибір проводів та кабелів

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ

Арк.

58

Переріз струмопровідних жил проводів і кабелів слід вибрати з урахуванням їх гранично допустимого і достатнього нагрівання.

Механічна міцність. При визначенні кількості проводів (або жил багатожильного кабелю), що прокладаються в трубі, нульовий робочий провід (або провідник заземлення) систем чотирифазного струму не враховується. Площа поперечного перерізу жил проводів, шнурів і кабелів повинна вибиратися за довготривалими допустимими значеннями струму:

$$I_{tr.dop} \geq I_{roz} \quad (5.10)$$

де I_{roz} - розрахунковий струм ділянки електричної мережі, А.

Розгалуження до окремих електроспоживачів за максимальні тривалі робочі струми беруть їх номінальні струми, які визначаються за формулами:

а) для однофазних споживачів:

$$I_{ном} = \frac{10^3 \cdot P_{ном}}{U_{ном} \cdot \cos\phi_{ном}} \quad (5.11)$$

б) для трифазних споживачів:

$$I_{ном} = \frac{10^3 \cdot P_{ном}}{\sqrt{3} U_{ном} \cdot \cos\phi_{ном}} \quad (5.12)$$

в) для трифазних асинхронних електродвигунів з короткозамкнутим ротором:

$$I_{ном} = \frac{10^3 \cdot P_{ном}}{\sqrt{3} U_{ном} \cdot \eta_{ном} \cdot \cos\phi_{ном}} \quad (5.13)$$

Розрахунковий струм магістралей, від яких живиться кілька споживачів, розраховуються за формулою:

$$I_{м.роз} = K_o \cdot \sum I_{ном(роз)} \quad (5.14)$$

де K_o - коефіцієнт одночасної роботи споживачів електроенергії.

$\sum I_{ном(роз)}$ - сума номінальних всіх сил струму, А.

Монтаж у щиті робимо за допомогою одного типу проводу. Провід вибираємо за найбільшим струмом. Беручи це до уваги провід обираємо так щоб виконувалась умова: $I_{tr.dop} \geq I_{roz}$, де $I_{roz} = 6$ А. Найбільш підходящим проводом

					02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

є ПВ-1(1x1), Площа поперечного перерізу $S=0,5\text{мм}^2$, $I_{\text{тр.доп}}=6\text{ А}$



Рис. 5.7. Кабель типу ПВ-1(1x1)

Електродвигун ГЗ-ОФВ за такими технічними характеристиками: $P_{\text{ед}} = 370\text{ Вт}$, $I_{\text{н}} = 2,5\text{ А}$, $\cos\phi_{\text{н}} = 0,27$; $K_{\text{с}} = 5$, $I_{\text{п}} = 8,84\text{ А}$, $\eta_{\text{ном}} = 0,83$.

$$I_{\text{ном}} = \frac{10^3 \cdot 370}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,27} = 2,5\text{ А} \quad (5.15)$$

Вибираємо ПвВГ (3 x 2,5 (ож)), площа поперечного перерізу $S= 2,5\text{мм}^2$.

Згідно із схемою електричних підключень, використовуємо відповідні провoda і кабели:

- $I_{\text{тр.доп.}} \text{ Іном.} QF1=17\text{ А}$.
- $U_{\text{ном.}}=380\text{ В}$.
- Кількість жил - 4.



Рис. 5.8. Кабель типу ПвВГ (3 x 2,5 (ож))

Обираємо ВВГ 4 x 16, площа поперечного перерізу $S=16\text{мм}^2$

					02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

НУБІ



ІНІ

Рис. 5.9. Кабель типу BVG 4 x 16

Кабель до датчика.

- $I_{тр. доп.} = 0,8A$.
- $U_{ном.} = 220V$.
- кількість жил – 2.

Обираємо KBVG (2x1), площа поперечного перерізу $S = 1mm^2$

НУБІ



ІНІ

Рис. 5.10. Кабель типу KBVG (2x1)

5.2. Розрахунок надійності схеми автоматичного управління

При проектуванні схем автоматичного регулювання необхідно розробити схеми, які мають задані технічні характеристики і достатню надійність в експлуатації.

Розрахунки надійності схем при проектуванні базуються на оціночних розрахунках через низьку точність вихідних даних.

Розраховуємо інтенсивність відмов схеми автоматичного управління λ_{Σ} , $1/год$, за формулою:

$$\lambda_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \lambda_i,$$

де $\sum_{i=1}^n \lambda_i$ - сума інтенсивностей відмов всіх компонентів, що входять до схеми управління (окрім електродвигуна), $1/год$.

					02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Для зручності значення інтенсивності відмов схеми автоматичного керування виконуємо табличним методом.

Значення інтенсивності відмов елементів схеми автоматичного управління приведено у таблиці 1.

Таблиця 1 - Визначення значення інтенсивності відмов схеми автоматичного управління

Назва елементів	Кількість однотипних елементів	Інтенсивність відмов елемента $10^{-6}, 1/\text{год.}$	Результуюча інтенсивність відмов, $10^{-6}, 1/\text{год.}$
Автоматичний вимикач	2	0.161	0.322
Теплове реле	1	0.4	0.4
<u>Вимикачі пакетні</u>	1	0.175	0.175
<u>Кнопковий вимикач</u>	2	0.063	0.126
<u>Електродвигун</u>	1	5.24	5.24
<u>Магнітний пускач</u>	2	0.25	0.5
<u>Лампи</u>	3	0.3	0.9
Механічні контакти	13	0.25	3.25

$$\lambda_{\Sigma} = 10.913 \cdot 10^{-6} 1/\text{год}$$

Визначаємо час напрацьовування на відмову $T_{\text{напр.}}$, по такій формулі

$$T_{\text{напр}} = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}}$$

де λ_{Σ} - інтенсивність відмов схеми автоматичного керування, $1/\text{год.}$

$$T_{\text{напр.}} = 1/10.913 \cdot 10^{-6} = 91634 \text{ год.}$$

Визначається вірогідність безвідмовної роботи схеми $P(t)$, за формулою

$$P(t) = e^{-k\lambda_{\Sigma}t_x},$$

де k - поправочний коефіцієнт, який враховує вплив зовнішнього середовища;

λ_{Σ} - інтенсивність відмов схеми автоматичного керування, $1/\text{год.}$;

t_x - час роботи, для якого визначаються параметри надійності, год.

Згідно довідкової літератури приймаємо для стаціонарних установок $K=10$ і $t_x=1000$ год

$$P(t) = e^{-10.913 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4} = 0.897$$

Для підвищення надійності розглянемо спосіб навантаженого резервування. Всю схему резервувати не потрібно, а тільки її частину.

На підставі попередньої формули маємо

$$p_3(t) = p_1(t) \cdot p_2(t)$$

де $p_1(t)$ - імовірність безвідмовної роботи схеми, що резервується; $p_2(t)$ - імовірність безвідмовної роботи тієї частини схеми, що резервуванню не підлягає. Аналізуючи схему, знаходимо:

$$p_2(t) = e^{-1 \cdot (0.161 + 0.175 + 0.126 + 0.25 + 0.9 + 10 \cdot 0.25) \cdot 10^{-6} \cdot 10^4} = 0.96$$

Тоді:

$$p_1(t) = \frac{p_3(t)}{p_2(t)} = \frac{0.96}{0.96} = 1$$

Знаючи, що навантажене резервування - це паралельне з'єднання однотипних елементів, матимемо:



$$1 = 1 - (-e^{-1 \cdot \lambda_1 \cdot 10^4 \cdot m})$$

$$m = \frac{\log(1 - 1)}{\log(-e^{-1 \cdot 7.051 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4 \cdot m})}$$

де $\lambda_1 = (0.161 + 0.4 + 5.24 + 0.5 + 3 \cdot 0.25) \cdot 10^{-6} = 7.051 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$

- сумарна інтенсивність відмов елементів тієї частини, що підлягає резервуванню.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ				63

Отже система при експлуатації буде працювати надійно, тому що показники вірогідності безвідмовної роботи знаходяться в встановлених межах (від 0,955 до 0,99).

5.3. Розробка загального виду щита керування

Панель керування являє собою металеву пластину з просвердленими в ній отворами для кріплення кнопок керування та перемикачів. Кількість та призначення команд визначається основним ланцюгом. Порядок команд відповідає логіці командних дій оператора, таких як запуск і зупинка сигналізації, вибір та керування двигуном, керування аварійними світлодіодами і т.д.

Великі розміри панелі визначаються габаритами використовуваних технічних засобів. Обладнання (та пристрої) розміщені перед друкованими платами та пультами управління, розташовані відповідно до загальноприйнятих принципів справедливого та розумного розташування. Повинні бути забезпечені комфорт та ефективність роботи оператора, а також безпека обслуговування.

У щитах із зовнішнім керуванням (щити захищені задніми дверцятами).

(Для передніх і бічних дверей глибина або відстань між дверима і протилежною стіною не повинна перевищувати 600 мм) Обладнання з рухомими частинами в стіні. У пультах, як правило, в якості пристроїв для позиціонування повинні використовуватися тільки робоча поверхня (верхня поверхня) пульта дистанційного керування і передня панель приладової дошки.

Рекомендується встановлювати затискачі тільки на внутрішню стінку пульта дистанційного управління.

Прилади (або блоки приладів) на друкованих платах і пультах повинні групуватися за системою вимірювання, контролю і сигналізації наступним чином. Вид струму, напруги та тип пристрою. При розміщенні приладів і апаратури на друкованій платі або консолі відстань між відкритими між струмоведучими елементами різних фаз (полюсами) та між елементами і неізолюваними металевими частинами (корпусами) на ізолюваних поверхнях

									Арк.
									64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ				

повинна бути не менше 20 мм, а в повітрі - 12 мм.

Пульт управління - шафового типу. Розміри панелі 600 x 800 x 260 мм
були обрані експериментально.

Вимогам розміщення відповідають невеликі шафові панелі типу ШПК.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ

Арк.

65

РОЗДІЛ 6. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ВОЛОГІСТЮ В ПЕЧІ

Автоматизація технологічних операцій спрямована на підвищення ефективності праці, збільшення виробництва продукції, зниження затрат праці, зниження цін на продукцію та енергоємності, скорочення терміну окупності інвестиційних витрат.

Найважливішим показником ефективності інвестицій у розвиток автоматизації є розрахункові загальні витрати. Враховуюється частка капіталовкладень на рік та річні експлуатаційні затрати.

Щоб зробити розрахунок зведених витрат можна за формулою:

$$B_z = C + E_x \cdot K, \quad (6.1)$$

де: B_z - зведені витрати, грн./рік; K - капітальні витрати, грн.; C - річні експлуатаційні витрати, грн./рік; E_x - нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень,

До експлуатаційних витрат відносять:

затрати на оплату енергоресурсів (C_e);

утримання основних засобів виробництва (C_y);

оплату праці персоналу (C_3);

інші прями затрати (C_n).

Затрати на заробітну плату персоналу, що експлуатуватиме системи автоматизації, приймаємо в розмірі $C_3 = 55$ грн/год.

Затрати на амортизацію беруть від балансової вартості обладнання та засобів автоматизації. Для данної роботи беремо $C_a = 14,2\%$.

Затрати на поточний ремонт обладнання визначають у відсотках балансової вартості.

Затрати на енергоресурси та електроресурси визначають з величини затрат електроенергії та її тарифам. У виробничих об'єктів це становить 2,7 грн./рік.

$$C_e = P \cdot \Gamma \cdot 2,7 \text{ грн./рік} \quad (6.2)$$

де: P - потужність виробничого об'єкта, кВт; Γ - кількість годин роботи на рік,

					02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

год.

Час що зекономили при автоматизації дорівнюватиме $\Delta T = 0,3 = 30\%$.
Тобто річні експлуатаційні затрати дорівнюватимуть:

$$C = C_3 + C_y + C_e + C_0, \quad (6.3)$$

Всі інші прямі затрати будуть рівними 1 % від загальної суми експлуатаційних витрат. Отож:

$$C = \sum C_i \cdot 1,01 \quad (6.4)$$

Щоб визначити капіталовкладення потрібно мати на увазі всі сумісні витрати, а конкретніше:

- витрати на монтаж технічних засобів (K_m);
- торгівельно-транспортні і складські затрати ($K_{т.т.}$);
- ціну технологічних засобів автоматизації (K_3);
- протяжка внутрішньої електропроводки ($K_{пр}$);
- інші капітальні витрати, що пов'язані із встановленням автоматизації (K_i).

Витрати на купівлю знаходять за номенклатурними довідниками і рештою довідниковою літературою.

Торгівельно-транспортні затрати будемо вважати рівними 11% від ціни технічних засобів:

$$K_{т.т.} = 0,11 \cdot K_3 \quad (6.5)$$

Витрати на монтажні роботи знаходимо за нижчезазначеними розцінками на монтажні роботи. Затрати на монтаж становлять 15...20 % від ціни технічних засобів, що необхідно змонтувати:

$$K_m = 0,15 \dots 0,20 \cdot K_3 \quad (6.6)$$

В нашому проекті беремо середнє значення - 17 %.

Токож необхідно мати на увазі затрати на протяжку кабелів. У наших розрахунках беремо, що ціна протяжки 1 м кабелю по відкритому просторі 14,3 - 29,7 грн., закритим простором 82,5 грн.

Усі інші затрати будемо вважати рівними 2% від кінцевої суми капіталовкладень $K_i = 0,02 \cdot K_3$. Отож:

НУБІП УКРАЇНИ

Тому кінцева вартість технічних засобів автоматизації буде складати:

$$K_3 = K_{сн} + K_{ен} + K_{кор}, \quad (6.8)$$

де $K_{сп}$ - кінцева вартість електричної частини (таб. 5.1)

Таблиця 5.1. Кінцоторис на електричну частину

№	Кількість	Найменування	Ціна 1шт, грн.	Ціна сумарна, грн.
1	1	Siemens 5SL6306-7	534 грн.	534 грн.
2	1	Schneider Electric BA63	143,6 грн.	143,6 грн.
3	2	Аско ПМ 0-06-01	226 грн.	452 грн.
4	1	Siemens 3RU2116-1DB0	809 грн.	809 грн.
5	1	Harmony XB5	186 грн.	186 грн.
6	3	L2RR-L3	50 грн.	150 грн.
7	2	Аско XB2-ЕН121	21 грн.	42 грн.
8	1	ETITEC-WENT TNC-S	6 289 грн.	6 289 грн.
9	1	ЩІТ керування	3 689 грн.	3 689 грн.

Сума: 12 294,6 грн.

$K_{сак}$ - кінцева вартість системи автоматичного керування (таб. 5.2),

$$K_{сак} = 9\,797,55 \text{ грн.}, \quad (6.9)$$

$K_{вп}$ - кінцева вартість ВМ та ПЦ (Таб. 5.2)

$$K_{вп} \approx 91\,150 \text{ грн.}, \quad (6.10)$$

Таблиця 5.2. Кінцевий кошторис виходячи з даних попередніх розрахунків

№	Кількість	Найменування	Ціна 1шт, грн.	Ціна сумарна, грн.
---	-----------	--------------	----------------	--------------------

Система автоматичного управління

1	1	OWEN ПЛК 210	6 198 грн.	6 198 грн.
2	1	Вартість монтажу блоку	66 грн.	66 грн.
3	25	Кабель з'єднувальний	137,5 грн.	3 437,5 грн.
4	1	Кабель з'єднувальний RS-	46,75 грн.	46,75 грн.
5	5	Кабель мережевий	9,86 грн.	49,3 грн.

02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ

Арк.

68

Виконавчі механізми та первинні перетворювачі

1	1	Клапан КПСР 200	17500 грн.	17500 грн.
2	1	Електропривід ГЗ-ОФВ	16930 грн.	16930 грн.
3	1	Датник вологості GPro 500	56720 грн.	56720 грн.

Тому маємо:

$$K_3 = 12\,294,6 + 9\,797,55 + 91\,150 = 113\,242,15 \text{ (грн.)} \quad (6.12)$$

Торгівельно-транспортні витрати розраховуються:

$$K_{\text{тм}} = 0,11 \cdot K_3 = 0,11 \cdot 113\,242,15 = 12\,456,64 \text{ (грн.)} \quad (6.13)$$

Затрати на монтаж технічних засобів розраховується:

$$K_M = 0,17 \cdot K_3 = 0,17 \cdot 113\,242,15 = 19\,251,17 \text{ (грн.)} \quad (6.14)$$

Інші капітальні затрати становитимуть 2% від суми капітальних вкладень:

$$K_i = 0,02 \cdot 113\,242,15 = 2\,264,84 \text{ (грн.)} \quad (6.15)$$

Знайшовши суму капітальних вкладень, який дорінює:

$$K = K_3 + K_{\text{тм}} + K_M + K_i = 113\,242,15 + 12\,456,64 + 19\,251,17 + 2\,264,84 = 147\,214,8 \text{ (грн.)} \quad (6.16)$$

знайдемо відрахування на амортизацію:

$$C_a = 0,142 \cdot K = 0,142 \cdot 147\,214,8 = 20\,904,5 \text{ (грн.)} \quad (6.16)$$

Затрати на поточний ремонт становлять:

$$C_{\text{пр}} = 0,18 \cdot K = 0,18 \cdot 147\,214,8 = 26\,498,66 \text{ (грн.)} \quad (6.17)$$

Потім утримання основних засобів виробництва становитимуть:

$$C_y = C_a + C_{\text{пр}}; C_y = 20\,904,5 + 26\,498,66 = 47\,403,16 \quad (6.18)$$

Затрати на енергоресурси становитимуть:

$$C_e = P_{\text{ном}} \cdot \Gamma \cdot 2,7, \quad (6.19)$$

де $P_{\text{ном}}$ – потужність ВМ, кВт, $P_{\text{пот}} = 0,37$ кВт; Γ – загальна кількість годин роботи, $\Gamma = 300 \cdot 24 = 7200$ (год) під працює 300 днів на рік.

Таким чином:

$$C_e = 0,37 \cdot 7200 \cdot 2,7 = 7\,192,8 \text{ (грн.)} \quad (6.20)$$

Затрати на заробітню плату персоналу, що пов'язаний з експлуатацією систем автоматизації (у нашій роботі 1 оператор-наладчик) становить:

$$C_3 = 1 \cdot 55 \cdot 300 \cdot 8 = 132\,000 \text{ (грн.)}, \quad (6.21)$$

де: I - кількість операторів і наладчиків, чел.; 55 грн/год - ставка оператора наладчика за годину; 300 - кількість днів роботи за рік; 8 - кількість робочих годин на добу.

Таким чином річні експлуатаційні затрати матимуть вигляд:

$$C = C_y + C_e + C_3 = 47\,403,16 + 7\,192,8 + 132\,000 = 186\,595,96 \text{ (грн.)} \quad (6.22)$$

Розраховавши річні експлуатаційні затрати і капітальні вкладення, виведемо формулу зведених затрат:

$$B_{зв} = C + E_n \cdot K = 186\,595,96 + 0,15 \cdot 147\,214,8 = 208\,678,18 \text{ (грн.)} \quad (6.23)$$

Таким чином чистий прибуток визначатиметься за формулою:

$$\Pi = \Delta C_3 + \Delta C_e, \text{ років, де:}$$

ΔC_3 - прибуток за рахунок економії заробітної платні, грн;

ΔC_e - прибуток за рахунок економії електричної енергії, грн.

$$\Delta C_3 = C_3 - (1,2 \cdot \Gamma \cdot n_{роб} \cdot 0,1) = 132\,000 - (1,2 \cdot 7200 \cdot 1 \cdot 2,7) = 108\,672 \text{ (грн.)} \quad (6.24)$$

$$\Delta C_e = C_e - (P \cdot \Gamma \cdot 0,1 \cdot \Delta \Pi) = 7\,192,8 - (0,37 \cdot 7200 \cdot 2,7 \cdot 0,3) = 5\,034,96 \quad (6.25)$$

Чистий прибуток становитиме:

$$\Pi = 108\,672 + 5\,034,96 = 113\,706,96 \text{ (грн.)} \quad (6.26)$$

Визначимо термін за який установка повністю окупиться:

$$T_{окуп} = \frac{K}{\Pi} = \frac{147\,214,8}{113\,706,96} = 1,29 \text{ року.} \quad (6.27)$$

Коефіцієнт ефективності капітальних вкладень дорівнюватиме:

$$E = 1/T_{окуп} = 0,78 \quad (6.28)$$

$$E(0,78) > E_n(0,15) \quad (6.29)$$

Таким чином, економічні показники, що ми розраховували показали, що чистий прибуток складає 108 672 грн., і термін за який установка автоматики повністю окупається за 1,3 року.

Ми бачимо, що автоматизувати ліч хлібокомбінату доцільно.

						02.06 – ДП.1667 «С» 2021.11.02 015ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			70

