

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Шосткинський інститут
Кафедра системотехніки та інформаційних технологій

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Георгій Худолей
(підпис)

_____ 20__ р.


КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня бакалавр

зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»,
освітньо-професійної програми «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»

на тему: «Система управління технологічної лінії виробництва цукрового печива»

Здобувачки групи Су-01ш-1 Іщенко Крістіни Денисівни

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.



(підпис)

Крістіна Іщенко

Керівник Викладач кафедри СІТ, к.т.н. Олександр Андрусенко _____
(підпис)

Консультант _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання Ім'я та ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Шостка – 2024

РЕФЕРАТ

Ищенко Крістіна Денисівна. Система управління технологічної лінії виробництва цукрового печива. Бакалаврська робота. Шосткинський інститут Сумського державного університету. Шостка, 2024 рік.

Бакалаврська робота містить 58 аркушів пояснювальної записки, з урахуванням 39 рисунків, 2 таблиці; 1 креслення.

В даній роботі описана розробка системи управління технологічною лінією виробництва цукрового печива. Автоматизація зменшує необхідність втручання людини в технологічний процес і робить його більш стійким до збурень, які можуть виникати під час роботи обладнання. Розробка систем керування цим технологічним процесом забезпечує контроль над великими та потужними агрегатами, зводячи зусилля людини до налаштування і регулювання автоматичних пристроїв контролю та управління.

Ключові слова: технологічні процеси, системи управління, параметри регулювання, автоматизація, параметри керування системою, мікропроцесорний контролер.

SUMMARY

Kristina Denisivna Ishchenko. Control system of the technological line of sugar cookies production. Bachelor work. Shostka Institute of Sumy State University. Shostka, 2024.

The bachelor's thesis contains 58 sheets of explanatory note, including 39 figures, 2 tables; 1 drawing.

This work describes the development of a control system for a technological line for the production of sugar biscuits. Automation reduces the need for human intervention in the technological process and makes it more resistant to disturbances that may occur during equipment operation. The development of control systems for this technological process ensures control over large and powerful units, reducing human efforts to setting up and adjusting automatic monitoring and control devices.

Keywords: technological processes, control systems, control parameters, automation, system control parameters, microprocessor controller.

ЗМІСТ

Список скорочень та умовних позначень

Вступ

1 Конструктивно-технологічний аналіз об'єкта автоматизації

2 Вибір параметрів технологічного процесу

3 Вибір каналів контролю та управління

4 Вибір засобів автоматизації

5 Розрахункова частина

Висновок

Список використаних джерел

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом
ВО – виконуючий орган
ВМ – виконуючий механізм
КВП і А – контрольно-вимірювальні прилади і автоматика
МУ – мета управління
ОУ – об'єкт управління
П-регулятор – пропорційний регулятор
ПІ-регулятор – пропорційно-інтегральний регулятор
ПІД-регулятор – пропорційно-інтегрально-диференційний регулятор
ПЗ – програмне забезпечення
ПЗО – пристрій зв'язку з об'єктом
ПК – персональний комп'ютер
ППП – пристрій плавного пуску
ПЧ – перетворювач частоти
ПУ – пристрій управління
РО – робочий орган
САПР – система автоматизованого проектування
САР – система автоматичного регулювання
САУ – система автоматичного управління
ТП – технологічний процес
ЦД – цифровий дисплей
ЦП – центральний процесор

ВСТУП

В сучасному світі стрімкий розвиток технологій та постійне підвищення вимог до якості продукції вимагають від виробників впровадження інноваційних рішень у виробничі процеси. Одна з найважливіших складових успішного функціонування підприємства харчової промисловості є автоматизація виробничих ліній. Система управління технологічної лінії виробництва цукрового печива є яскравим прикладом такої автоматизації.

Автоматизація технологічних процесів не тільки підвищує ефективність виробництва, але й значно покращує якість кінцевого продукту, забезпечує стабільність та надійність роботи обладнання, а також дозволяє мінімізувати людський фактор та відповідні помилки. Завдяки впровадженню сучасних систем управління можливо досягти високого рівня гнучкості у виробничому процесі, що дозволяє швидко адаптуватися до змін ринкових умов і вимог споживачів.

Таким чином, автоматизація є ключовим фактором у забезпеченні конкурентоспроможності підприємства, оптимізації витрат та підвищенні рентабельності виробництва. У випадку виробництва цукрового печива, автоматизована система управління дозволяє не тільки збільшити обсяги виробництва, але й забезпечити високий рівень гігієни та безпеки харчової продукції, що є надзвичайно важливим у сучасних умовах жорсткої конкуренції та високих стандартів якості.

1. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

Характеристика продукції, сировини та напівфабрикатів. Печиво -борошняні кондитерські вироби різної форми, невеликої товщини та низької вологості, отримані в результаті випікання тістових заготовок. Печиво складається здебільшого з вуглеводів, білків і жирів, які забезпечують високу харчову та енергетичну цінність цього продукту. Смакові переваги та засвоюваність печива організмом людини зумовлені тим, що готові вироби вирізняються крихкістю та розсипчастістю структури, а також намокальністю - здатністю поглинати значну кількість води.

Основною сировиною для приготування цукрового печива є пшеничне борошно вищого, першого або другого гатунків, питна вода, цукор і цукристі речовини (крохмальна патока, інвертний сироп або мед), тверді жири (маргарин, кулінарний жир, вершкове масло, кокосова або пальмова оля). До рецептури цукрового печива включають також кукурудзяний крохмаль, яйцепродукти (меланж або яєчний порошок), коров'яче молоко і молочні продукти (сухе або згущене молоко), смакові й ароматичні речовини (сіль, прянощі, ванілін або есенції). Крім того, для отримання пористої структури печива в його рецептури входять хімічні розпушувачі (харчова сода та вуглеамонійна сіль).

Основним напівфабрикатом виробництва є пластичне цукрове тісто, з якого ротаційним способом формують тістові заготовки і випікають з них готові вироби.

Провідним процесом виробництва є заміс тіста, який має забезпечити задані значення структурно-механічних властивостей цього напівфабрикату. По-перше, під час формування тісто повинно мати незначну міцність, легко рватися і розділятися на частини під час запресовування порцій в осередки формувального ротора, але в той самий час не прилипати до робочих поверхонь формувальної машини і транспортувальних пристроїв.

По-друге, тісто має бути пластичним, добре сприймати форму, яку надають осередки ротора, але при цьому мати формотримуючу здатність, щоб унеможливити деформацію відформованих заготовок під час їхнього виймання з осередків ротора, транспортування і випікання. Крім того, після випікання тістових заготовок готові вироби повинні мати необхідні споживчі властивості: крихкість, розсипчастість, намокання тощо.

Приготування тіста із заданими структурно-механічними властивостями досягається певним вибором складу і співвідношення рецептурних компонентів, а також умовами їх перемішування. Під час замісу компоненти не тільки рівномірно розподіляються в об'ємі суміші, а й взаємодіють між собою в процесі складних колоїдно-хімічних перетворень. Провідна роль в утворенні тіста належить нерозчинним білкам пшеничного борошна -гліадину і глютеніну. Під час

змішування борошна з водою ці білки поглинають вологу й утворюють найтонші нитки та плівки, з яких формується зв'язана маса, здатна розтягуватися, клейковина. У процесі змішування клейковина склеює між собою зволожені зерна крохмалю, що містяться в борошні. Таким чином, під час замісу виходить тісто - своєрідна гетерогенна колоїдна маса, утворена набряклими білками і крохмалем борошна.

Під час замісу цукрового тіста створюють умови, що обмежують набухання колоїдів борошна й утворення пружних ниток клейковини. Для цього використовується мінімальна кількість води, знижується температура і скорочується тривалість замісу тіста. Крім того, в рецептурарх цукрового печива застосовуються компоненти, що обмежують поглинання води частинками борошна. Кондитерське борошняне тісто, отримане за таких умов, має низьку механічну міцність на розрив і має значну пластичність. Таке тісто добре сприймає і зберігає форму, яку йому надають.

Рецептурні компоненти печива впливають не тільки на харчову цінність і смакові переваги виробів, а й мають технологічне призначення.

Гарне цукрове печиво виходить при використанні пшеничного борошна зі слабкою та середньою якістю клейковини. Помітне погіршення якості печива спостерігається при використанні борошна з сильною клейковиною.

Вода є розчинником і необхідним компонентом утворення колоїдної системи тіста. Найбільший ступінь набухання компонентів борошна спостерігається за використання чистої води. Зв'язане тісто можна отримати тільки за достатнього зволоження борошна, завдяки чому створюються умови для склеювання набряклих ниток клейковини із зернами зволоженого крохмалю. Недостатня кількість води під час замісу тіста призводить до утворення незв'язаної маси зволоженої сировини.

Цукор, присутній у кондитерському тісті, обмежує поглинання води і набухання білків борошна. Це робить тісто пластичним і в'язким; надлишок цукру призводить до прилипання тіста до робочих поверхонь обладнання, а заготовки під час випікання розпливаються. Вироби, приготовлені з великою кількістю цукру без жиру, мають високу твердість і схильні до розтріскування.

Жир, адсорбуючись на поверхні твердих частинок тіста, утворює плівки, що перешкоджають проникненню розчинів усередину частинок. Внаслідок цього послаблюється зв'язок між частинками, зменшується пружність клейковини і збільшується пластичність тіста, а вироби стають крихким і розсипчастими.

Крохмаль робить тісто пластичним, а вироби добре намокаємими і крихкими. На верхній поверхні заготовок під час випікання утворюються декстрини, які в зневодненому стані мають характерний блиск. Добавка крохмалю понад 13% до маси борошна надає виробам підвищеної крихкості та щільності. Печиво при зберіганні буде розтріскуватися.

Патока та інвертний сироп збільшують пластичність тіста, підвищують намокання і гігроскопічність виробів. Застосування патоки понад 2% надає тісту липкість і підвищує його в'язкість.

Меланж надає виробам пористості та сприяє фіксації структури. Лецитин, що міститься в жовтку яйця, є природним емульгатором, що забезпечує отримання стійкої емульсії з дрібними жировими кульками. При приготуванні емульсій, що не містять меланж і молоко, спеціально додають емульгатори -переважно фосфатидні концентрати, що містять лецитин.

Сіль не тільки смакова добавка, а й речовина, що підвищує розчинність сахарози, що дуже важливо при виробництві здобного печива.

Виробництво цукрового печива можна розділити на такі стадії та основні операції:

- 1) Підготовка сировини до виробництва: зберігання, змішування, просіювання сипучих або фільтрування рідких видів сировини: борошна, цукрового піску, молока, патоки тощо; подрібнення цукрового піску та транспортування цукрової пудри; приготування інвертного сиропу; подрібнення та плавлення твердих жирів; приготування розчину піросульфату натрію та ін.;
- 2) Дозування рецептурних компонентів;
- 3) Випікання та охолодження тістових заготовок;
- 4) Пакування виробів у споживчу і транспортну тару.

Початкові стадії технологічного процесу виробництва цукрового печива виконуються за допомогою комплексів обладнання для зберігання, транспортування та підготовки до виробництва борошна, крохмалю, цукру, жиру та інших видів сировини. Для зберігання сировини використовують металеві ємності та бункери. Сипучі компоненти транспортуються за допомогою навантажувачів, норій, скребкових і гвинтових конвеєрів. Рідкі компоненти і напівфабрикати перекачують насосами. Під час підготовки сировини застосовують просіювачі, змішувачі, темперувальні машини, фільтри, магнітні уловлювачі та допоміжне обладнання.

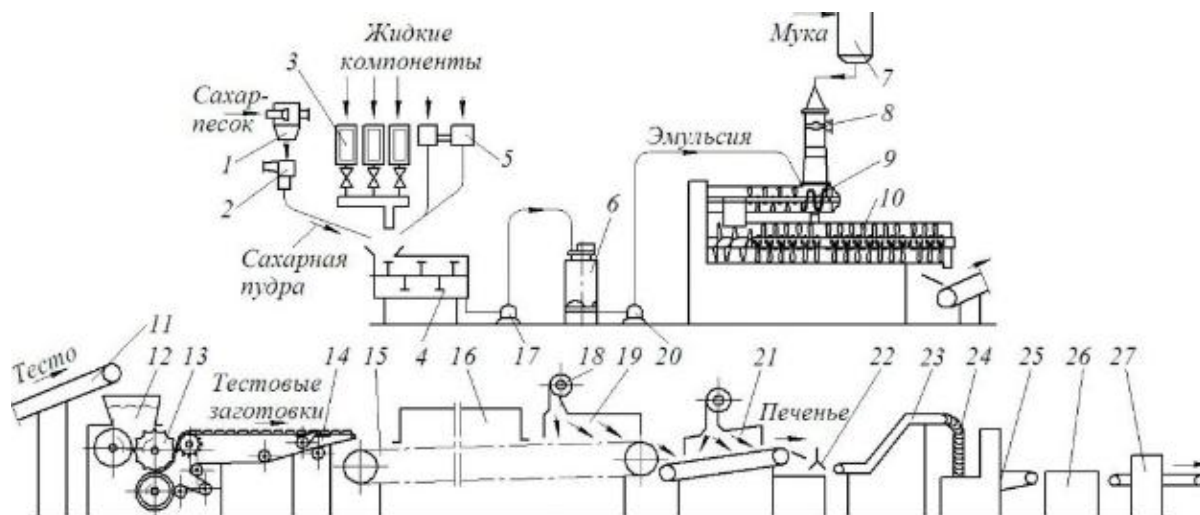
До складу комплексу обладнання для приготування емульсії входять вагові дозатори та мірники, порційний емульсатор і збірник з мішалкою, що обігривається.

Провідний комплекс лінії складається з обладнання безперервної дії: дозувальних пристроїв об'ємного типу для подачі на заміс емульсії і борошняної рецептурної суміші, двокамерної місильної машини і ротаційної формувальної машини.

Завершальні стадії технологічного процесу виконуються на комплексі обладнання, що включає кондитерську піч, охолоджувальний конвеєр, пакувальні машини і транспортувальні пристрої.

Пристрій і принцип дії лінії. Під час підготовки сировини борошно різних партій змішують у певних пропорціях, здійснюючи операції валяння, потім просівають, додають до нього крохмаль і крихту (тонко подрібнені зворотні відходи) і завантажують борошняну рецептурну суміш у видатковий бункер 7. Цукор-пісок попередньо подрібнюють у мікромлинку 1, обладнану приймальним бункером цукрової пудри. Неподрібнені кристали цукру не можуть розчинитися в процесі приготування цукрового тіста через обмежену кількість води, але високий вміст цукру, передбачений рецептурою, а також через малу тривалість та низьку температуру під час замісу. Перед подачею на виробництво всі сипучі компоненти проходять через магнітні вловлювачі.

Тверді жири попередньо розтоплюють за температури 50...60°C, сухе молоко, харчову соду і вуглеамонійну сіль окремо розчиняють у воді за середніх значень температури відповідно 35, 20 і 25°C.



Інвертн
ий
сироп
готують
із
цукру-
піску.

Рисунок 1 - Технологічна схема виробництва цукрового печива

Для приготування емульсії цукрову пудру дозують бункерними терезами 2; воду, розплавлені жири, молоко і патоку (або інвертний сироп) подають через об'ємні металеві мірники 3, а решту рецептурних компонентів попередньо зважують на поштових або циферблатних вагах 5 і подають на змішування вручну.

Емульсію готують в емульсаторі періодичної дії 4. Послідовність завантаження компонентів і режим їх перемішування повинні забезпечити оптимальні умови для розчинення цукру й отримання стійкої (нерозшаровуваної) емульсії жирів у водному розчині інших компонентів. В емульсаторі 4 при обертанні місильного вала з частотою 80хв^{-1} завантажують воду, молоко, патоку і меланж, потім подають цукрову пудру і сіль, продовжуючи перемішувати протягом 5...10 хв. Після цього вводять жир із температурою $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ і суміш емульгатора з жиром. Протягом 7...10 хв суміш перемішують до отримання однорідної консистенції і дрібних жирових кульок. Чим вища дисперсність жиру, тим стійкіша емульсія. Наприкінці перемішування завантажують розпушувачі та ароматичні речовини. Готову емульсію перекачують насосом 17 у проміжний бак 6 і зберігають при температурі не вище $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ і постійному перемішуванні.

Приготування цукрового тексту здійснюють у місильній машині безперервної дії шляхом змішування емульсії з борошняною рецептурною сумішшю. На вхід камери попереднього змішування 9 місильної машини безперервно подають об'ємним дозатором 8 з бункера 7 борошняну суміш, а насосом-дозатором 20 з бака 6 - емульсію. У камері попереднього змішування 9 борошно й емульсія перемішуються протягом 30с за частоти обертання місильного вала 80хв^{-1} , а потім отримана суміш надходить на вхід основної місильної камери 10. У ній протягом 5...10хв за частоти обертання другого місильного вала $8...12\text{ хв}^{-1}$ відбувається остаточне замішування тіста. З місильної машини безперервно виходить готове тісто вологістю від 13, 5 до 17,5%.

Конкретні значення зазначених параметрів залежать від рецептури печива. Необхідно прагнути до мінімальної тривалості замісу, проте цілком достатньої для утворення добре перемішаного пластичного тіста.

Цукрове тісто конвеєром 11 подається в завантажувальну воронку 12 формувальної машини. Основним робочим органом цієї машини є ротор 13, на поверхні якого є заглиблення (комірки), виконані за формою печива. На дні комірки часто роблять рельєфний малюнок або напис, які переносяться на поверхню відформованих виробів. Формувальну машину комплектують кількома змінними роторами для виготовлення печива квадратної, прямокутної, круглої або складної фігурної форми.

Під час роботи формувальної машини тісто знизу завантажувальної воронки 12 потрапляє в зазор між формувальним ротором 13 і пов'язаним із ним рифленим валком, захоплюється ними і запресовується в осередки ротора. Порція тіста, запресована в комірку, за розмірами і формою відповідає готовому виробу і в ході подальшого обертання ротора 13 витягується з комірки за допомогою стрічкового конвеєра 14.

Під час контакту поверхні заготовки, запресованої в осередок ротора 13, зі стрічкою конвеєра 14, сила адгезії тіста до стрічки більша, ніж до внутрішніх поверхонь осередку. Тому під час відходу стрічки від поверхні ротора тістові заготовки відлипають від комірок ротора та залишаються на стрічці конвеєра 14. З останнього заготовки перевантажуються на пічний конвеєр 15, виготовлений із металевої сітки. При вилученні з ротора і розміщенні на конвеєрах 14 і 15 зберігається взаємне розташування і рядність тістових заготовок.

Для випікання тістові заготовки подаються конвеєром 15 у пекарню камеру 16 з газовим, електричним або інфрачервоним обігрівом. Процес випікання заготовок здебільшого зводиться до прогрівання тіста та видалення з нього надлишку вологи, унаслідок чого відбуваються складні фізико-хімічні та колоїдні перетворення, що зумовлюють утворення виробів із властивим їм смаком і структурою. Вологість тістових заготовок зменшується за рахунок випаровування вологи з поверхневих шарів. Зневоднення тіста може відбуватися до певної межі, тому що за значного зниження вологості температура поверхневих шарів настільки швидко і значно підвищується, що призводить до обвуглювання поверхні печива.

Випікання печива на відміну від випікання хліба є комбінованим процесом випікання - сушіння. Зневоднення тістових заготовок проходить нерівномірно, і загальну тривалість випікання кожної заготовки можна розділити на три періоди в пропорції 1:2:1. Період I характеризується наростаючою швидкістю видалення вологи, період II - постійною швидкістю вологовіддачі. Протягом обох цих періодів здійснюється процес випікання заготовок, за якого відбувається прогрівання тіста з випаровуванням вологи з поверхневих шарів, але відсутня міграція вологи від внутрішніх шарів до поверхні. У результаті цього кількість вологи в центральних шарах не тільки зберігається постійною, але навіть збільшується за рахунок міграції вологи від периферійних до центральних шарів. Потім настає період III, за якого швидкість вологи віддачі спочатку знижується, а потім стабілізується на нижчому рівні. Протягом цього періоду здійснюється сушіння заготовок шляхом міграції вологи від внутрішніх шарів до поверхневих.

Відповідно до періодів випікання печива пекарня камера по довжині розділена на три зони з різними режимами теплової обробки тістових заготовок: 130...200°C, 200...350°C і 130...250°C.

Залежно від рецептури і розмірів печива, а також від продуктивності лінії встановлюють конкретні оптимальні значення температури в кожній із трьох зон.

Спочатку процес випікання відбувається за високої відносної вологості (60...70%) завдяки зволоженню першої зони пекарної камери паром, яка конденсується на відносно холодній поверхні тістових заготовок. При цьому виділяється прихована теплота конденсації, що дорівнює теплоті пароутворення. За рахунок цієї теплоти прискорюється підігрів заготовки. Крім того, зволоження поверхні заготовок запобігає передчасному утворенню кірки, яка ускладнила б видалення вологи з внутрішніх шарів заготовки.

У першій зоні температура поверхні заготовки досягає 100°C, а центрального шару - тільки 70...80°C. Від більш нагрітої зовнішньої поверхні частина вологи випаровується, а інша частина спрямовується до внутрішнього, менш нагрітого шару.

У другій зоні під дією високої температури відбуваються складні колоїдні та фізико-хімічні зміни в тістовій заготівлі. За температури понад 70°C білкові речовини тіста денатурують і коагулюють, вивільняючи воду, поглинуту з розчином під час набухання. Вода, що виділилася, при високій температурі призводить до часткової клейстеризації крохмалю.

За температури 60°C закінчується розкладання вуглеамонійної солі, що супроводжується виділенням аміаку і діоксиду вуглецю, а за 80...90°C - харчової соди з виділенням діоксиду вуглецю. Зі збільшенням температури газ, що утворюється, а також пара вологи розширюються, формують пористу структуру, збільшують об'єм тістових заготовок.

Одночасно розкладання хімічних розпушувачів посилює процес коагуляції білків і клейстеризації крохмалю, що призводить до утворення губчастої структури, на розвиненій поверхні якої адсорбується рідкий жир.

У третій зоні температура зовнішньої поверхні заготовок досягає 160...175°C, а внутрішніх шарів - тільки 100...105°C. За такого перепаду температур відбувається рівномірне видалення вологи. Вона переміщується з постійною швидкістю під дією градієнту вологості, уповільненого градієнтом температури. Цей режим випічки часто називають випічкою-сушкою.

До кінця третьої зони температура поверхні заготовки знижується до 145°C. Поступово зменшується перепад температури між зовнішнім і внутрішнім шарами заготовки. Одночасно знижується швидкість зневоднення заготовки і вирівнюється вологість по її товщині.

У процесі прогрівання тістові заготовки дуже швидко, приблизно через одну хвилину, починають збільшуватися в об'ємі і незадовго до закінчення випічки настає стабілізація структури та форми виробів. Однак у момент виходу з пекарної камери 16 вироби мають високу

температуру: на поверхні 118...120°C, усередині не менше 100°C. За таких значень температури виробу мають малу міцність, їх важко зняти з пічного конвеєра 15 без порушення їхньої форми та нижньої поверхні. Тому частина конвеєра 15 виступає за межі пекарної камери 16 і розміщується в камері попереднього охолодження 19. У ній вироби близько однієї хвилини обдуваються повітрям із приміщення цеху за допомогою вентилятора 18. За цей час температура виробів знижується до 50...70°C. Вони набувають міцності, достатньої для перевантаження на конвеєр 21, на якому вони охолоджуються до температури 35...45°C. Потім печиво повертають укладальником 22 (вал із зубцями) в положення «на ребро» і остаточно охолоджують на конвеєрі 23.

Тривалість охолодження виробів залежить від температури та швидкості охолоджувального повітря і зазвичай становить 5...10 хв. За температури охолоджувального повітря, нижчої за температуру приміщення, можуть виникати тріщини у виробках. З підвищенням швидкості охолоджувального повітря швидше йде охолодження печива і припиняється процес видалення вологи.

Залежно від рецептури вологість готового печива має бути від 3,5 до 6,0%. Недовипечені вироби можуть розтріскуватися, оскільки підвищена кількість нерівномірно розподіленої вологи у виробках спричиняє деформувальну напругу. Ростріскування зазвичай виявляється в процесі зберігання упакованих виробів.

Для пакування печиво надходить у живильник 24 загортувальної машини 25. У цій машині з орієнтованих виробів формують пачки, які загортають у два шари паперу: вологонепроникну підвертку і барвисту етикетку. Останнім часом широко застосовують фасувальні машини для пакування печива в пакети з комбінованої перлізової плівки (флоу пак). На столі 26 пачки або пакети вручну укладають у картонні ящики, які потім обклеюють і маркують у машині 27. Запаковану продукцію укладають на конвеєр або піддони для відправки на склад.

2. ВИБІР ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Було уважно розглянуто технологічну лінію виробництва цукрового печива та визначено параметри які є найбільш впливовими.

Для структурування інформації ці параметри показано у вигляді таблиці:
Таблиця 1 – Перелік параметрів технологічного процесу

Параметр	Позиція технологічної схеми	Функція	Відхилення	Значення	
				Min	Max
Вага	Бункерні ваги	Контроль, регулювання	5%	200 кг	250 кг
Рівень	Мірник	Контроль, регулювання	10%	0.5 м	1.5 м
Рівень	Мірник	Контроль, регулювання	10%	0.5 м	1.5 м
Рівень	Мірник	Контроль, регулювання	10%	0.5 м	1.5 м
Вага	Ваги	Контроль, регулювання	5%	200кг	250кг
Вага	Ваги	Контроль, регулювання	5%	200кг	250кг
Температура	Проміжний бак	Контроль	5%	20 ⁰ С	30 ⁰ С
Температура	Камера для випікання	Контроль	5%	130 ⁰ С	200 ⁰ С
Вологість	Камера для випікання	Контроль	10%	60%	70%
Температура	Камера попереднього охолодження	Контроль	5%	50 ⁰ С	70 ⁰ С
Температура	Камера	Контроль	5%	35 ⁰ С	45 ⁰ С

Температура	Конвеєр	Контроль	5%	20 ⁰ С	25 ⁰ С
-------------	---------	----------	----	-------------------	-------------------

3. ВИБІР КАНАЛІВ КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ

Як можна побачити з попередніх двох розділів, потрібно обрати регуляторні, адміністративні і управлінські канали.

3.1 Канали контролю і управління.

3.1.1 Вага цукрової пудри в бункерних вагах, що постуває в емульсатор періодичної дії

З метою контролювання та дозування правильної ваги по рецептурі, необхідно регулювати вагу. Для цього на бункерні ваги встановлено тензодатчик. А для регулювання ваги встановлено регулюючий клапан.

3.1.2 Рівень води у мірнику

Для забезпечення правильного рівня води у ємності необхідно контролювати і регулювати цей параметр. Було додано рівнемір, який контролює рівень води у мірнику, регулювання здійснюється за допомогою регулюючого клапану.

3.1.3 Рівень розплавлених жирів у мірнику

Для контролювання і регулювання рівню розплавлених жирів у мірнику, додано рівнемір. А на виході мірника встановлено регулюючий клапан, щоб регулювати кількість розплавлених жирів відповідно до рецептури.

3.1.4 Рівень інвертного сиропу у мірнику

З метою підтримання вірного рівня інвертного сиропу у мірнику, важливо контролювати та регулювати цей параметр. Контроль здійснюється за допомогою рівнеміра, а регулювання за допомогою регулюючого клапану

3.1.5 Вага меланджу у вагах

З метою контролю і регулювання ваги меланджу відповідно до технологічного завдання, було додано на ваги тензодатчик. Регулювання здійснюється регулюючим клапаном.

3.1.6 Вага молока у вагах

Для підтримання оптимальної ваги молока, необхідно здійснювати контроль і регулювання. Для досягнення цього додано тензодатчик та регулюючий клапан.

3.1.7 Температура у проміжному баку

З метою підтримання температури емульсії у проміжному баку було додано датчик температури, який підтримує значення параметру у заданих рамках технологічного завдання.

3.1.8 Температура у камері для випікання

З метою забезпечення нормального процесу виробництва цукрового печива потрібно підтримувати температуру у камері для випікання. Це реалізовано за допомогою додавання датчику температури.

3.1.9 Вологість у камері для випікання

Для забезпечення оптимальної вологості при виробництві цукрового печива, було додано датчик вологості, який здійснює контроль цього параметру.

3.1.10 Температура у камері попереднього охолодження

З метою оптимального охолодження готового виробу його поміщають у камеру попереднього охолодження. Для підтримки правильної температури здійснюється контроль за допомогою датчика температури.

3.1.11 Температура у камері для охолодження

Для забезпечення правильної температури у камері для охолодження було додано датчик температури, який буде забезпечувати контроль параметру.

3.1.12 Температура готового виробу на конвеєрі

З метою забезпечення правильного протікання процесу виготовлення цукрового печива, було додано датчик температури, для контролювання параметру.

3.2 Контур управління

Закінчивши з аналізом технологічного процесу, таких як фізичні процеси та етапи, необхідно розробити контури регулювання, управління та контролю.

3.2.1 Контур регулювання ваги

контролю і

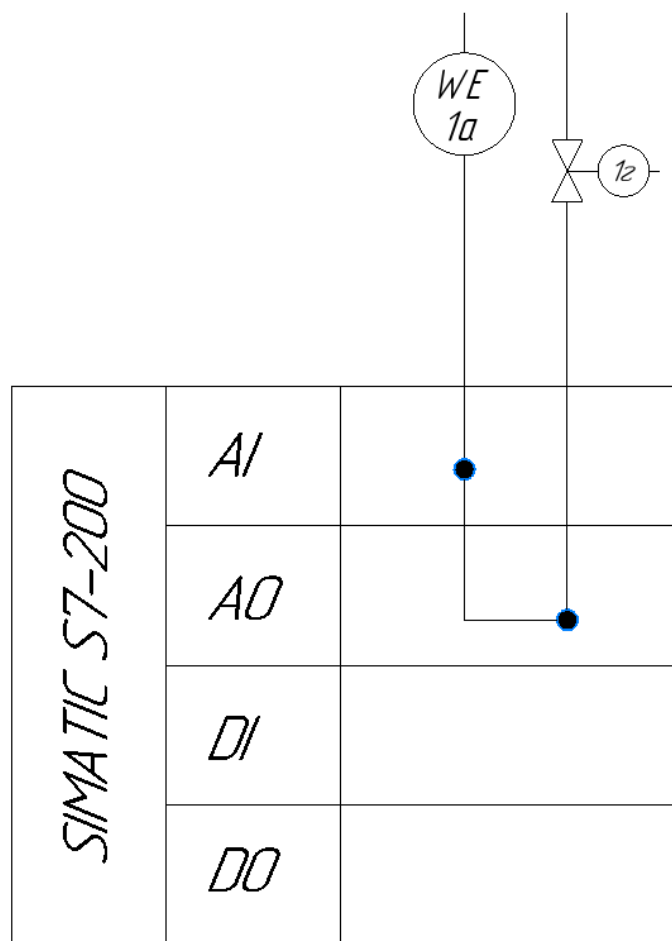


Рисунок 2 –Контур контролю і регулювання ваги

В даному контурі використовується тензодатчик CAS MNT для контролю ваги рідких та сипучих речовин відповідно до рецептури. Цей тензодатчик може проводити вимірювання від 20 до 1000кг.

**3.2.2 Контур
регулювання рівня**

контролю і

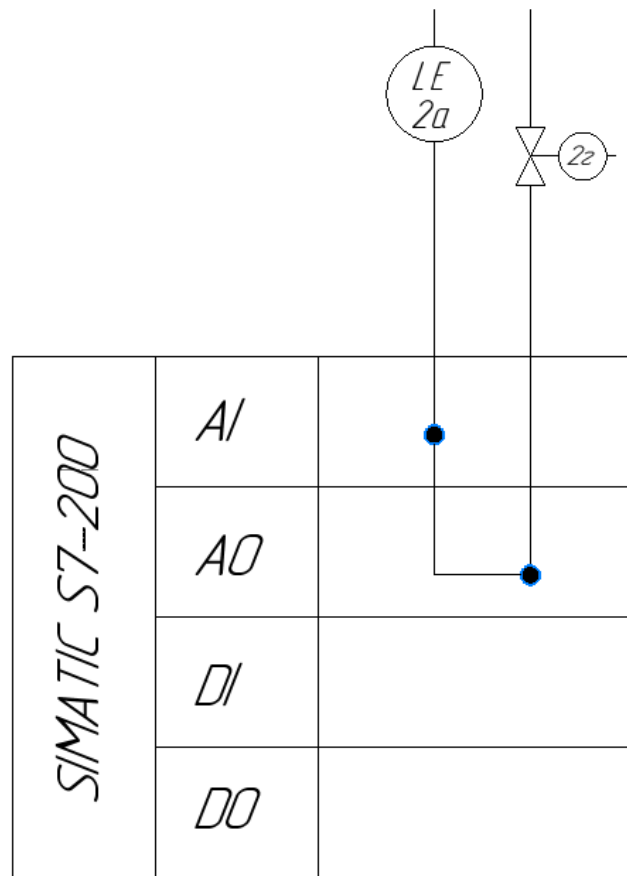


Рисунок 3 –Контур контролю і регулювання рівня

В даному контурі використовується рівнемір Pointek CLS 100 компактні, 2-х дротові ємнісні сигналізатори для реєстрації рівня в установках в обмежених просторах, визначення розділових шарів, вимірювання рівня сухих речовин, рідин. Цей рівнемір має погрузну частину здатну виміряти 2м.

3.2.3 Контур контролю температури

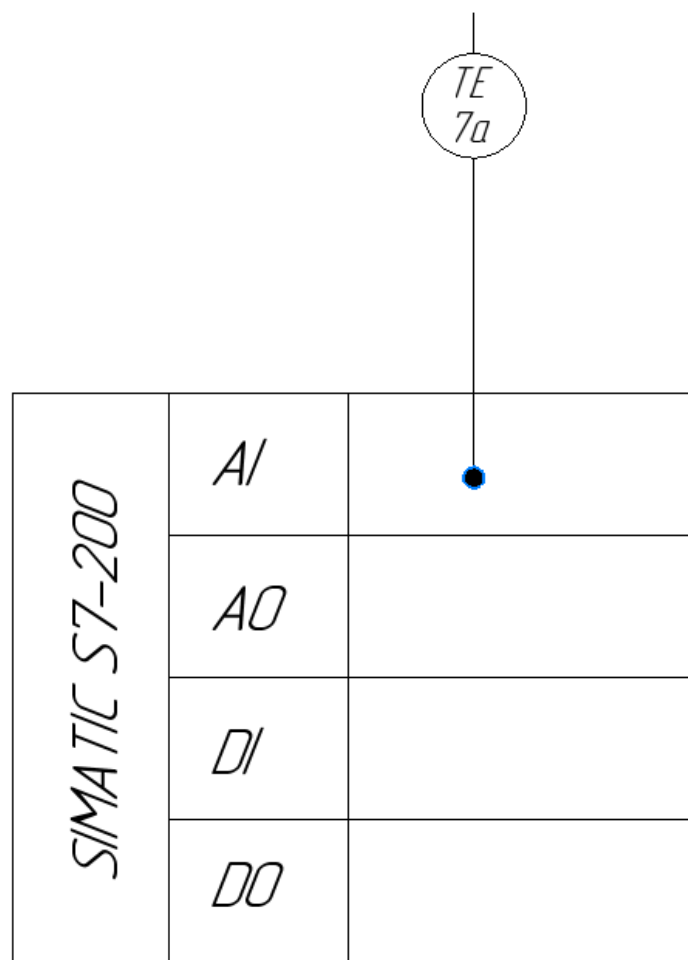


Рисунок 4 -Контур контролю температури

В даному контурі використовується датчик температури РТ-100, висока електрична міцність, що відповідає вимогам подвійної ізоляції. Діапазон вимірювання від -30 до 200⁰С.

3.2.4 Контур

контролю вологості

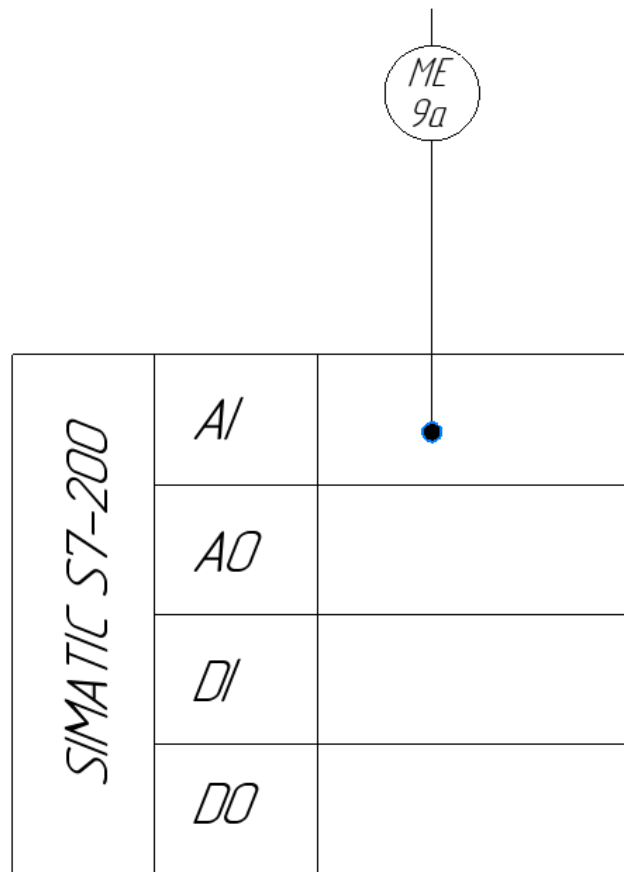


Рисунок 5 -Контур контролю вологості

В даному контурі використовується датчик вологості HM2A, у якому діапазон вологості від 0 до 100%, що забезпечить повний контроль даного параметру.

3.2.5 Контур управління насосами

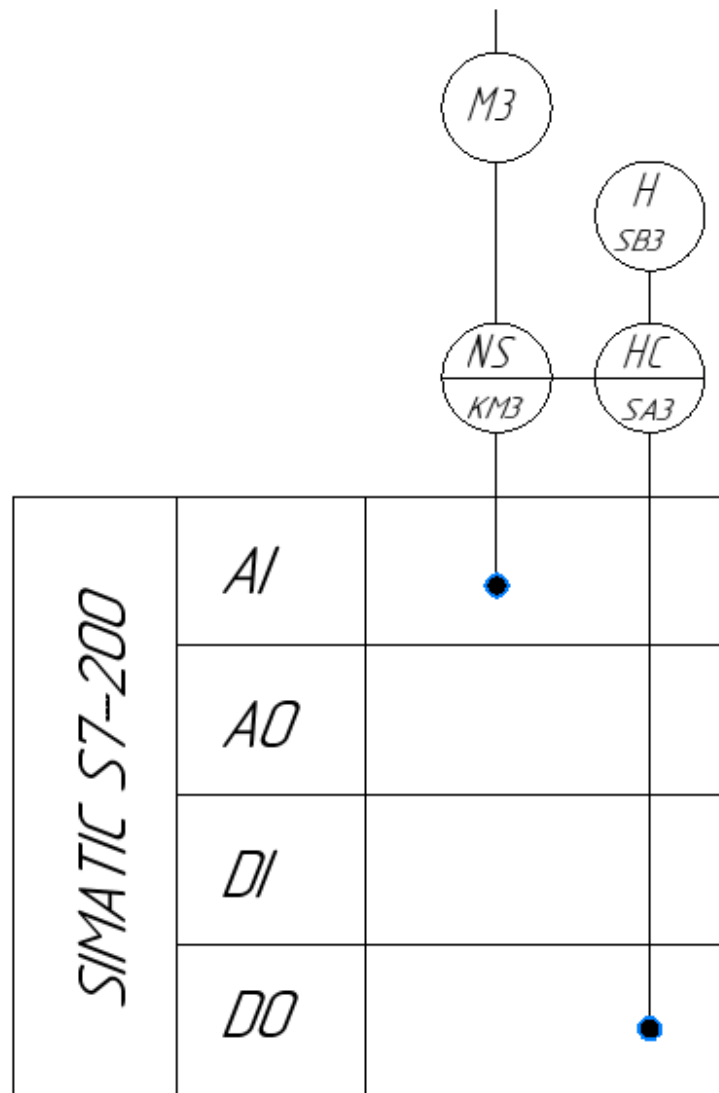


Рисунок 6 -Контур управління насосами

В даному контурі використовуються універсальні перемикачі, кнопки і магнітні пускачі, для керування насосами при виробництві цукрового печива. Кількість засобів для комутації залежить від кількості використаних насосів у технологічній схемі.

Беручи за основу контури розглянуті вище та технологічну схему виробництва, можна розробити функціональну схему автоматизації системи управління технологічної лінії виробництва цукрового печива.

4. ВИБІР СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

При виробленні цукрового печива найбільш оптимальним рішенням буде централізована система управління і контролю системи. Для цього було обрано технічні засоби автоматизації, прилади для контролю, реєстрації та індикації, які є сучасними і затребуваними.

Розрахунки ґрунтуються на мінімальній кількості засобів автоматизації, які можуть забезпечити безпечний та оптимальний режим роботи обладнання. Оскільки це рішення допоможе зменшити складність та ефективно провести роботу процесу виробництва цукрового печива.

4.1 Вибір датчиків

Було використано датчики контролю, керування, регулювання, які вимірюють вагу, рівень, температуру і вологість, для впровадження контурів.

4.1.1 Вибір датчиків ваги

Основні фактори, які варто враховувати при виборі датчика ваги, включають точність, діапазон вимірювань, умови експлуатації, тип вихідного сигналу та сумісність із системами, в які він буде інтегрований. Основні типи датчиків включають тензометричні, п'єзоелектричні, ємнісні та індуктивні датчики.

Тензодатчик CAS MNT 20 - 1000 кг є високоякісним датчиком ваги, призначеним для точних вимірювань. Модель MNT має широкий діапазон вимірювань від 20кг до 1000кг, що робить її універсальною для різних застосувань.

Переваги CAS MNT для системи управління виробництва цукрового печива:

- Універсальність - підходить для широкого спектра застосувань, включаючи промислові ваги, дозувальні системи, контрольні вагові системи та інші.
- Надійність - висока якість виготовлення гарантує тривалий термін служби та стабільність вимірювань.

- Легкість установки - проста інтеграція у вже існуючі системи.
- Захист від перевантаження - вбудований захист від перевантаження забезпечує додаткову безпеку та довговічність датчика.

CAS MNT 20-1000кг є надійним вибором для точного зважування в різних умовах. Його висока точність, надійність та захист від зовнішніх впливів роблять його відмінним рішенням для багатьох застосувань.



Рисунок 7 –Тензодатчик CAS MNT

Тензодатчик Keli DEF 0.1 – 200кг аналоговий прилад S-подібного типу. Цей тип застосовується для виготовлення підвісних бункерних ваг, кранових ваг, тестових систем, розривних машин. Завдяки високим метричним характеристикам цей тип датчиків знаходить широке застосування в багатьох промислових системах ваговиділення. Корпус тензодатчика виготовлений зі сталі з нікелевим покриттям, клас захисту тензодатчика IP66/67. До комплектації входить екранований морозо-жаростійкий кабел із домішками, не придатними для їжі гризунам.

Високий температурний діапазон тензодатчика -30 °С використання у важких

температурний діапазон +70°С передбачений для кліматичних умовах.

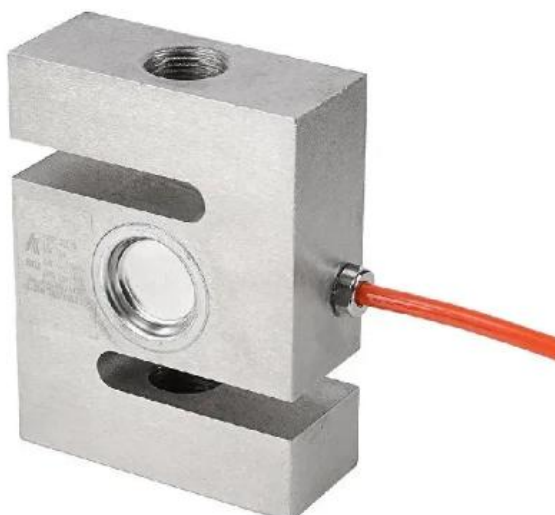


Рисунок 8 -Тензодатчик Keli DEF

З урахуванням всіх переваг описаних вище Тензодатчик CAS MNT було обрано для системи виробництва цукрового печива, оскільки його діапазон ваги краще.

4.1.2 Вибір датчиків рівня

Вибір датчиків рівня залежить від вимог вашого застосування, включаючи тип рідини або матеріалу, умови експлуатації, необхідну точність та інші фактори. Буває багато типів датчиків рівня:

- Ультразвукові датчики. Переваги - безконтактні, підходять для рідин і твердих матеріалів, висока точність. Недоліки - можуть бути впливи від турбулентності та пінних поверхонь.
- Ємнісні датчики. Переваги: високочутливі, підходять для рідин і сипучих матеріалів. Недоліки: можуть бути чутливими до змін у властивостях матеріалу.
- Радарні датчики. Переваги: висока точність, не впливають зміни температури та тиску. Недоліки: висока вартість.
- Поплавкові датчики. Переваги: прості у використанні, надійні, економічні. Недоліки: контактують з рідиною, що може бути проблематичним у агресивних середовищах.
- Гідростатичні датчики. Переваги: підходять для занурених вимірювань, висока точність. Недоліки: можуть бути чутливі до забруднень та відкладень.

Датчик рівня SIEMENS POINTEK CLS 100 є високоякісним інструментом для контролю рівня рідин і сипучих матеріалів. Він працює на основі ємнісного принципу і призначений для використання в різних застосуваннях. Глибина занурення 2м і універсальність у різних додатках роблять його хорошою заміною для традиційних ємнісних сенсорів. Завдяки своїй прогресивній технології (вимірювання через головку зондів) він подає точні повторювані спрацьовування. Стійкі до хімічного впливу зонди з PPS (поліфеніленсульфід) (як опція PVDF

[полівініліденфторид]) працюють за температур від -40 до +110°C. Повністю лита конструкція гарантує надійну роботу під час вібрації, наприклад, у резервуарах із мішалками.



Рисунок 9 – Датчик рівня SIEMENS POINTEK CLS 100

Сенсор (датчик) рівня рідини Elko Ep SHR-1-N - електрод діаметром 4мм розміщений у пластиковому корпусі, який забезпечений 12мм різьбленням з гайкою; максимальний перетин дроту, що підключається, - 2.5 mm². Установлення: після під'єднання кабелю до зонда, натягнемо ізолювальну трубку з термоусадочного пластику через кабель на зонд, нагріємо її, зонд обтиснеться трубкою, і місце з'єднання зонда з кабелем герметично закритється. Глибина занурення становить 1м.



Рисунок 10 -Elko Ep SHR-1-N

Датчик SIEMENS POINTEK CLS100 є надійним і точним засобом вимірювання рівня рідини або сипучих матеріалів у промислових умовах, і використовується для контролю процесів та управління виробництвом.

4.1.3 Вибір датчику температури

При виборі датчиків температури для цукрового печива важливо враховувати кілька ключових аспектів, таких як точність вимірювань, стійкість до впливу вологи та пилу, швидкість реакції на зміни температури, а також можливість інтеграції з системами управління виробництвом.

У цьому контексті розглядаються різні технології датчиків, такі як термопари, терморезистори, інфрачервоні термометри та інші. Правильно обрані датчики температури допоможуть забезпечити стабільність та якість продукції цукрового печива, а також підвищити ефективність виробничих процесів.

Датчик температури PT100 - це терморезисторний датчик, який широко використовується для вимірювання температури. PT100 базується на зміні опору металевого провідника (зазвичай платини) зі зміною температури. Чим вища температура, тим вищий опір. PT100 може працювати у широкому діапазоні температур та умов середовища, включаючи агресивні середовища.



Рисунок 11 –Датчик температури РТ100

Термодатчики виготовлені з термістора NTC, поміщеного в металеву гільзу і залитого теплопровідною шпаклівкою (TZ) або в ПВХ корпусі (ТС,ТСЗ)

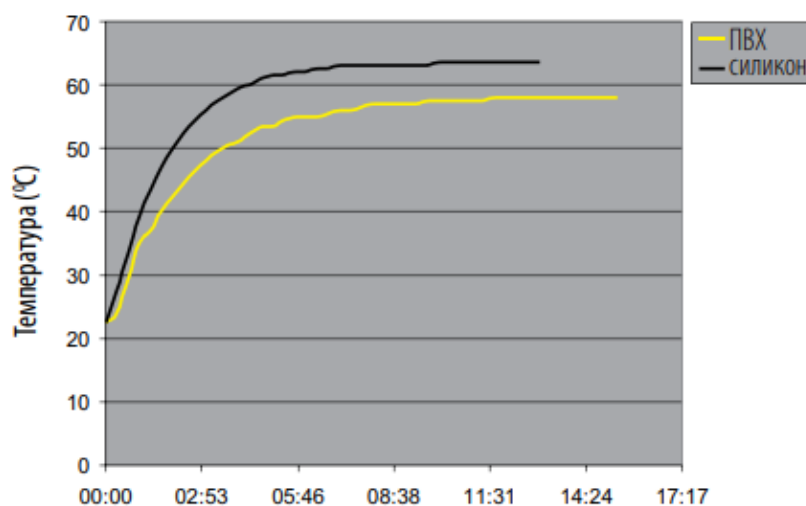


Рисунок 12 –Графік нагрівання сенсора NTC повітрям

РТ 100 широко використовується у виробництві цукрового печива для контролю температури під час процесів змішування, випікання та охолодження. Його висока точність та надійність роблять його важливим компонентом у забезпеченні якості та стабільності виробництва.

4.1.4 Вибір датчика вологості

При виборі датчика вологості для виробництва цукрового печива важливо враховувати такі аспекти, як точність вимірювань, стійкість до впливу середовища, можливість калібрування. Датчик повинен бути надійним, точним і відповідати вимогам безпеки та стандартам харчової промисловості. Існують різні технології датчиків вологості, такі як термопари, резистивні датчики, ємнісні датчики та оптичні датчики.

Датчик вологості НМ2А - у приладі використовується ємнісний датчик вологості, принцип дії якого заснований на зміні ємності конденсатора, заповненого полімерним діелектриком, залежно від вологості повітря. Електронна схема приладу видає стандартний уніфікований сигнал 0-10В, лінійно пропорційний вологості повітря. У НМ2А вимірювання температури засноване на залежності електричного опору чутливого елемента від температури.



Рисунок 13 -Датчик вологості HM2A

Вибір датчика вологості HM2A для виробництва цукрового печива є важливим кроком у забезпеченні високої якості продукції та оптимізації виробничих процесів. Завдяки своїм характеристикам та перевагам HM2A допомагає виробникам підтримувати необхідний рівень вологості, що є ключовим фактором у виробництві високоякісного цукрового печива.

4.2 Вибір контролера

У сучасних виробничих умовах автоматизація відіграє ключову роль у досягненні високої продуктивності та стабільної якості продукції. Контролери використовуються для моніторингу та управління різними процесами, такими як змішування інгредієнтів, випікання, охолодження та упаковка цукрового печива. Вибір відповідного контролера залежить від кількох ключових факторів, включаючи специфічні вимоги виробництва, інтеграційні можливості та надійність. Крім того, важливо враховувати кількість і тип входів/виходів, які необхідні для підключення сенсорів і виконавчих механізмів.

Необхідно також враховувати сумісність контролера з існуючим обладнанням та протоколами зв'язку, які використовуються в системі. Важливим аспектом є зручність програмування та наявність інструментів для налагодження, оскільки це може суттєво вплинути на швидкість і ефективність розробки системи.

Фінансові обмеження також відіграють значну роль - потрібно оцінити не лише початкову вартість контролера, але й витрати на його обслуговування та оновлення протягом всього періоду експлуатації.

Надійність контролера та його здатність працювати в умовах навколишнього середовища, таких як температура, вологість та наявність пилу, є критично важливими для забезпечення стабільної роботи системи.

Нарешті, слід звернути увагу на наявність технічної підтримки та документації, які можуть бути вирішальними у процесі встановлення та експлуатації контролера. Правильний вибір контролера забезпечить ефективну, надійну та довготривалу роботу системи автоматизації.

4.2.1 Контролер SIMATIC S7-200

Мікроконтролери SIMATIC S7- 200 призначені для розв'язання завдань керування та регулювання в невеликих системах автоматизації. При цьому SIMATIC S7-200 дають змогу створювати як автономні системи керування, так і системи керування, що працюють у загальній інформаційній мережі. Область застосування контролерів SIMATIC S7-200 винятково широка і простягається від найпростіших завдань автоматизації, для вирішення яких у минулому використовували прості реле і контактори, до завдань комплексної автоматизації. SIMATIC S7-200 дедалі інтенсивніше використовують при створенні таких систем керування, для яких у минулому з міркувань економії необхідно було розробляти спеціальні електронні модулі.

4.2.2 Межі застосувань SIMATIC S7-200

Програмовані контролери SIMATIC S7-200 призначені для побудови систем автоматичного керування і регулювання як окремих машин, так і окремих частин виробничого процесу. На їхній основі можна створювати ефективні керувальні пристрої, що вирізняються відносно невисокою вартістю.

SIMATIC S7 -200 дають змогу вирішувати широкий спектр завдань керування. Від заміни простих релейно-контактних схем до побудови автономних систем керування або створення інтелектуальних пристроїв систем розподіленого введення-виведення.

Програмовані контролери S7-200 знаходять застосування там, де основною вимогою до системи керування є її низька вартість. Вони знаходять застосування для керування:

- пресами;
- змішувачами пластифікатора і цементу;
- насосними та вентиляторами;

- деревообробним обладнанням;
- воротами і дверима;
- гідравлічними підйомниками;
- конвеєрами;
- обладнанням харчової промисловості;
- лабораторним обладнанням;
- обміном даними через модем;
- електротехнічним обладнанням та апаратурою.

Основні характеристики S7-200:

- Простота освоєння, що підкріплюється наявністю спеціальних стартових пакетів і технічної документації.
- Простота використання - інтуїтивно зрозумілий потужний набір інструкцій, дружнє програмне забезпечення.
- Робота в реальному масштабі часу - обробка переривань, швидкісні лічильники, ПІД-регулювання, імпульсні виходи.
- Потужні комунікаційні можливості - робота в мережах Industrial Ethernet, PROFIBUS-DP і AS-Interface, зв'язок через PPI і MPI, модемний зв'язок, використання вільно програмованих протоколів. Підтримка ІТ-технологій.

4.2.3 Конструкція SIMATIC S7-200

Механічні характеристики:

- Компактний пластиковий корпус.
- Просте під'єднання зовнішніх ланцюгів через контакти з гвинтовими затискачами. Захист усіх струмоведучих частин пластиковими кришками, що відкриваються.
- Наявність знімних термінальних блоків, що дають змогу робити заміну модулів без демонтажу їхніх зовнішніх ланцюгів.
- Монтаж на стандартну 35мм профільну шину DIN або на плоскі поверхні з кріпленням гвинтами.

- З'єднання модулів за допомогою плоских кабелів, вмонтованих у кожен модуль вводу-виводу або комунікаційний модуль.

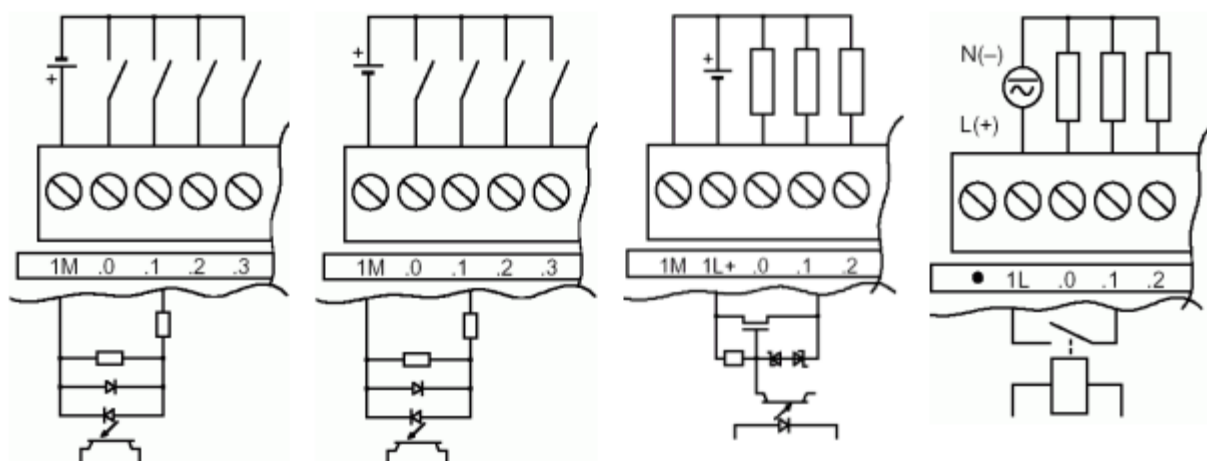
Усі центральні процесори забезпечені вбудованим блоком живлення напругою 24В для живлення вхідних ланцюгів контролерів. Залежно від модифікації центрального процесора вихідний струм блоку живлення може становити 180, 280 або 400мА. Якщо потужності цих блоків живлення недостатньо, то спільно з контролерами S7-200 можуть бути використані зовнішні джерела живлення сімейства SITOP power.

Усі центральні процесори, за винятком CPU 221, дають змогу здійснювати під'єднання модулів введення-виведення. CPU 222 дає змогу під'єднувати до 2, CPU 224 і CPU 226 - до 7 модулів введення-виведення. За необхідності модулі введення-виведення можуть розташовуватися у два ряди. Зв'язок між рядами виконується інтерфейсним кабелем 6ES7290-6AA20-0XA0 завдовжки 0.8м.

Допускається горизонтальне і вертикальне встановлення контролерів. В останньому випадку діапазон робочих температур має бути знижений до 45°C.

У вхідних каскадах дискретних входів центральних процесорів і модулів введення дискретних сигналів застосовують транзисторні оптрони із зустрічно-паралельним увімкненням світлодіодів. Це забезпечує гальванічний поділ зовнішніх і внутрішніх ланцюгів модуля, а також дає змогу використовувати для живлення групи входів напругу будь-якої полярності.

У вихідних каскадах дискретних виходів гальванічний поділ зовнішніх і внутрішніх кіл



забезпечується оптрон або електричним реле.

Рисунок

к 14 -Вхідні та вихідні каскади дискретних входів і виходів

4.2.4 Спектр моделей SIMATIC S7-200

CPU 221 - малогабаритний центральний процесор з досить високою потужністю. Вбудовані дискретні входи за вибором можуть працювати як швидкі 32-розрядні лічильники (чотири лічильники), лінії переривання (чотири лінії), або як звичайні дискретні входи. CPU 221 не має можливості розширення.

CPU222 - модель, яка завдяки великому об'єму пам'яті та численним інтегрованим спеціальним функціям дає змогу з успіхом розв'язувати й доволі складні задачі автоматизації. CPU 222 має можливість нарощування через шину розширення (до 2 зовнішніх модулів).

CPU 224 / 226 - ці моделі мають найкращі характеристики в сімействі під час керування процесами в реальному масштабі часу. бшвидких лічильників. CPU 224 / 226 мають можливість нарощування через шину розширення (до 7 зовнішніх модулів).

CPU 224 XP - найостанніша модель із сімейства S7-200. Включає в себе всю функціональність CPU 224 і має додатково 2 аналогових входи і один вихід, для роботи з аналоговими сигналами без додаткових модулів розширення. Для CPU 224XP також доступне нарощування через шину розширення (до 7 зовнішніх модулів).

Всі CPU серії S7-22x мають вбудований PPI інтерфейс (від точки до точки), який використовується для з'єднання з програматорами (PG), ПК, дисплеями TD 200, TP070 та іншими панелями оператора. Інтерфейс PPI має швидкість передавання до 187.5 Кбіт/с і може використовуватися для під'єднання S7-200 як веденого MPI пристрою (провідні пристрої: S7-300 / 400, панелі оператора, текстові дисплеї, кнопкові панелі). Інтерфейс PPI можна використовувати для під'єднання модемів, пристроїв зчитування бар-кодів, принтерів або для організації невеликих мереж із контролерів, панелей оператора тощо.

Усі CPU 22 x здатні виконувати операції над числами з плаваючою комою та підтримують алгоритм ПІД-регулювання.

4.2.5 Модифікація SIMATIC S7-200 CPU 224

CPU 224 характеризується такими показниками:

- 2 модифікації, що відрізняються напругою живлення і типом вихідних каскадів.
- Вбудований блок живлення =24В/280мА для живлення датчиків і перетворювачів.
- 14 вбудованих дискретних входів і 10 дискретних виходів.
- 1 комунікаційний порт (RS485), який може використовуватися:

Як PPI-інтерфейс, який використовується для програмування контролера, підключення пристроїв людино-машинного інтерфейсу (TD200,OP,TP), організації зв'язку між центральними процесорами S7-200. Швидкість передачі даних може встановлюватися рівною 9.6/ 19.2/ 187.5 Кбіт/с.

Як MPI-інтерфейс, який використовується для програмування контролера і підключення до провідних MPI-пристроїв (S7-300 / S7-400, панелей оператора, текстових дисплеїв, кнопкових панелей). Швидкість передачі даних може встановлюватися рівною 9.6/ 19.2/ 187.5 Кбіт/с.

Як вільно програмований порт з можливістю підтримки переривань, що використовується для організації послідовного каналу обміну даними з обладнанням та апаратурою інших виробників. Наприклад, з підтримкою ASCII протоколу передачі даних. Швидкість передачі даних може встановлюватися рівною 0.3/ 0.6/ 1.2/ 2.4/ 4.8/ 9.6/ 19.2/ 38.4 Кбіт/с. Для підключення до апаратури, оснащеної вбудованим інтерфейсом RS232, може використовуватися PC/PPI-кабель.

- Можливість підключення до 7 модулів розширення зі складу серії S7-22 x.
- Входи переривань, що забезпечують виключно швидку реакцію на зовнішні події.
- 6 швидкісних лічильників (30кГц) з параметруємими входами дозволу роботи і скидання, 2 незалежні входи для під'єднання інкрементальних датчиків позиціонування з двома послідовностями імпульсів, зсунутих на 90° (20кГц).
- Імітатор вхідних сигналів (опціональний), що дає змогу імітувати перемикачами вхідні сигнали контролера і проводити налагодження програми.
- 2 потенціометри, під'єднаних до АЦП контролера, що дають змогу встановлювати цифрові параметри. Наприклад, уставок лічильників або таймерів.
- 2 імпульсних виходи до 20кГц (у моделях із транзисторними виходами), що використовуються для вирішення завдань позиціонування, частотного керування двигунами, а також керування кроковими двигунами. Підключення двигунів має здійснюватися через відповідні підсилювачі.
- Знімний опціональний модуль EEPROM-пам'яті, який використовується для швидкого програмування контролера (установкою запрограмованого модуля пам'яті) і архівування даних.
- Знімний опціональний модуль батареї, що дає змогу зберігати дані (стани прапорів, таймерів і лічильників) у разі перерв у живленні протягом 200днів. Без цього модуля дані в

пам'яті контролера можуть зберігатися тільки протягом 5 днів. Для збереження програми модуль батареї не потрібен.



Рисунок 15 -SIMATIC S7-200 CPU 224

4.2.6 Модулі введення-виведення аналогових сигналів Siemens

Модулі введення-виведення аналогових сигналів Siemens SIMATIC S7-200 EM231 / EM231TC / EM231RTD, EM232, EM235 для під'єднання до центральних процесорів CPU22 x і збільшення обслуговуваного ними числа аналогових входів/виходів (макс. до 8 / 4 входів/виходів).

Основні характеристики та особливості модулів розширення аналогових входів виходів SIMATIC EM231/EM231TC/EM231RTD, EM232, EM235

- Призначення EM231 / EM235: аналого-цифрове перетворення (АЦП) вхідних аналогових сигналів контролера S7-200 і формування цифрового представлення виміряних величин.
- Призначення EM232/EM235: виконання цифро-аналогового перетворення (ЦАП) внутрішніх цифрових величин контролера і формування його вихідних аналогових сигналів
- Модулі введення аналогових сигналів EM 231:4/8 входів, для вимірювання уніфікованих величин напруги або сили струму

- Модулі введення аналогових сигналів EM 231TC:4/8 входів, для вимірювання температури за допомогою термопар і лінеаризації характеристик датчиків
- Модулі введення аналогових сигналів EM 231RTD:2/4 входів, для вимірювання температури термоперетворювачів опору, для вимірювання опору з лінеаризацією характеристик датчиків
- Модулі виведення аналогових сигналів EM 232: 2/4 виходи, +10...-10В або 0...20мА
- Модулі введення-виведення аналогових сигналів EM 235: 4 входи, 1 вихід -10...+10 В або 0...20мА
- Компактний пластиковий корпус зі встановленням на DIN- рейку 35мм або кріпленням на плоску поверхню гвинтами
- Підключення до сусідніх модулів за допомогою плоского, вмонтованого в кожен модуль кабелю
- Підключення зовнішніх ланцюгів через знімні термінальні блоки з гвинтовими затискачами - що дає змогу робити заміну модулів без демонтажу їхніх зовнішніх ланцюгів
- Захисні ізолювальні кришки, що закривають термінальні блоки
- DIP-перемикач вибору меж вимірювань і потенціометри налаштування параметрів модуля під нижньою ізолюючою кришкою
- Світлодіодні індикатори стану зовнішніх ланцюгів на лицьовій панелі модуля

Характеристики аналогових входів/виходів модулів розширення Siemens SIMATIC EM 231/231TC/234RTD, EM 232, EM235

- Аналогові входи: вхідна напруга/опір до 30В DC/2(10 для EM235) МОм(канали вимірювання напруги), вхідний струм/опір до 32 мА/250 Ом(канали вимірювання сили струму), роздільна здатність 12 біт для уніполярних сигналів і 11 біт + знак для біполярних сигналів.
- Аналогові виходи: параметри вихідних сигналів -10...+10В/0...20 мА (DIP-перемикач), роздільна здатність 11біт для струмових сигналів і 12 біт для сигналів за напругою, опір навантаження 500Ом для струмових і 5 кОм за напругою

- Входи EM 231TC: термопари типів S/T/R/E/N/K/J, сигнали напруги $\pm 80\text{мВ}$, лінеаризація характеристик, роздільна здатність 15 біт + знак за напругою і 0.1°C за температурою, опір входу не менше 1МОм
- Входи EM 231RTD: термоопори/датчики опорів типів Pt100/Pt200/Pt500/Pt1000/Ni100/Ni120/Ni1000/Cu10 та ін., лінеаризація характеристик, роздільна здатність 0.1°C за температурою, опір входу не менше 10МОм

5. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

5.1 Ідентифікація об'єкта

Ідентифікація об'єкта в системах автоматизації може бути здійснена за допомогою двох основних підходів: експериментального та аналітичного. Обидва методи мають свої особливості, переваги та недоліки. Аналітичний метод ідентифікації об'єкта базується на використанні фізичних законів і теоретичних моделей для опису поведінки об'єкта. Експериментальний метод ідентифікації об'єкта базується на проведенні серії експериментів і аналізі отриманих даних для створення моделі об'єкта.

5.1.1 Аналітичне визначення математичної моделі

Регулювання температури в камерах охолодження при виробництві цукрового печива є критичним етапом, що впливає на якість кінцевого продукту. Оптимальна температура охолодження забезпечує правильну текстуру, смак і тривалість зберігання печива. Аналітичне визначення математичної моделі для регулювання температури в камерах охолодження при виробництві цукрового печива є необхідним через кілька ключових причин:

1. Забезпечення якості продукції - цукрове печиво дуже чутливе до температурних умов під час охолодження. Неправильна температура може призвести до змін у текстурі, смаку та зовнішньому вигляді печива. Модель, що точно описує теплові процеси в камері, допомагає підтримувати оптимальні умови, забезпечуючи високу якість кінцевого продукту.

2. Підвищення ефективності виробництва - ефективне управління температурою дозволяє зменшити енерговитрати на охолодження та уникнути перевитрат ресурсів. Модель дає змогу прогнозувати та регулювати процес охолодження, мінімізуючи енергетичні витрати та покращуючи загальну ефективність виробництва.

3. Підвищення стабільності процесу - стабільна робота камери охолодження є критично важливою для підтримки постійної якості продукції. Математична модель допомагає передбачати та контролювати коливання температури, забезпечуючи стабільні умови для охолодження печива.

4. Оптимізація управління - модель дозволяє розробити автоматизовану систему управління, яка може динамічно регулювати температуру в залежності від різних факторів, таких як завантаженість камери, початкова температура продукції та зовнішні умови. Це робить процес управління більш гнучким і точним.

5. Скорочення втрат і браку - неправильне охолодження може призвести до дефектів продукції, що збільшує кількість браку та втрат. Точна модель допомагає уникнути перегріву або надмірного охолодження, знижуючи ризик виникнення дефектів.

6. Забезпечення відповідності стандартам - виробництво харчових продуктів, включаючи цукрове печиво, часто підлягає суворим стандартам і нормам якості. Регулювання температури за допомогою моделі допомагає дотримуватися цих стандартів, забезпечуючи відповідність продуктів вимогам.

Розглянемо камеру для охолодження, схема якої показана на Рисунку 14

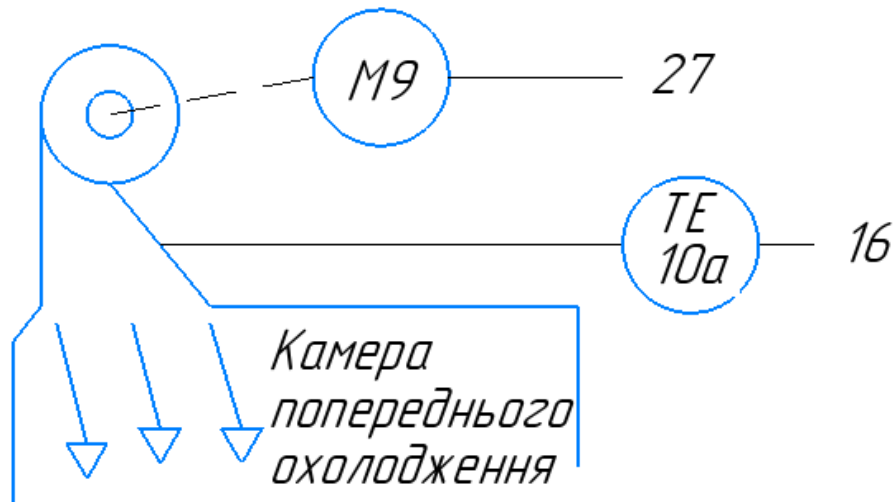


Рисунок 16 –Камера охолодження цукрового печива

Для опису динамічних процесів у камері охолодження при виробництві цукрового печива було розглянуто теплові процеси, які включають теплопередачу, теплоємність та теплообмін. Наведемо основні формули та рівняння, що описують ці процеси.

Рівняння теплопровідності - описує, як температура розподіляється в матеріалі (наприклад, стінках камери) з часом.

Для одновимірного випадку це рівняння має вигляд:

$$\frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2} \quad (1)$$

де:

$T(x,t)$ — температура в точці x у момент часу t ,

α — коефіцієнт теплопровідності, який визначається як $\alpha = \frac{k}{\rho c_p}$,

k — теплопровідність матеріалу,

ρ — густина матеріалу,

c_p — питома теплоємність матеріалу.

Рівняння теплового балансу для елементарного об'єму повітря або печива в камері можна записати як:

$$\rho c_p \frac{dT}{dt} = \dot{Q}_{in} - \dot{Q}_{out} \quad (2)$$

де:

ρ — густина матеріалу (повітря або печива),

c_p — питома теплоємність матеріалу.

dT/dt — зміна температури з часом,

Q_{in} — тепловий потік, що надходить до об'єму,

Q_{out} — тепловий потік, що залишає об'єм.

Для опису теплообміну між повітрям у камері та навколишнім середовищем через стінки камери використовуємо рівняння теплопередачі:

$$\dot{Q} = hA(T_{inside} - T_{outside}) \quad (3)$$

де:

Q — тепловий потік через стінки,

h — коефіцієнт тепловіддачі,

A — площа поверхні теплопередачі,

T_{inside} — температура всередині камери,

$T_{outside}$ — температура навколишнього середовища теплопередачі.

Охолодження печива можна описати рівнянням теплового балансу для печива:

$$m_{prod}c_{p,prod} \frac{dT_{prod}}{dt} = h_{prod-air} A_{prod} (T_{air} - T_{prod}) \quad (4)$$

де:

m_{prod} — маса печива,

$c_{p,prod}$ — питома теплоємність печива,

dT_{prod}/dt — зміна температури печива з часом,

$h_{prod-air}$ — коефіцієнт тепловіддачі між печивом і повітрям,

A_{prod} — поверхня печива,

T_{air} — температура повітря в камері,

T_{prod} — температура печива.

Охолодження повітря в камері охолодження можна описати рівнянням теплового балансу для повітря:

$$m_{air}c_{p,air} \frac{dT_{air}}{dt} = \dot{Q}_{cooling} - h_{prod-air}A_{prod}(T_{air} - T_{prod}) - h_{wall-air}A_{wall}(T_{air} - T_{wall}) \quad (5)$$

де:

m_{air} — маса повітря в камері,

$c_{p,air}$ — питома теплоємність повітря,

dT_{air}/dt — зміна температури повітря з часом,

$Q_{cooling}$ — тепловий потік від системи охолодження,

$h_{prod-air}$ — коефіцієнт тепловіддачі між печивом і повітрям,

A_{prod} — поверхня печива,

T_{prod} — температура печива,

$h_{wall-air}$ — коефіцієнт тепловіддачі між стінками камери і повітрям,

A_{wall} — площа стінок камери,

T_{wall} — температура стінок камери.

5.1.2 Отримання кривої розгону

Беручи до уваги технологічний процес у якому сказано, що охолодження цукрового печива триває 5-10 хвилин, можемо сформулювати передаточну функцію. Візьмемо середній показник у 7 хв, що дорівнює 420с. Передаточна функція буде мати наступний вигляд:

$$W(t) := \frac{1}{420t + 1}$$

Змінна на виході знаходиться у діапазоні 0..1, відповідно до одиничного стрибка на виході.

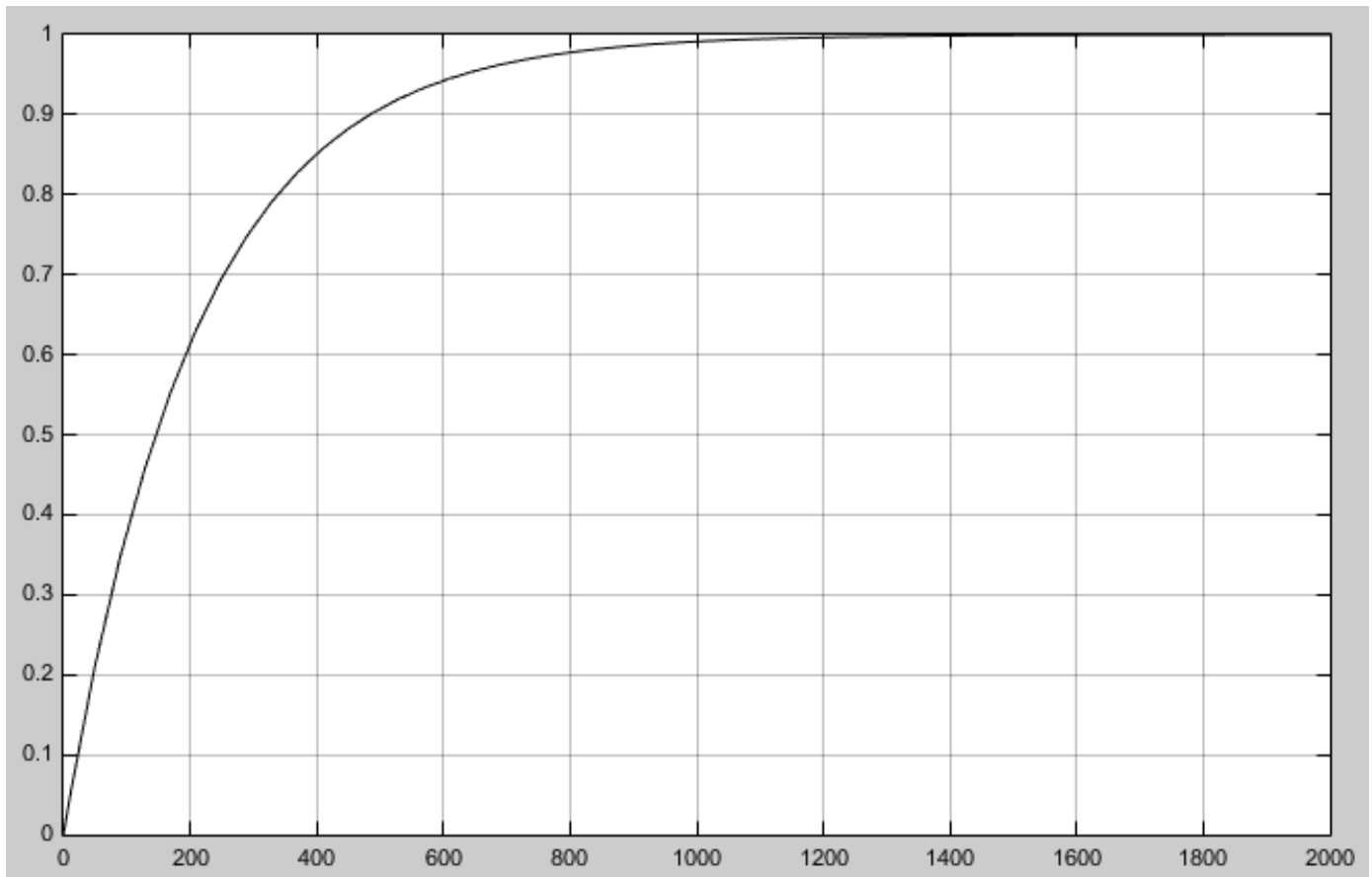


Рисунок 17 – Нормована крива розгону

Методом орманса [12] будемо визначати передаточну функцію.

Алогоритм визначення наступний:

1. Було визначено час кривої розгону, відповідно $h = 0.7$, у формулах далі буде позначено як t_7 . Як видно з рисунку вище цей час $t_7 = 253\text{с}$.

2. Поділивши відрізок на 3 частини. Було опущено до кривої розгону перпендикуляр і визначено h_4 . Як видно з кривої розгону вона дорівнює $h_4 = 0.33$.

3. Між параметрами моделі і точками на кривій є зв'язок, який видно по рінянню

$$t_7 = 1.2(T_1 + T_2).$$

4. Знайдено постійні часу об'єкту управління, використовуючи допоміжну величину Z_2 , відповідно до номограми.

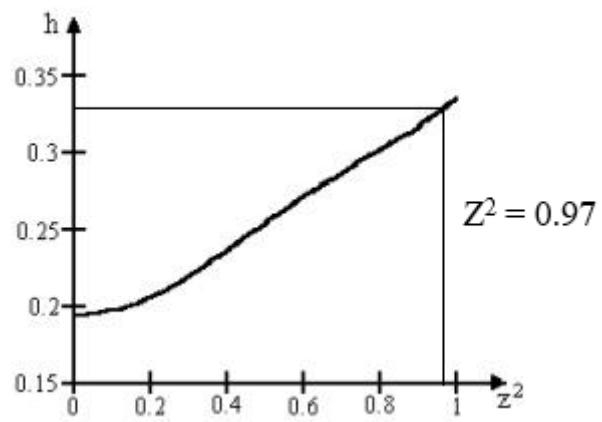
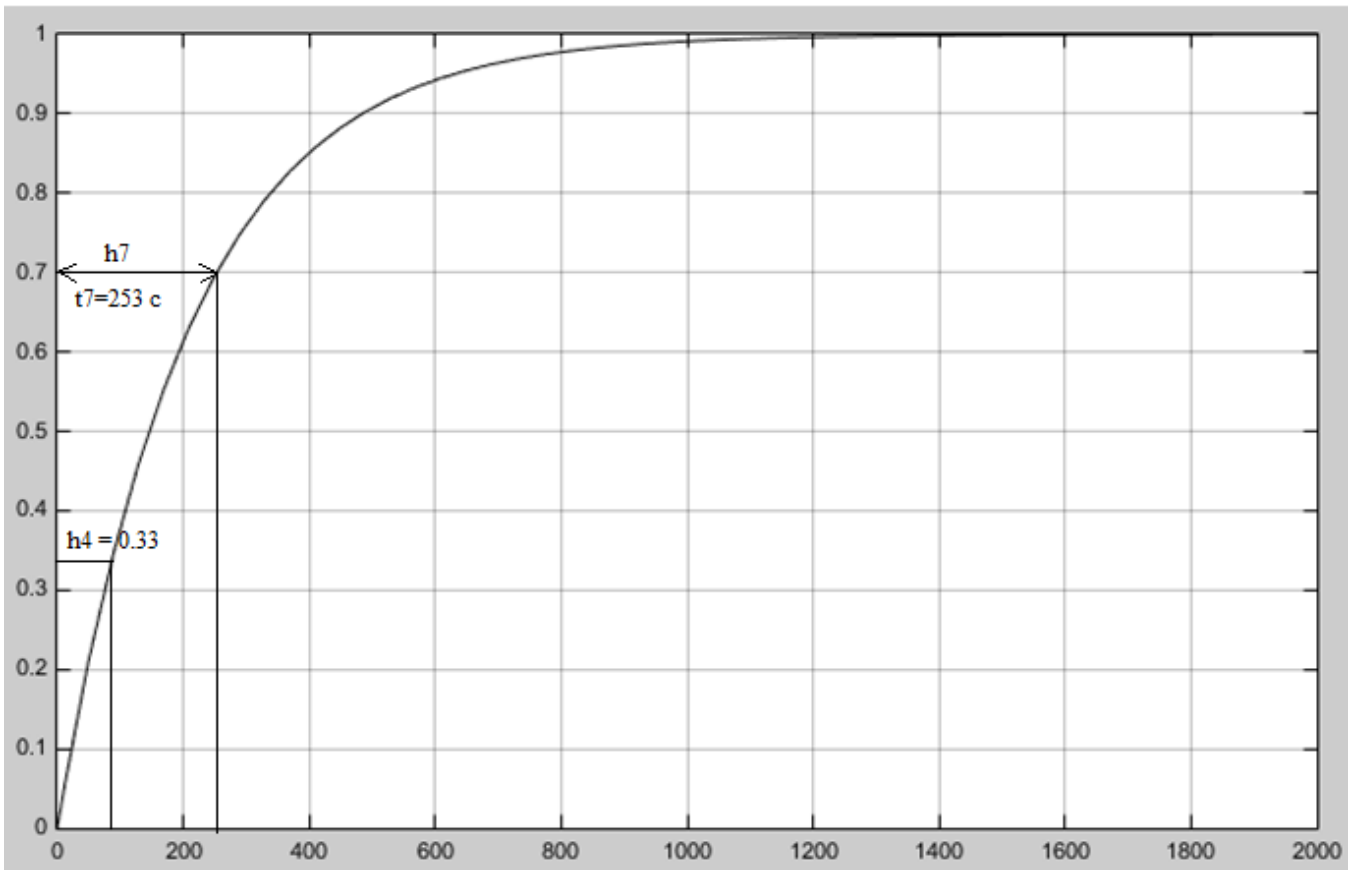


Рисунок 18 – Графік кривої розгона

Рисунок 19 – Номограма Орманса з отриманою величиною
43

5. Відповідно до формул було визначено постійні часу T_1 і T_2 :

$$T_1 = \frac{t_7}{2.4}(1+z) \quad T_2 = \frac{t_7}{2.4}(1-z)$$

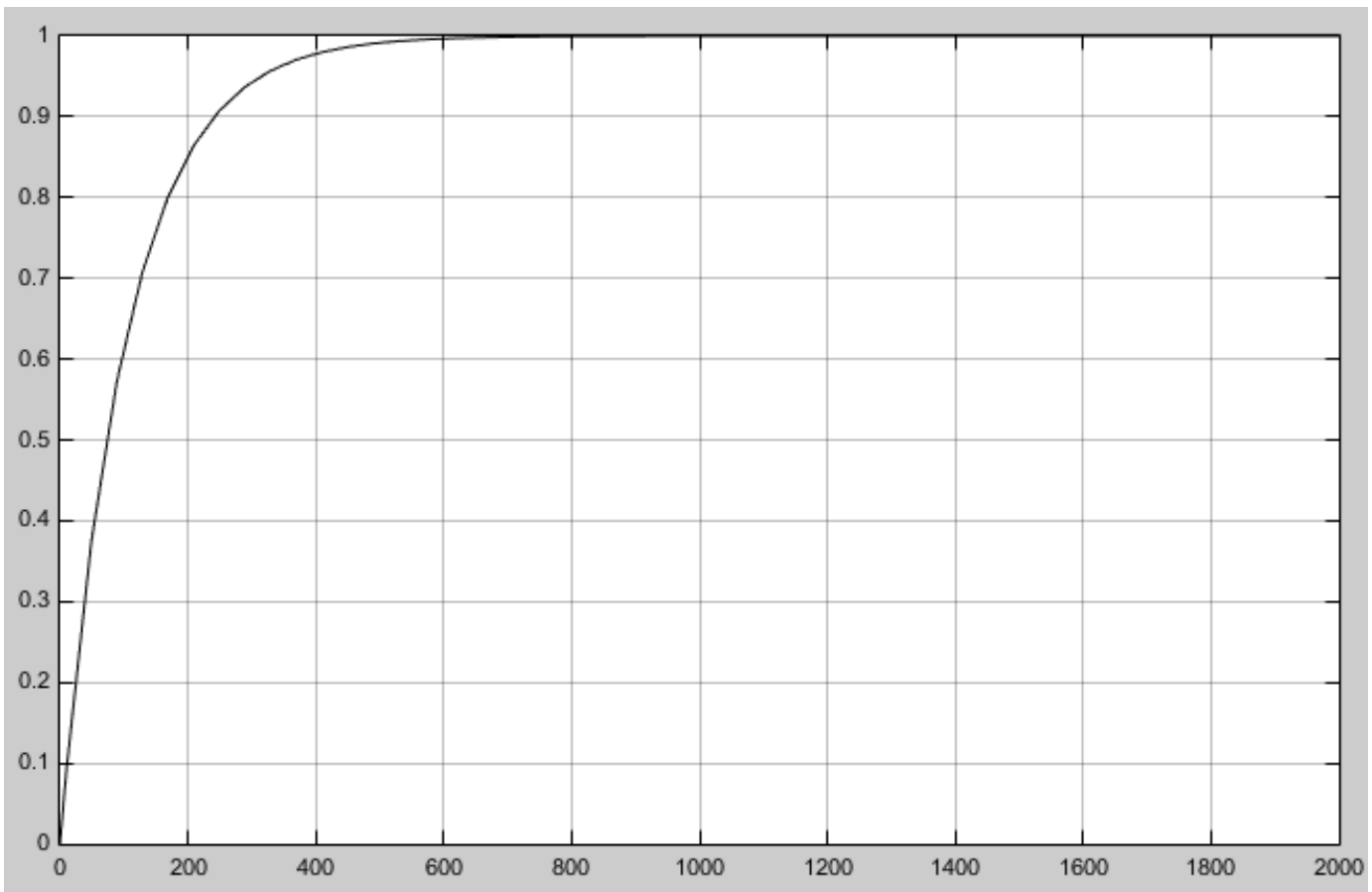
$$T_1 = \frac{253}{2.4}(1 + 0.985) = 209.3$$

$$T_2 = \frac{253}{2.4}(1 - 0.985) = 1.58$$

Через те, що $T_1 > T_2$, то перейдемо до моделі першого порядку. Передаточна функція відповідно буде мати вигляд:

$$W(t) = \frac{1}{209.3t + 1}$$

Було зроблено побудову перехідно характеристики і порівняно її з кривою та отримано



нок 20 – Експирементальна крива розгону

5.1.3 Вибір параметрів для настроювання типу регулятора

Використовуючи програму MatLAB (математичний пакет) було побудовано наступну схему:

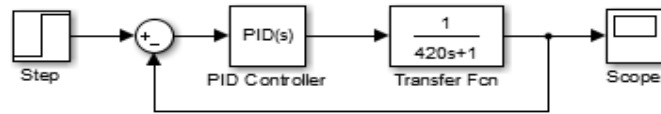
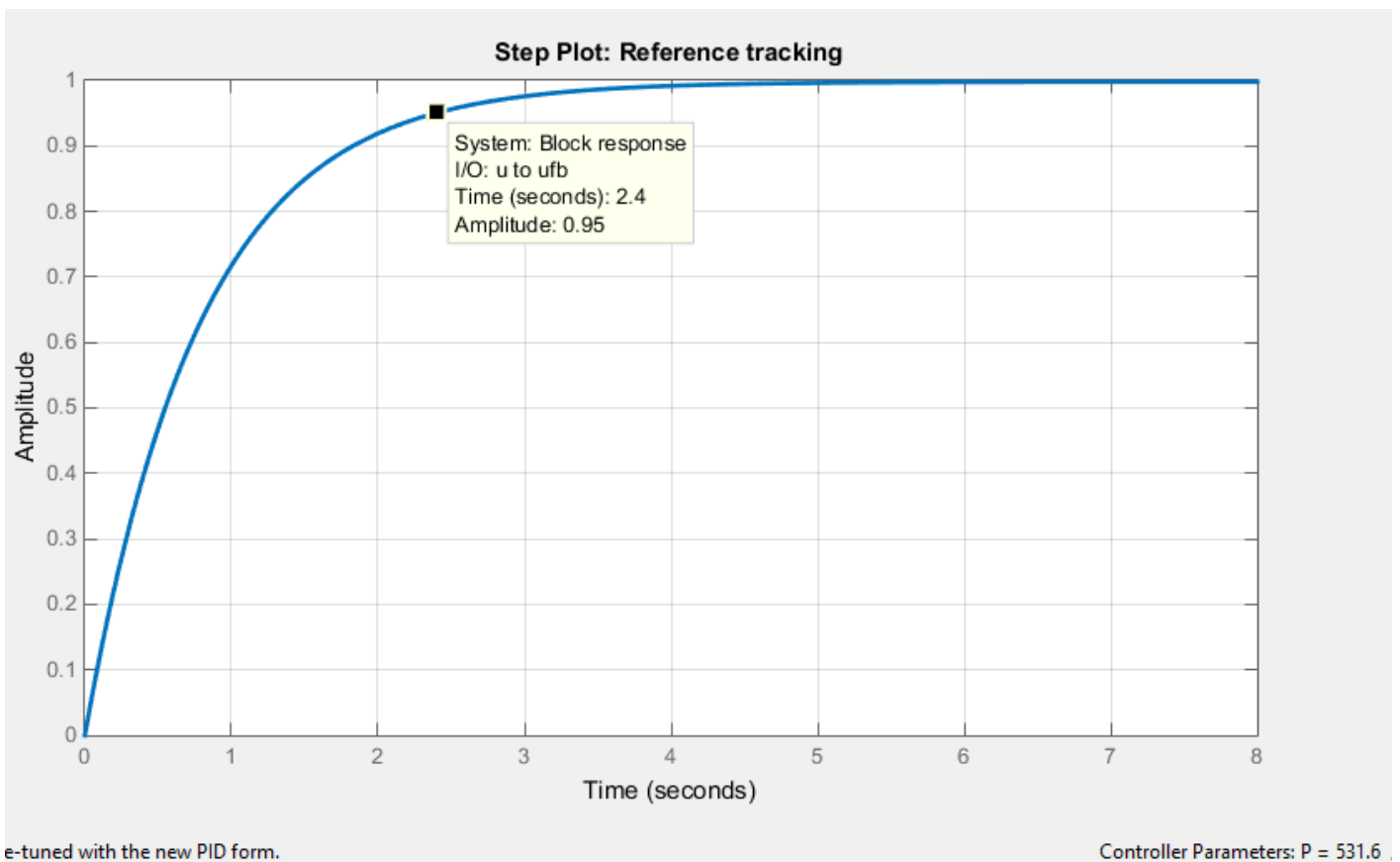


Рисунок 21 – Модель у програмі MatLAB

При виборі регулятора для системи управління ми розглянемо промислові П, ПІ та ПІД-регулятори. Основними критеріями вибору будуть час регулювання та величина перегулювання. Для зручності, нижче наведено таблицю з параметрами всіх регуляторів. Параметри регулятора налаштовуються шляхом переміщення відповідного повзунка.

5.1.3.1 П–Регулятор



Ідеальний безперервний П–Регулятор

Рисунок 22 –Крива моделі

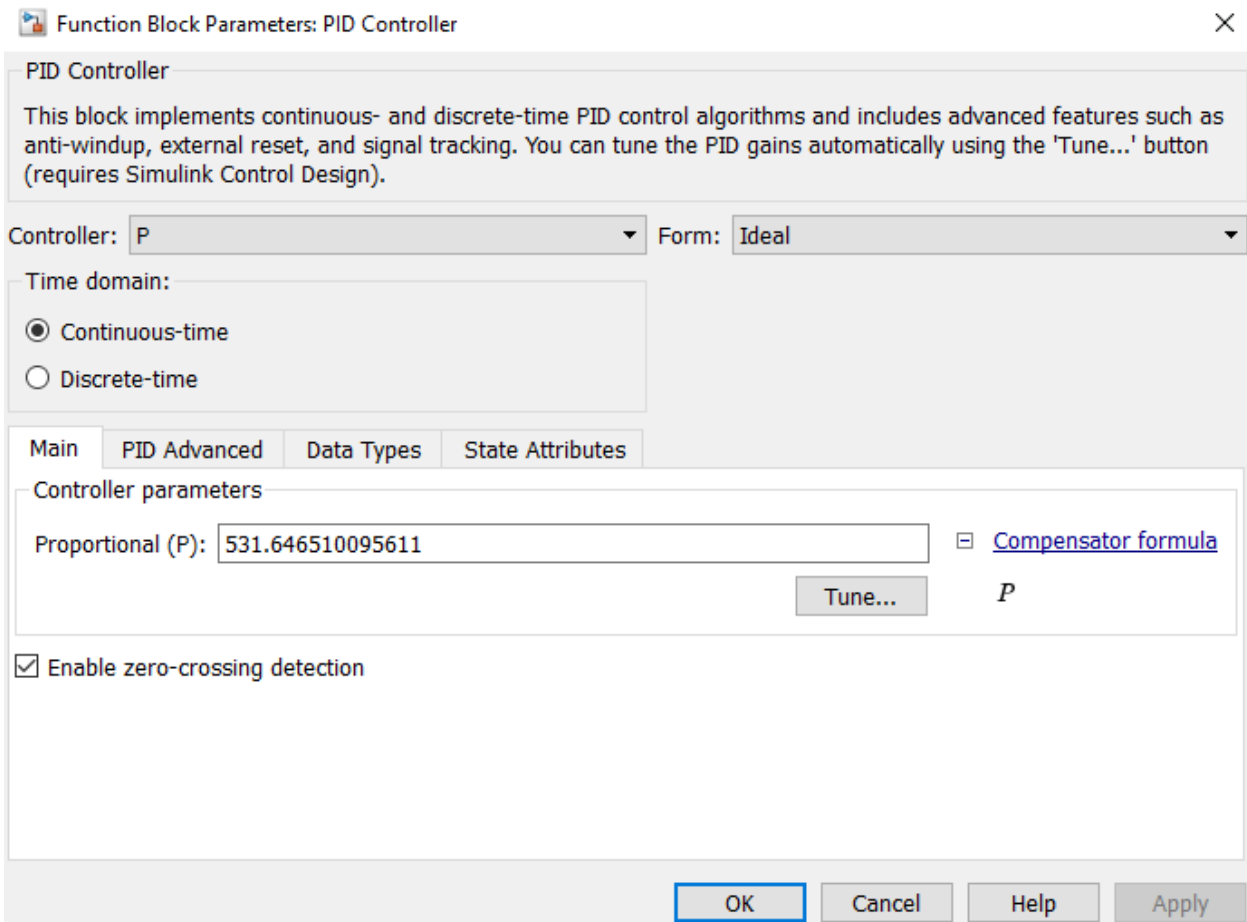


Рисунок 23 –Настроювання для П–Регулятора

Провівши налаштування було отримано наступні результати: коефіцієнт підсилювання - 531.65, час регулювання становить 2.4 секунди, перерегулювання на графіку немає. Результати для паралельного П–Регулятора такі ж самі.

5.1.3.2 III–Регулятор

Безперервний паралельний III–Регулятор

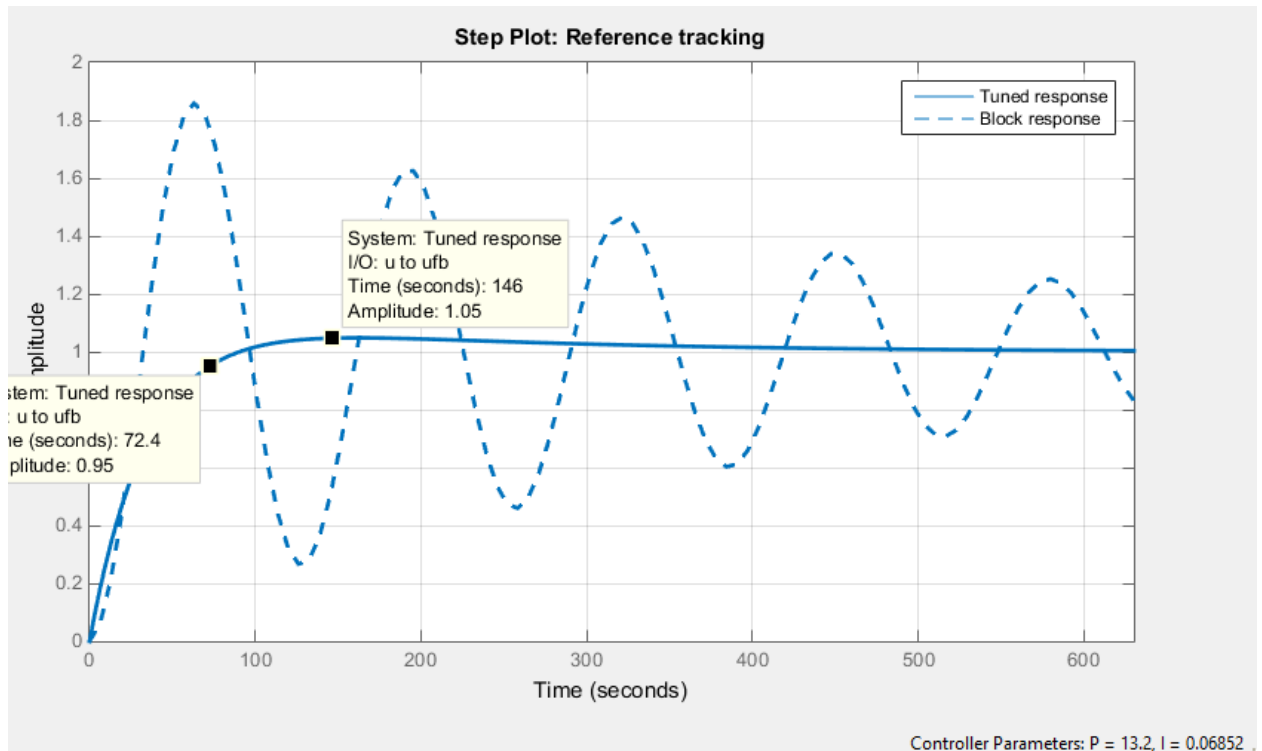


Рисунок 24 -Крива моделі

Function Block Parameters: PID Controller

PID Controller

This block implements continuous- and discrete-time PID control algorithms and includes advanced features such as anti-windup, external reset, and signal tracking. You can tune the PID gains automatically using the 'Tune...' button (requires Simulink Control Design).

Controller: **PI** Form: **Parallel**

Time domain:
 Continuous-time
 Discrete-time

Main | PID Advanced | Data Types | State Attributes

Controller parameters

Proportional (P): [Compensator formula](#)

Integral (I): $P + I \frac{1}{s}$

Initial conditions

Source:

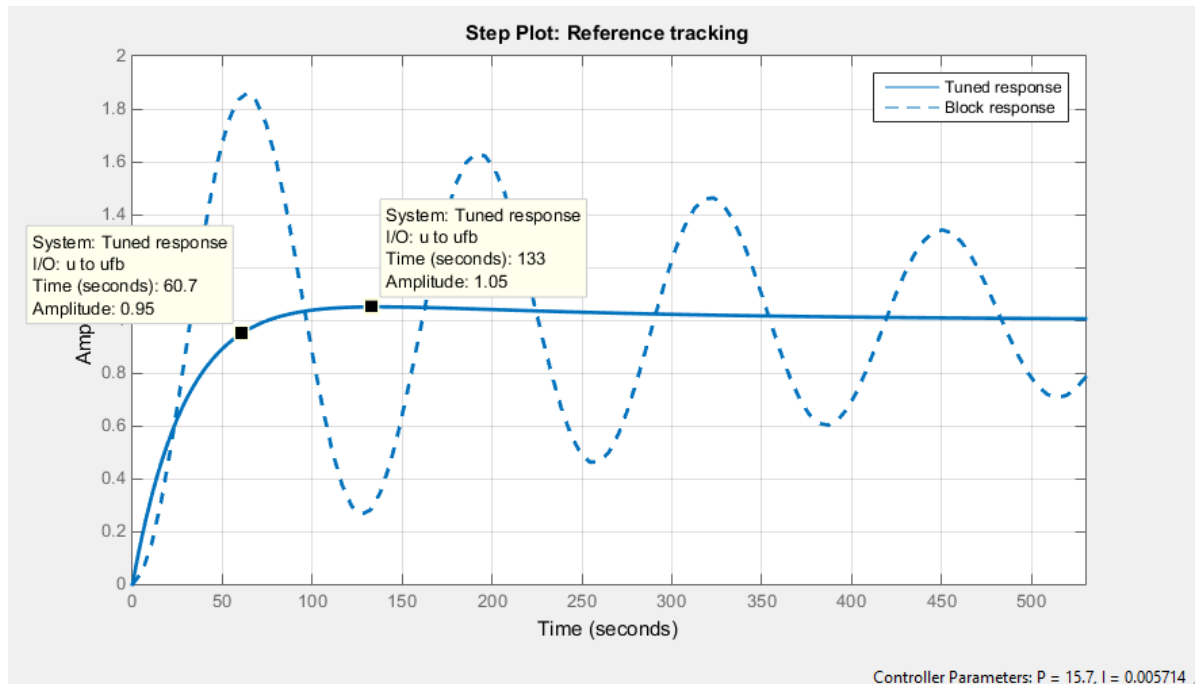
Integrator:

External reset:

Ignore reset when linearizing
 Enable zero-crossing detection

Рисунок 25 -Настроювання для паралельного ПІ-Регулятора

Провівши налаштування отримано наступні дані: коефіцієнт підсилювання - 13.2, час інтегрування - 0.068, час регулювання - 72.4 секунди, перерегулювання - 5%.



Безперервний ідеальний ПІ-Регулятор

Рисунок 26 -Крива моделі

Function Block Parameters: PID Controller

PID Controller
This block implements continuous- and discrete-time PID control algorithms and includes advanced features such as anti-windup, external reset, and signal tracking. You can tune the PID gains automatically using the 'Tune...' button (requires Simulink Control Design).

Controller: **PI** Form: **Ideal**

Time domain:
 Continuous-time
 Discrete-time

Main | PID Advanced | Data Types | State Attributes

Controller parameters

Proportional (P): [Compensator formula](#)

Integral (I): $P\left(1 + I\frac{1}{s}\right)$

Initial conditions

Source: **internal**

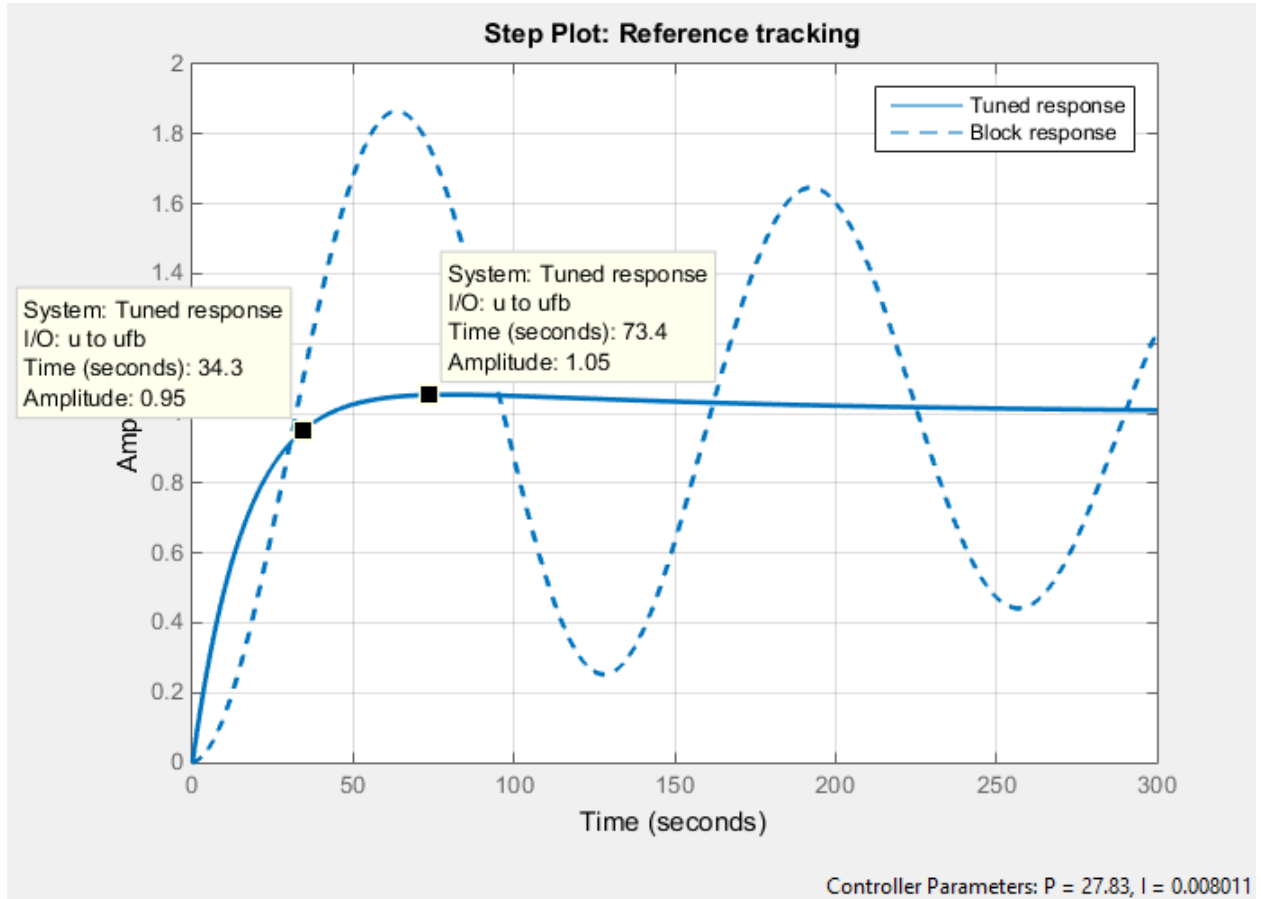
Integrator:

External reset: **none**

Ignore reset when linearizing
 Enable zero-crossing detection

Рисунок 27 -Налаштування для ідеального ПІ-Регулятора

Провівши налаштування отримано наступні схожі з паралельним дані: коефіцієнт підсилення - 15.7, час інтегрування – 0.0057, час регулювання – 60.7 с, перерегулювання – 5%.



Дискретний ідеальний ПІ – регулятор

Рисунок 28 –Крива моделі

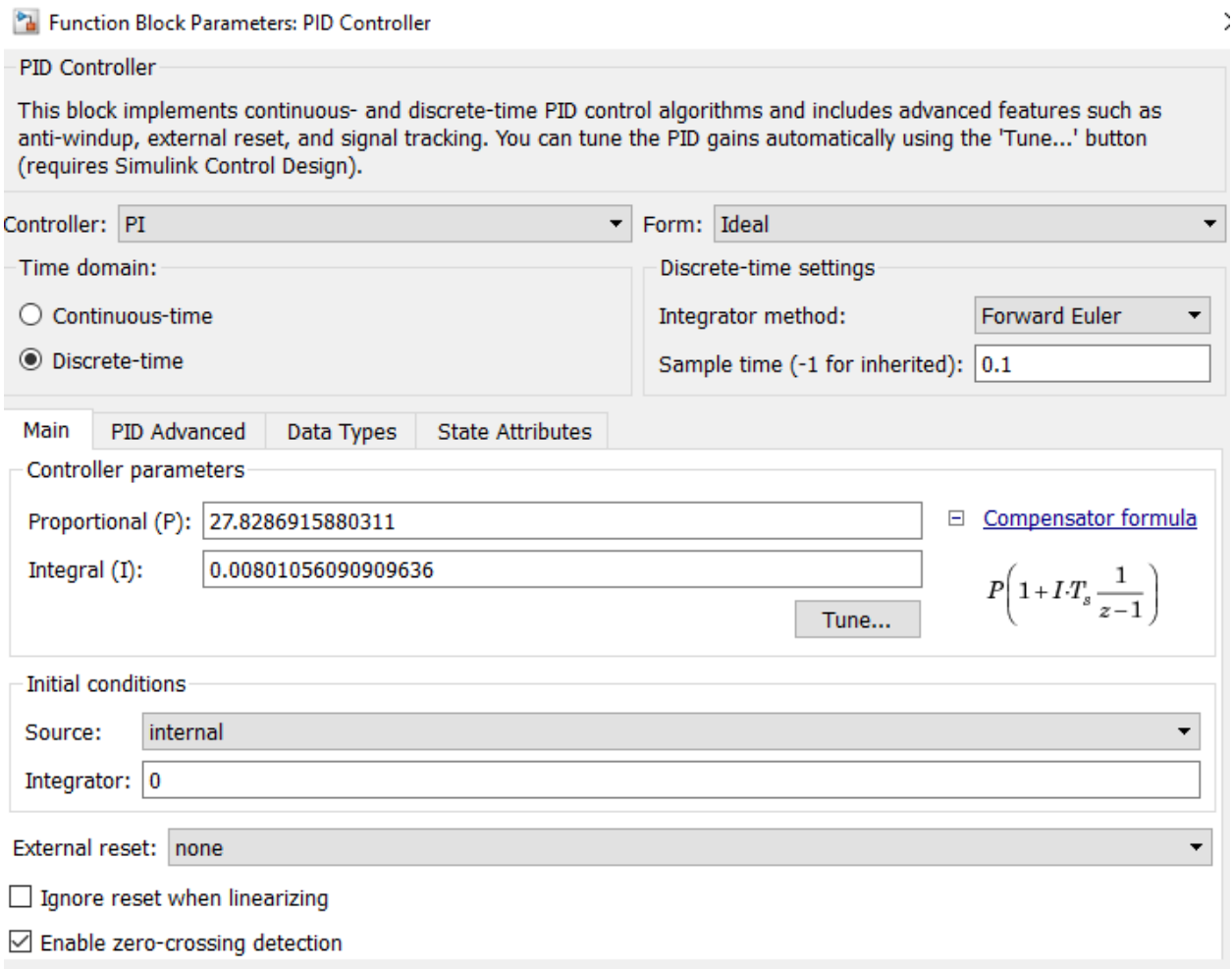
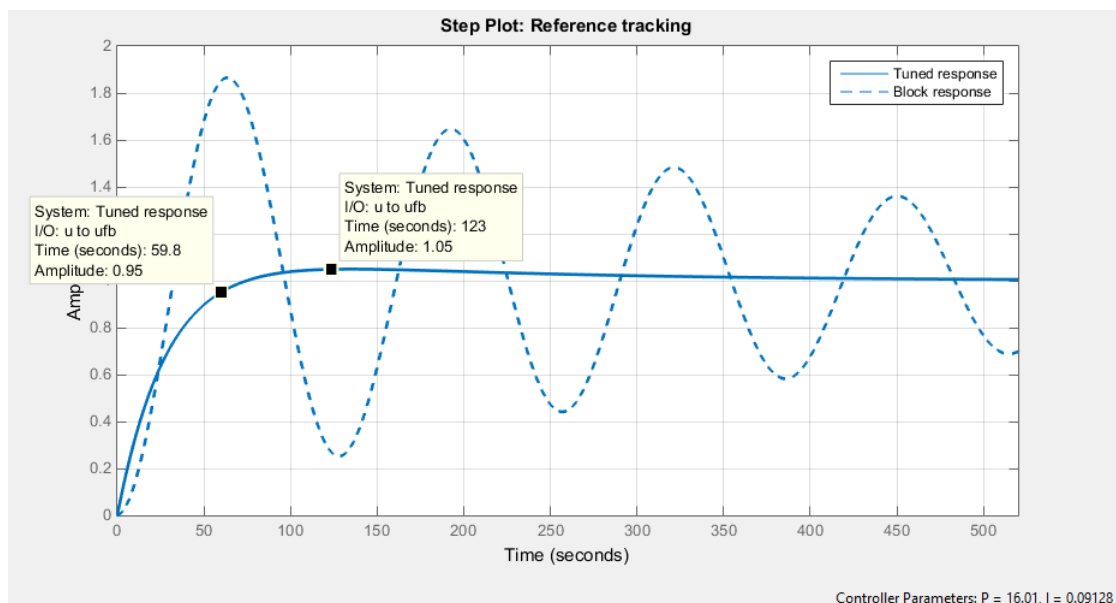


Рисунок 29 -Настроювання для дискретного ідеального ПІ-Регулятора

Отримано результат: коефіцієнт підсилення – 27,8; час інтегрування – 0,008; час регулювання 34,3 с; перерегулювання 5%.



Дискретний паралельний ПІ-Регулятор

Рисунок 30 -Крива моделі

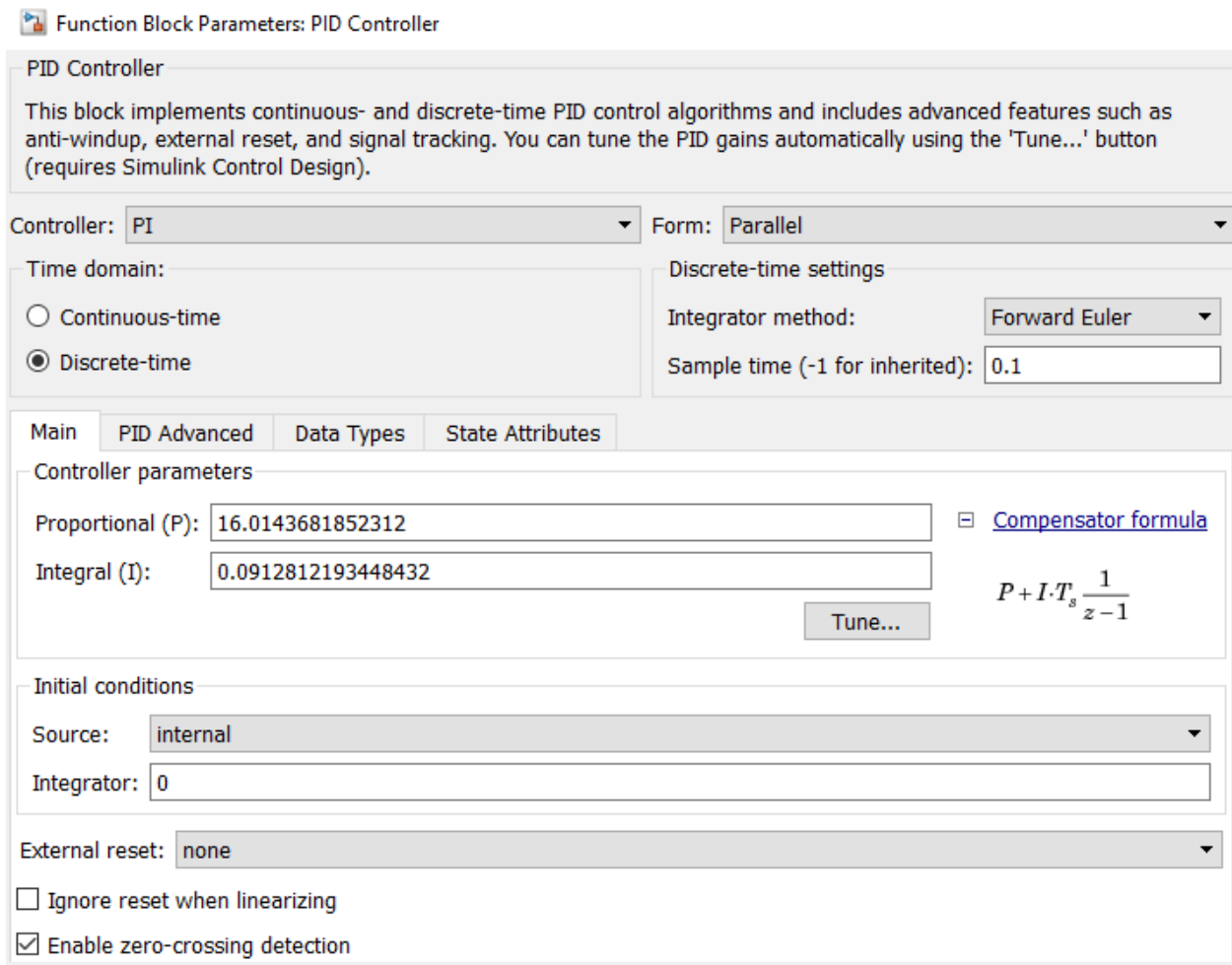


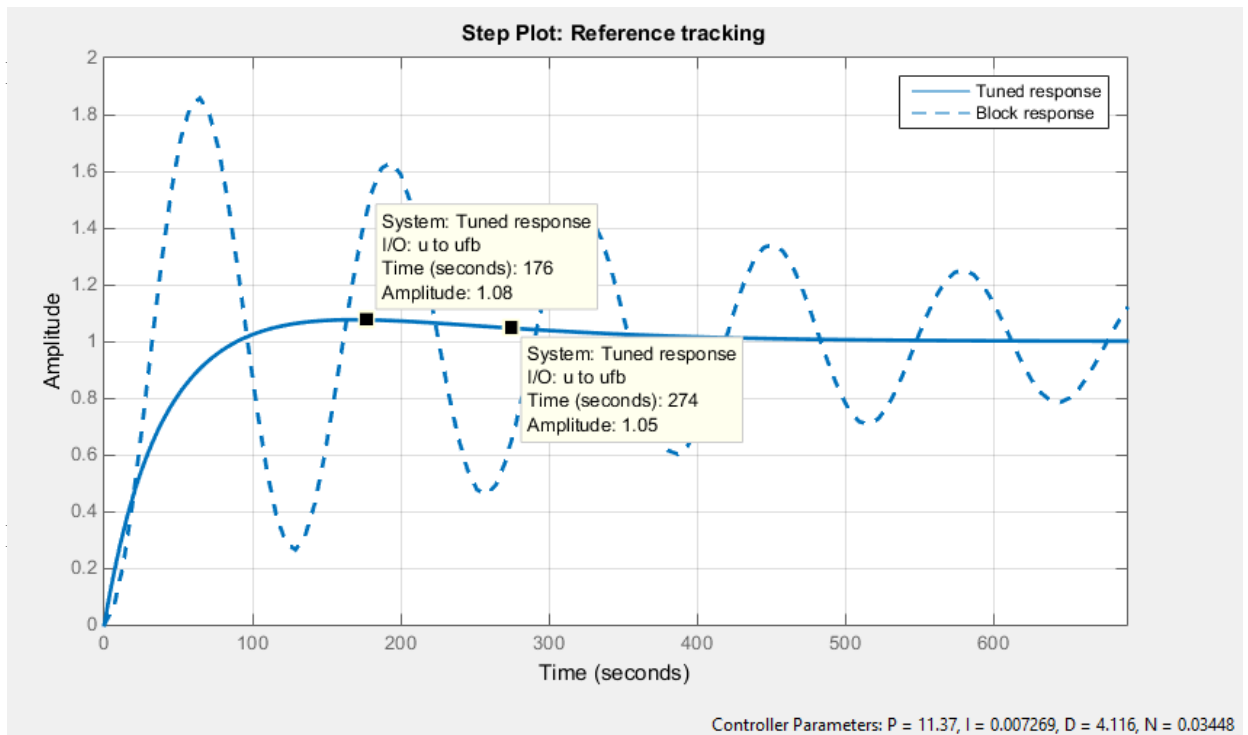
Рисунок 31 - Настороювання для дискретного паралельного ПІ-Регулятора

Було отримано: коефіцієнт підсилення – 16,01; час інтегрування – 0,091; час регулювання 59.8 секунди; перерегулювання 5%.

5.1.3.3 ПІД-Регулятор

Безперервний ідеальний ПІД – регулятор

исун
ок 32
-
Крив
а
моде
лі



исун
ок 33

-
Наст

роювання

Function Block Parameters: PID Controller

×

ДЛЯ

PID Controller

This block implements continuous- and discrete-time PID control algorithms and includes advanced features such as anti-windup, external reset, and signal tracking. You can tune the PID gains automatically using the 'Tune...' button (requires Simulink Control Design).

Controller: **PID** Form: **Ideal**

Time domain:
 Continuous-time
 Discrete-time

Main **PID Advanced** Data Types State Attributes

Controller parameters

Proportional (P): [Compensator formula](#)

Integral (I):

Derivative (D):

Filter coefficient (N):

$$P \left(1 + I \frac{1}{s} + D \frac{N}{1 + N \frac{1}{s}} \right)$$

Initial conditions

Source: **internal**

Integrator:

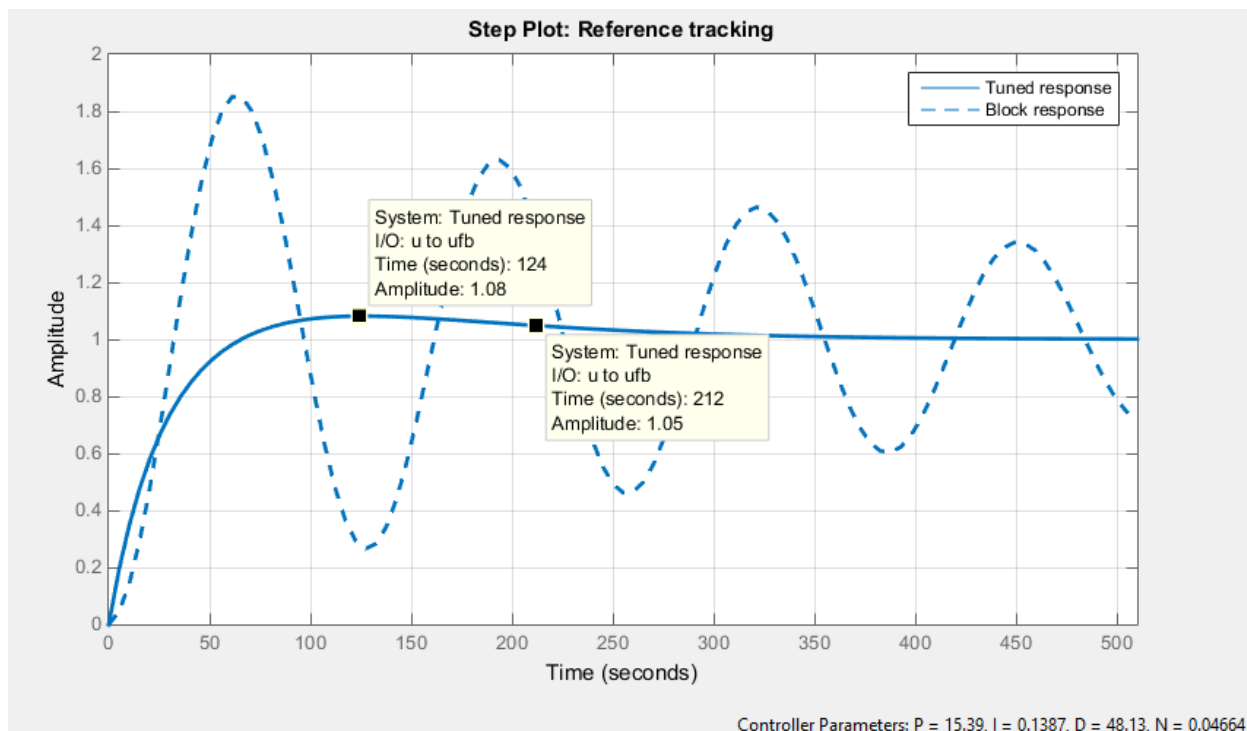
Filter:

External reset: **none**

Ignore reset when linearizing
 Enable zero-crossing detection

ідеального ПІД-Регулятора

Після чого маємо: коефіцієнт підсилення – 11,37; час інтегрування – 0,007; час диференціювання – 4.12, час регулювання 274 с; перерегулювання 8%.



Безперервний паралельний ПІД–Регулятор

Рисунок 34 -Крива моделі

Function Block Parameters: PID Controller

PID Controller
This block implements continuous- and discrete-time PID control algorithms and includes advanced features such as anti-windup, external reset, and signal tracking. You can tune the PID gains automatically using the 'Tune...' button (requires Simulink Control Design).

Controller: **PID** Form: **Parallel**

Time domain:
 Continuous-time
 Discrete-time

Main PID Advanced Data Types State Attributes

Controller parameters

Proportional (P): 15.3909946081712 [Compensator formula](#)

Integral (I): 0.138727976298668

Derivative (D): 48.1329639381229

Filter coefficient (N): 0.0466432654249454

$$P + I \frac{1}{s} + D \frac{N}{1 + N \frac{1}{s}}$$

Initial conditions

Source: **internal**

Integrator: 0

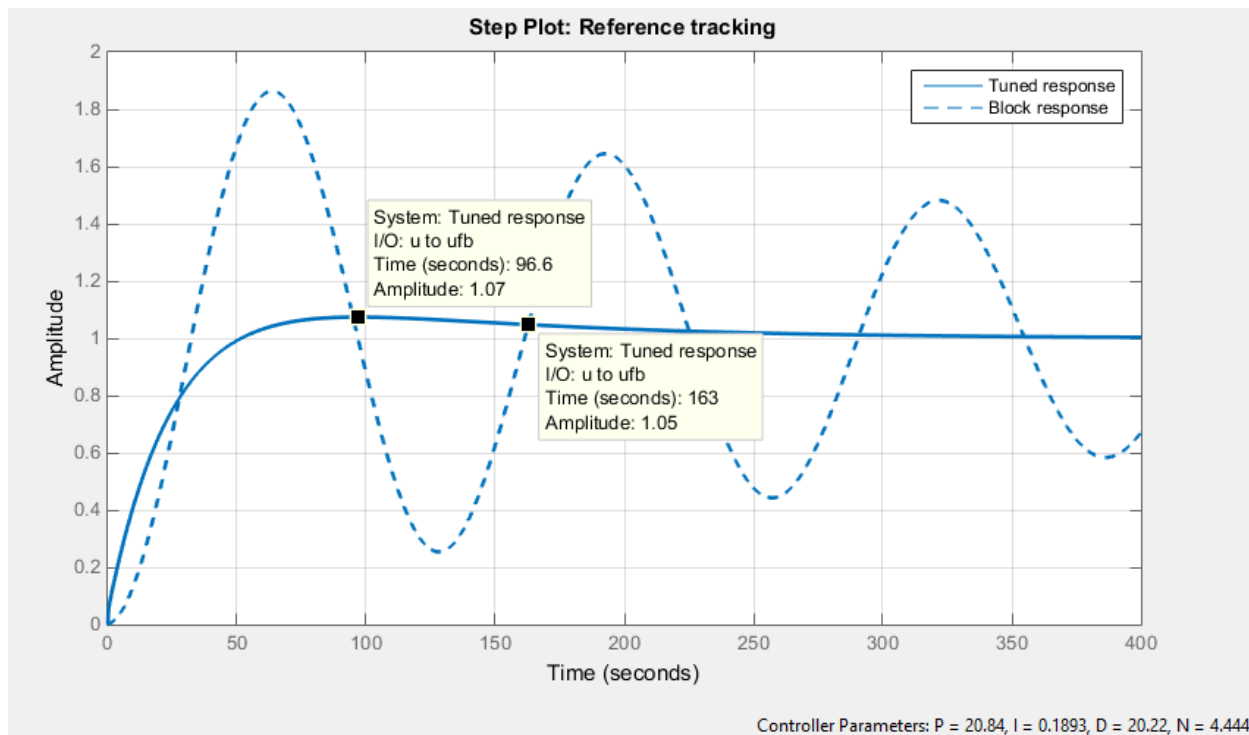
Filter: 0

External reset: **none**

Ignore reset when linearizing
 Enable zero-crossing detection

Рисунок 35 -Настроювання для паралельного ПІД-Регулятора

Після чого було визначено: коефіцієнт підсилення – 15,39; час інтегрування – 0,14; час диференціювання – 48,13; час регулювання 212 секунд; перерегулювання 8%.



Дискретний паралельний ПІД-Регулятор

Рисунок 36 -Крива моделі

Function Block Parameters: PID Controller

PID Controller
This block implements continuous- and discrete-time PID control algorithms and includes advanced features such as anti-windup, external reset, and signal tracking. You can tune the PID gains automatically using the 'Tune...' button (requires Simulink Control Design).

Controller: **PID** Form: **Parallel**

Time domain:
 Continuous-time
 Discrete-time

Discrete-time settings
 Integrator method: **Forward Euler**
 Filter method: **Forward Euler**
 Sample time (-1 for inherited): **0.1**

Main | **PID Advanced** | Data Types | State Attributes

Controller parameters

Proportional (P): **20.8405294009475** [Compensator formula](#)

Integral (I): **0.18926968142888**

Derivative (D): **20.2218363635664**
 Use filtered derivative

Filter coefficient (N): **4.44436342488786** **Tune...**

$$P + I \cdot T_s \frac{1}{z-1} + D \frac{N}{1 + N \cdot T_s \frac{1}{z-1}}$$

Initial conditions
 Source: **internal**
 Integrator: **0**
 Filter: **0**

External reset: **none**

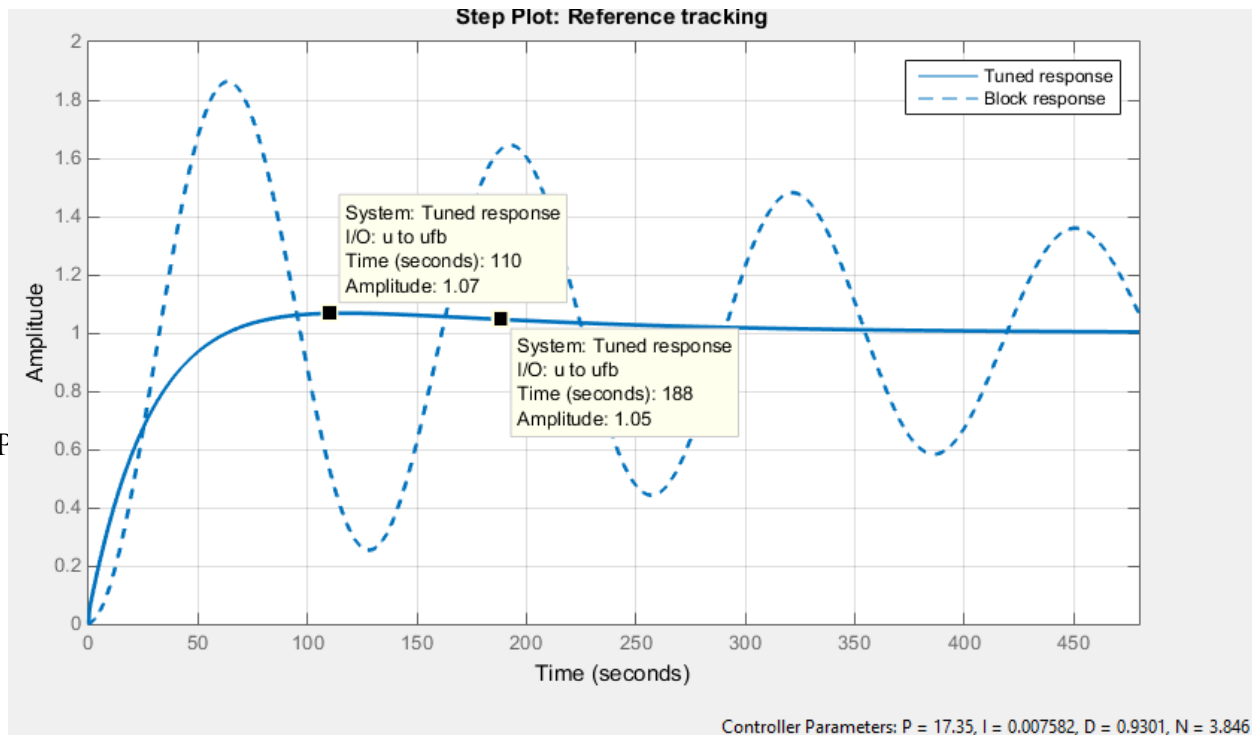
Ignore reset when linearizing
 Enable zero-crossing detection

Рисунок 37 -Настроювання для паралельного дискретного ПІД-Регулятора

Після чого маємо: коефіцієнт підсилення – 20,84; час інтегрування – 0,18; час диференціювання – 20,22; час регулювання 163 с; перерегулювання 7 %.

Д

искре
тний
ідеал
ьний
ПІД-
Регул
ятор
Р
исуно
к 38 -
Крив
а
модел



i

Рисунок 39 -Настроювання для паралельного ідеального ПІД-Регулятора

Піс
ля чо
го ма
ємо:
коєфі
цієнт
Т під
силен
ня – 17,35;
час
інтегр
уван
ня –
0,007; час
дифер
енці
юван
ня –

Function Block Parameters: PID Controller

PID Controller
This block implements continuous- and discrete-time PID control algorithms and includes advanced features such as anti-windup, external reset, and signal tracking. You can tune the PID gains automatically using the 'Tune...' button (requires Simulink Control Design).

Controller: PID Form: Ideal

Time domain:
 Continuous-time
 Discrete-time

Discrete-time settings
 Integrator method: Forward Euler
 Filter method: Forward Euler
 Sample time (-1 for inherited): 0.1

Main PID Advanced Data Types State Attributes

Controller parameters

Proportional (P): 17.3521490253556 [Compensator formula](#)

Integral (I): 0.00758243485579598

Derivative (D): 0.930129495486431
 Use filtered derivative

Filter coefficient (N): 3.84607905897126

$$P \left(1 + I T_s \frac{1}{z-1} + D \frac{N}{1 + N T_s \frac{1}{z-1}} \right)$$

Tune...

Initial conditions
 Source: internal
 Integrator: 0
 Filter: 0

External reset: none

Ignore reset when linearizing
 Enable zero-crossing detection

0,93; час регулювання 188 секунди; перерегулювання 7%.

Результати усіх моделей було наведено у таблиці нище.

Таблиця 2 – Результати дослідів

Регулятор	P	I	D	Час регулювання, с	Перерегулювання, %
Безперервний ідеальний П-Регулятор	531.65	-	-	2.4	-
Безперервний паралельний ПІ-Регулятор	13.2	0.068	-	72.4	5
Безперервний ідеальний ПІ-Регулятор	15.7	0.0057	-	60.7	5
Дискретний ідеальний ПІ-Регулятор	27.8	0.008	-	34.3	5
Дискретний паралельний ПІ-Регулятор	16,01	0.091	-	59.8	5
Безперервний ідеальний ПІД-Регулятор	11.37	0.007	4.12	274	8
Безперервний паралельний ПІД-Регулятор	15.39	0.14	48.13	212	8
Дискретний паралельний ПІД-Регулятор	20.84	0.18	20.22	163	7
Дискретний ідеальний ПІД-Регулятор	17.35	0.007	0.93	188	7

При виборі регулятора ми зосередилися на показниках часу регулювання та величини перегулювання. З усіх розглянутих варіантів найкращим за цими критеріями був би П-регулятор. Проте, його технічна реалізація виявилася неможливою, хоча теоретично він можливий при моделюванні з використанням зазначених параметрів.

Під час використання ПІ-регулятора ми отримали такі результати: середній час регулювання склав 57 секунд, а перегулювання становило 5%. ПІД-регулятор має свої недоліки, зокрема, потребує налаштування трьох параметрів, що ускладнює процес, а також є вразливим до перешкод та інших факторів. Моделювання системи з ПІД-регулятором показало гірші результати: час регулювання збільшився майже втричі порівняно з ПІ-регулятором, а перегулювання також зросло.

Враховуючи дані Таблиці 2, було обрано дискретний ідеальний ПІ-регулятор, оскільки він має оптимальні показники в порівнянні з іншими варіантами, наведеними в Таблиці 2.

ВИСНОВКИ

В даній роботі було розглянуто та вирішено питання, які пов'язані з розробкою системи управління технологічної лінії виробництва цукрового печива.

Досліджено технологічну схему процесу виробництва , а також роботу системи. На основі цього аналізу було визначено основні параметри процесу системи управління технологічної лінії виробництва цукрового печива.

Зроблено креслення функціональної схеми автоматизації і обрано технічні засоби автоматизації, виконавчі механізми, датчики та перетворювачі. Було проведено розрахунок параметрів керування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Інструктивні вказівки до виконання курсових і дипломних проектів з напрямку підготовки «Системна інженерія» і спеціальності «Комп'ютеризовані системи управління і автоматика», – Суми.:СумДУ, 2013. – 69с.
2. Технологія борошняних кондитерських виробів: Підручник / С. Я. Корячкіна, Т. В. Матвєєва, 2011. - 400 с.
3. Технологічний процес з виготовлення цукрового печива - <https://remnabor.net/tehnologicheskaya-shema-dlya-proizvodstva-saharnogo-pechenya>
4. Каталог фірми SIMENS - <https://www.siemens.com/ua/uk.html>
5. Тензодатчик CAS NMT - <https://topscan.com.ua/ua/p2094575075-tenzodatchik-cas-mnt.html>
6. Тензодатчик Keli DEF <https://keli.kiev.ua/ua/p1889500401-tenzodatchik-keli-def.html>
7. Датчик рівня рідини ElkoEr SHR-1-N - <https://axiomplus.com.ua/rele-urovnya-zhidkosti/product-34744/>
8. Датчик температури PT100 - <https://electrokom.kiev.ua/ru/product/datchik-temperature-pt100>
9. Датчик вологості HM2A - http://certa.com.ua/downloads/HtM2A_manual.pdf
10. Контролер SIMATIC S7- 200 - <https://www.rts.ua/rus/catshop/604/Kontrollery-PLC-SIMATIC-S7-200/>
11. Попович М.Г.,Ковальчук О.В. Теорія автоматичного регулювання. – Підручник. К.:Либідь, 1997. – 544 с.
12. Дмитрієв, Є. А. Теплообмінні апарати хімічних виробництв: навчальний посібник / Є. А. Дмитрієв, О. П. Моргунова, Р. Б. Комляшев ; - М: Хімікотехнологічний ун-т ім. Д. І. Менделєєва, 2013. Д. І. Менделєєва, 2013. - 87 с. : іл.; 21 см.; ISBN 978-5-7237-1131-0