

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Кафедра комп'ютерних наук
Секція комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

_____ Довбиш А.С.

“ ____ “ _____ “ 2018 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА
за спеціальністю 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології"
«Система керування процесом випікання хлібобулочних виробів»

Магістрант:

студент групи СУ.м-71

Чалий Ю.О.

Керівник роботи:

доцент, кандидат т.н.

Толбатов В.А.

РЕФЕРАТ

Чалий Юрій Олександрович. Система керування процесом випікання хлібобулочних виробів. Дипломна робота. Сумський держаний університет. Суми, 2018 р.

Проект містить 83 сторінок, 13 рисунків, 2 таблиць, 2 додатки. При виконанні дипломного проекту було використано 25 літературних джерел.

Робота присвячена дослідженню системи керування процесом випікання хлібобулочних виробів. В ході виконання кваліфікаційної роботи магістра були проаналізовані існуючі системи автоматизації. Були розроблені: схема інформаційно-матеріальних потоків, функціональна схема автоматизації, таблиця вхідних-вихідних сигналів, розроблено математичну модель електроприводу стрічкового конвеєра, промодельовано роботу конвеєрної установки під час нормальної роботи та під час пуску, розроблено алгоритм керування, й обрано давачі та виконуючі механізми.

Отримані результати можуть бути використані для створення аналогічних систем, або модернізації існуючих, що особливо актуально в нинішній ситуації харчової промисловості.

Ключові слова: дослідження, моделювання, математична модель, виконавчі механізми, алгоритмічне забезпечення, функціональна схема, система керування, операторська панель, програмований логічний контролер.

ABSTRACT

Chalyi Yurii Oleksandrovych. Process control system for baking bakery products. The graduation project. Sumy State University. Sumy, 2018.

The project contains 83 pages, 13 figures, 2 tables, 3 annexes. During the implementation of the diploma project, 25 literary sources were used.

The work is devoted to the research of the system of control of the process of baking bakery products. During the implementation of the Master's qualification work, existing automation systems were analyzed. The scheme of information and material flows, the functional scheme of automation, the table of input-output signals, the mathematical model of the electric drive of the belt conveyor was developed, the operation of the conveyor installation during the normal operation and during start-up was modeled, the control algorithm was developed, and the sensors and actuators were selected. The obtained results can be used to create similar systems, or to modernize existing ones, which is especially relevant in the present situation of the food industry.

Key words: research, modeling, mathematical model, executive mechanisms, algorithmic support, functional diagram, control system, operator panel, programmable logic controller.

Міністерство освіти і науки України

Зміст

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	5
ВСТУП.....	6
Розділ 1 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ	7
1.1 Опис технологічного процесу	7
1.2 Конструкція хлібопекарської печі тунельного типу	9
Розділ 2 ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ АНАЛІЗ	13
2.1 Функціональні задачі	13
2.2 Розробка схеми інформаційно-матеріальних потоків.....	14
2.3 Розробка функціональної схеми автоматизації.....	14
2.3.1 Контур подачі газу/повітря до газового пальника	15
2.3.2 Контур регулювання роботи конвеєра	16
2.3.3 Контур регулювання вологості в першій зоні пекарної камери	17
2.3.4 Контур регулювання роботи витяжної системи	18
2.3.5 Контур регулювання роботи системи обігріву.....	19
2.4 Таблиця вх/вих сигналів	20
Розділ 3 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА	23
3.1 Вибір типу електроприводу.....	24
3.1.1 Умови роботи, режими і навантаження конвеєрних установок	24
3.1.2 Вимоги до електроприводів і систем управління конвеєрними установками.....	25
3.1.3 Розташування електроприводів на конвеєрних лініях.....	26
3.1.4 Особливості вибору електроприводу для конвеєра	27
3.1.5 Порівняльний аналіз електроприводів	29
3.1.6 Системи електроприводів стрічкових конвеєрів.....	31
3.1.7 Обґрунтування вибору	32
3.2 Особливості режиму роботи електроприводу конвеєра.....	34
3.3 Математична модель електроприводу стрічкового конвеєра.....	36
3.4 Дослідження комплексної моделі конвеєра.....	43
3.5 Дослідження конвеєрної установки під час пуску.....	47
Розділ 4 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ДАВАЧІВ ТА ВИКОНУЮЧИХ МЕХАНІЗМІВ ..	50
4.1 Структура системи управління	50
4.2 Вибір давачів.....	51
4.3 Вибір виконуючих механізмів	64

4.4	Вибір способу управління двигуном конвеєра.....	64
4.5	Вибір комплексного перетворювача	65
4.6	Вибір засобів автоматизації.....	67
	ВИСНОВКИ.....	73
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	74

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом;

ЕП – електропривод;

ДПС – двигун постійного струму;

АД – асинхронний двигун;

ДССК – давач сходу стрічки конвеєра;

КВПіА – контрольно-вимірювальні прилади і автоматика;

ЛМІ – людино-машинний інтерфейс;

ПЛК – програмований логічний контролер;

ПК – промисловий комп'ютер.

ВСТУП

Автоматизація виробництва - одне з головних напрямків технічного прогресу. Автоматизація зумовлює виконання тих чи інших процесів без безпосередньої участі людини. Автоматизованим може бути дуже простий процес, як наприклад, автоматичне підтримання температури в приміщенні, так і дуже складний, коли, наприклад, відбувається автоматичне управління літаком, автомобілем.

Розвиток автоматизації виробництва є закономірним продовженням механізації виробничих процесів. Автоматизація дозволяє значно збільшити продуктивність обладнання, покращити якість виготовленої продукції, знизити собівартість та відсоток браку. Також завдяки автоматизації поліпшується та підвищується безпека та санітарний стан роботи.

Основною особливістю автоматизації є її вплив на технології й виробниче обладнання. Наразі, створення нового обладнання виконується комплексно. Технологічні процеси та обладнання проектується з максимальною автоматизацією, що дозволяє підвищити економічність та надійність устаткування.

Технічний прогрес в народному господарстві тісно пов'язаний з автоматизацією. Автоматичне управління широко застосовується і в хлібопекарському виробництві. Сучасні хлібопекарські печі - це повністю автоматизовані установки, де оператор лише задає на початкові параметри і стежить за справністю апаратури, а всі операції виконуються засобами автоматичної системи управління. АСУ хлібопекарськими печами виконують безперервний моніторинг та регулювання параметрів печі, таких як температура пекарної камери, тяга в топці, а також швидкість руху стрічкового конвєсера крізь піч, що забезпечує високу якість виготовленої продукції. Важливу роль відіграє також висока безпека експлуатації печі, особливо це стосується печей, що працюють на газу, адже в більшості нещасних випадків на виробництві головну роль відіграє людський фактор.

Розділ 1 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

1.1 Опис технологічного процесу

Випікання є заключним етапом перетворення заготівки тіста в хлібобулочний виріб, придатний для споживання. Саме на цьому етапі остаточно формується об'єм виробу, та закріплюється його форма, утворюється скоринка і м'якушка, поверхня набуває привабливого забарвлення, формується смак і аромат.

Перетворення заготовки тіста у придатний для споживання виріб пов'язані з теплофізичними, мікробіологічними, колоїдними, біохімічними та хімічними процесами, що відбуваються у ній під час випікання. В основі всіх процесів лежать фізичні явища - прогрівання тіста, що викликає зовнішній вологообмін між тістом і пароповітряним середовищем пекарної камери, і внутрішній тепло-, масообмін в тісті.

На початковому етапі випікання мас тіста трохи збільшується. Це обумовлене поглинанням вологи в результаті конденсації водяної пари з пекарної камери. Після припинення конденсації починається процес формування сухої скоринки, обумовлене випаровуванням вологи з прогрітої до 100 °C поверхні. При утворенні скоринки частина вологи (близько 50%) переходить в м'якуш, оскільки волога при нагріванні різних продуктів завжди передається від більш нагрітих ділянок (Скоринки) до менш нагрітих (М'якушу). Внаслідок цього вміст вологи в м'якуші гарячого хліба на 1,5 ... 2,5% більший ніж вміст вологи в тісті. Зневоднена скоринка прогрівається в процесі випічки до 160-180 °C, а температура в центрі м'якушки піднімається до 95-97 °C. Вище цієї температури М'якуш не прогрівається через його високу вологість (45-50%).

Режим випікання визначається тривалістю процесу, температурними режимами в різних зонах пічної камери та ступенем зволоження її середовища. Тривалість процесу в основному залежить від маси заготівки, проте не менш важливими критеріями є вид виробу, якість тіста, властивості борошна та конструкція печі. Для дрібноштучних виробів тривалість випікання коливається від 8 до 12 хвилин, а для житнього хліба масою масою 1 кг може становити до 80 хвилин. Для більшості пшеничних і житніх виробів режим випікання проходить в три етапи.

Перший етап відбувається при високій відносній вологості (понад 80%) і порівняно низькій температурі пароповітряного середовища пічної камери (110-120°C). Основна кількість тепла (80-85%) передається тістовій заготівці шляхом випромінювання від нагрітих до 300-400°C стінок і склепіння пекарної камери, решта — конвекцією від пароповітряного середовища пекарної камери, що прогріте до 220-280°C, а також кондукцією (теплопровідністю) від поду печі, нагрітого до 180-200°C.

У процесі випікання тістова заготівка прогрівається не одночасно по всій масі, а поступово від поверхневого шару до центра. По мірі прогрівання зміна температури відбувається пошарово, тому процеси перетворення тіста в хліб також відбуваються пошарово, — спочатку в зовнішніх, потім у внутрішніх шарах тістової заготівки.

Тістова заготовка, посаджена в нагріту пекарну камеру, спочатку має досить низьку температуру, її температура після вистоювання близька до 35-37 °С, в результаті чого починає швидко прогріватись. Оскільки її температура набагато нижче за температуру середовища пекарної камери, на поверхні заготівки починається конденсація пари з оточуючого пароповітряного середовища. Процес прогрівання тістової заготівки прискорюється, завдяки прихованій теплоті пароутворення. Після того, як температура поверхні досягає 100°С, процес конденсації пари припиняється і починається випаровування вологи з її поверхні, а температура продовжує рости. Унаслідок випаровування вологи поверхневий шар зневоднюється і при температурі 105-115°С відбувається процес формування скоринки. Цей процес відбувається протягом перших 3-5 хвилин, а температура в центральних шарах тістової заготівки підвищується дуже незначно, навідміну від нижньої поверхні тістової заготівки, яка прогрівається шляхом контакту з гарячим подом печі.

За цей час тістова заготовка значно збільшується в об'ємі. В кінці першого періоду необхідне інтенсивне підведення тепла для підвищення температури до 240-280 °С. Другий період протікає при високій температурі і дещо зниженій відносній вологості середовища пічної камери. При цьому утворюється кірка, закріплюється обсяг і форма виробу. У третьому періоді випічка завершується; цей період характеризується менш інтенсивним підведенням тепла (180 °С), що веде за собою зниження упіку.

Під час прогрівання тістової заготівки, втрата вологи відбувається з різною швидкістю. У період інтенсивного прогрівання спостерігається спочатку швидкого випаровування вологи з поверхні заготівки, а потім відбувається зниження швидкості випаровування, обумовлене випаровуванням з макро- і мікрокапілярів, а також адсорбційно зв'язаної вологи поверхневих шарів тістової заготівки.

Інтенсивність випаровування вологи ще більше знижується після утворення міцної скоринки, яка фіксує об'єм тістової заготівки, швидкість випаровування стає постійною. В цей період випаровується волога, яка надходить в зону випаровування внаслідок концентраційного переміщення з шарів центральної частини тістової заготівки.

Зважаючи на втрати тістовою заготовкою вологи під час випікання на утворення скоринки, для забезпечення вологості виробів, передбаченої нормативною документацією, вологість тіста, з якого виготовляється тістова заготовка, має перевищувати нормативну вологість хліба з пшеничного борошна на 0,5-0,7 %, а житнього — на 0,7— 1,0 %.

1.2 Конструкція хлібопекарської печі тунельного типу

Печі є основним технологічним обладнанням хлібопекарського виробництва, призначення якого - забезпечити вироблення високоякісної продукції при дотриманні всіх техніко-економічних показників роботи (дотримання температурних режимів, паронасиченість середовища, палива, електроенергії і ін.). Смак, аромат і зовнішній вигляд хліба і булочних виробів в значній мірі залежать від конструктивних переваг пічного агрегату, роботи окремих вузлів і правильної експлуатації печі. Вони класифікуються за низкою ознак:

1. Технологічна ознака, що визначає асортимент продукції. За цією ознакою печі бувають універсальні (для вироблення широкого асортименту хлібобулочних виробів) і спеціальні (для виробництва одного або декількох сортів виробів).

2. Спосіб обігріву пекарної камери. За цією ознакою печі підрозділяють на каналні, в яких тепло в пекарню камеру передається від продуктів згорання випромінюванням через стінки каналів (вони найбільш поширені); з пароводяним обігрівом і передачею тепла через стінки нагрівальних трубок; обігрівом пекарної камери паром високого тиску, що рухаються по паропроводах; з газовим обігрівом, в яких газ спалюється в пекарної камері; електричні та інші.

3. Конструкція поду. Найпоширенішими є печі з конвеєрним подом, виконаним у вигляді металевої сітки (стрічкової) або у вигляді ланцюгових конвеєрів з підвішеними до ланцюгів люльками-подами.

4. Конструкція пекарної камери. Печі за цією ознакою поділяються на тупикові, в яких посадка тістових заготовок і вивантаження хліба йде з одного боку, і наскрізні (тунельні), в яких ці операції здійснюються з різних сторін печі.

5. Площа поду. В залежності від площі поду розрізняють печі малої продуктивності (площа до 10 м²), середньої (площа до 25 м²) і великий (площа поду понад 25 м²).

На хлібозаводах широко використовуються конвеєрні тупикові печі, на яких можна випікати практично всі види продукції. Але недоліком їх є те, що їх важко встановлювати в автоматичні і потокові лінії. Найпоширенішим типом хлібопекарської печі останнім часом набувають печі тунельного типу. Обігрів тунельних печей здійснюється за допомогою газоподібного або рідкого палива, або за допомогою електричних нагрівальних елементів, розташованих зверху та знизу пічної камери. Піч встановлюється між агрегатом для кінцевого вистоювання тістових заготовок і обладнанням для транспортування готових виробів до агрегатів укладання або розфасовки. Піч може бути використана в механізованих лініях для виробництва хліба та хлібобулочних виробів з автоматичною посадкою або як самостійний агрегат.

Тунельні печі призначені для випікання широкого асортименту хлібобулочних виробів в потоковому режимі, широко використовуються великими підприємствами для виготовлення хліба,

печива, булочок і багато чого іншого. Хліб або кондитерські вироби укладається прямо на під-транспортер, задається швидкість транспортера і температура випічки. Рухаючись всередині печі, здійснюється поступове випікання виробів, на виході виходить готова продукція, яку можна направляти на упаковку. Швидкість руху транспортера залежить від режиму приготування. При цьому передбачені автономні зони (як правило 3), де можна створювати різні температурні режими. Такий тип печей, як правило, використовується великими підприємствами, хлібопекарними комбінатами.

У якості виробничої установки будемо використовувати піч марки БН. Ця піч призначена для випічки широкого асортименту хлібобулочних виробів і входить до складу механізованих і комплексно-механізованих ліній.

Піч складається з пекарної камери прохідного (тунельного) типу, системи рециркуляційного обігріву пекарної камери, пристрою для парозволоження середовища пекарної камери, системи відводу пароповітряної суміші з пекарної камери, каркаса, зовнішньої обшивки і ізоляції, приводної і натяжної станцій конвеєра печі, контрольно-вимірювальних приладів і системи автоматики.

Пекарна камера представляє собою прямолінійний горизонтальний тунель. Верхня і нижня стінки пекарної камери представляє собою «тепловіддаючі стінки газових каналів обігріву камери». Тістові заготовки переміщуються по петалевій сітці конвеєрного поду, розташованого безпосередньо біля нижньої стінки пекарної камери.

Привідний електропривід конвеєрної лінії печі розташований з боку вивантаження. Електропривід виконаний у вигляді трьохшвидкісного електродвигуна, частота обертання якого може складати 750, 1500 і 3000 об/хв, сполученого клиноремінною передачею з редуктором, обертання від якого передається безпосередньо приводному барабану. При частоті обертання двигуна 3000 об/хв за допомогою перетворювача частоти можна змінювати тривалість випікання в межах від 5 до 17 хв, при частоті обертання 1500 об/хв - в межах від 17 до 35хв, а при частоті обертання 750 об/хв в межах від 35 до 105 хв.

З боку завантаження печі розташований система натягу сітки конвеєра, яка складається з барабана, для натяга, і гвинтового пристрою для його переміщення. З боку виходу розташований також вантажний натягувач.

Для зволоження поверхні тістових заготовок в початковій ділянці пекарної камери розміщений парозволожувач. Надлишкова пара видаляється з пекарної камери, примикаючими патрубками з заслінками, і вентиляційною системою, яка складається з витяжного вентилятора, встановленого над верхньою стінкою печі, та вентиляційних трубопроводів.

Обігрів пічної камери відбувається за рахунок невисоких (50мм) металевих каналів, розташованих по всій ширині та довжині пічної камери.

Всі газоходи печі герметичні і знаходяться під розрядження, створюваним рециркуляційними вентиляторами.

Піч складається з трьох незалежних газових зон: «зона 1», «зона 2» і «зона 3». Газовий зона «зона 1» призначена для обігріву вхідної ділянки пекарної камери з відносно невисокою температурою та високою вологістю, «зона 2» – середню ділянку з дуже високою температурою і «зона 3» обслуговую вихідну ділянку з помірною температурою.

У хлібопекарських печах ПХС застосовується система рециркуляційного обігріву, що працює в такий спосіб:

Димові гази охолоджуються до температури 200-300 °С та надходять з каналів у всмоктувальний вентилятор. Після проходження нагнітального вентилятора димові гази розділяються, та частково видаляються в димову трубу, інша ж частина яких повертається (рециркулює) для обігріву печі. Рециркуляційні гази за допомогою вентилятора потрапляють в топкові пристрої – муфеля температура в яких сягає 1500 °С. Охолоджені гази підігріваються в муфелі, змішуються в них з гарячими газами і знову спрямовуються в канали для обігріву пекарної камери.

З камери змішання по газоходу гази потрапляють в верхні і нижні транспортні канали, з яких потрапляють в канали обігріву пекарної камери. З каналів обігріву охолоджені гази відводяться всмоктуючим вентилятором раціркуляції. Цикл замикається. Для обігріву інших ділянок пекарної камери використовується другий контур обігріву. Гази з камери змішування другого контуру, надходять в транспортують канали, що доставляють гази в канали обігріву. У якості палива для муфельів печі ПХС може біти використане дизельне, моторне, або газове паливо. Спалювання відбувається контрольовано та автоматизовано.

Система опалення печі обладнана запобіжними клапанами. Для уникнення можливого вибуху незгорілих газів, залишених в газоходах печі після виключення пальника, перед черговим розпалом пальників рециркуляційним вентилятором відбувається продувка газового тракту новим повітрям. Під час продування повітря затягується рециркуляційними вентиляторами через газоходи для продувки. Пройшовши по газоходу і робочому каналу, повітря видаляється в повітровиводи.

Обшивка печі виконана з листів металу. Між обшивкою і гарячими елементами печі (печною камерою, гріючими каналами і ін.) прокладений теплоізолятор виготовлений зі скла або шлаковати.

Завдяки цьому, рециркуляційні печі марки ПХС, мають такі переваги: повністю металева піч; ізольована пекарна камера шаром товщиною від 300 до 400мм; розігрів печі триває близько 2-3ч.

Застосування рециркуляційного обігріву в тунельних пекарних камерах печі дозволяє реалізувати повністю регульований та контрольований температурний режим по всій довжині пічної камери. У якості обігрівача використовується інжекторний чотирьох сопельний пальник середнього тиску. Дані пальники характеризується попереднім змішуванням газу з повітрям. Ці

пальники забезпечують високу якість газоповітряної суміші, яка в високотемпературному факелі. Серед основних переваг інжекторних пальників можна виділити те, що в них газ високого тиску підсмоктує повітря, а при зміні тиску зберігається співвідношення газ-повітря. Отже, використання системи регулювання подачі повітря не є необхідним.

Основними характеристиками нормальної роботи печі є розрядження в топках і температура газів «від топок». Розрядження в топках регулюється за допомогою шиберів, які встановлені в витяжних трубах. На протязі всієї роботи печі розрядження має бути незмінним та залишатися в межах 6-8мм. вод. ст. Якщо розрядження не може бути встановлене в даному діапазоні, то це може свідчити про не щільності в системі обігріву або про великий опір в димовій трубі або відводах. Температура газів наз топок вимірюється на виході муфелей топки і не повинна перевищувати 550 °С. Перевищення даної температури говорить про не щільності в системі обігріву.

Розділ 2 ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ АНАЛІЗ

2.1 Функціональні задачі

Система автоматизації забезпечує:

- Автоматичний вимір і запис значень температур середовища пекарної камери в трьох зонах випічки і відпрацьованих газів на виході з муфеля;
- Автоматичну стабілізацію температур середовища пекарної камери в трьох зонах випічки;
- Регулювання співвідношення газ – повітря;
- Захист і оповіщення з припиненням подачі газу:
 - а) при згасанні факела в муфелі;
 - б) при відхиленні розрідження в муфелі від норми;
 - в) при зниженні тиску газу;
 - г) при підвищенні температури газу на виході з муфеля вище норми;
 - д) при відсутності рециркуляції газів;
 - е) при зниженні тиску вторинного повітря;
- оповіщення:
 - а) про зрушення сітки конвеєра;
 - б) про продування газоходів і його закінчення;
 - в) про невдале розпалювання;
 - г) про роботу електроприводів вентиляторів і конвеєра печі.
- Підготовку і передачу результатів обробки інформації на різні рівні ієрархії.

Основні задачі системи автоматизації:

- Забезпечення стабілізацію температур середовища пекарної камери в трьох зонах випічки;
- Забезпечення антипомпажного режиму.
- Підвищення якості ведення технологічного процесу і його безпеки;
- Підвищення оперативності дій обслуговуючого персоналу;
- Підвищення надійності системи управління об'єктами.

Система контролю і управління (АСУ ТП) повинна забезпечувати наступні функції:

- Дистанційний контроль технологічних параметрів;
- Дистанційне і автоматичне керування температурою в трьохзонній пекарній камері;
- Дистанційний контроль стану електроприводів конвеєра та вентиляторів;
- Захист технологічних апаратів від перегріву;
- Виявлення відмов обладнання;

- Контроль довибухонебезпечних концентрації газу;
- Оповіщення персоналу про зміну стану технологічного обладнання і аварійних ситуаціях.

2.2 Розробка схеми інформаційно-матеріальних потоків

Дослідивши функціональні завдання автоматизації АСУТП відповідно до технічного завдання, а також, відповідні галузеві та державні стандарти для визначення норм контролюваних параметрів в системі, розробимо схему інформаційно-матеріальних потоків. Схема інформаційно-матеріальних потоків представлена на Рисунок 2.1.

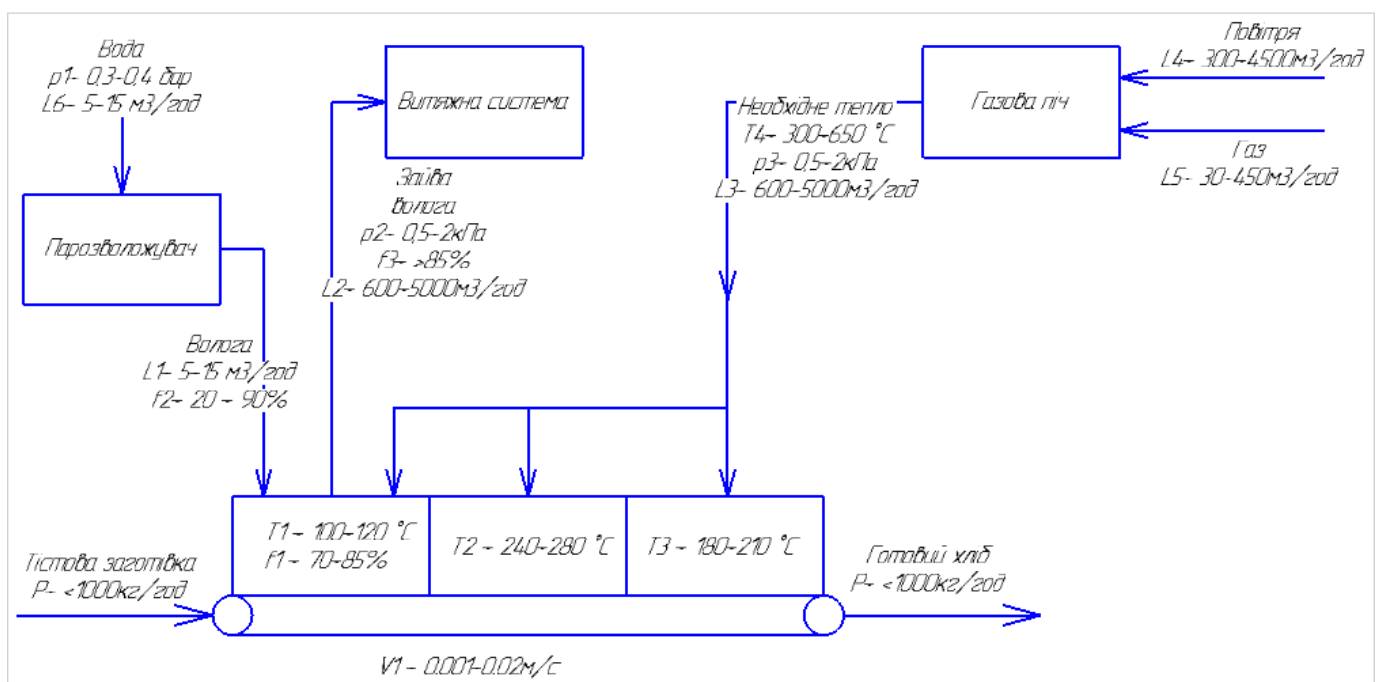


Рисунок 2.1 – Схема інформаційно-матеріальних потоків

2.3 Розробка функціональної схеми автоматизації

На підставі представлених функціональних задач та розробленої схеми інформаційно-матеріальних потоків, розробимо функціональну схему автоматизації.

Функціональною схемою автоматизації хлібопекарської печі передбачено п'ять контурів контролю та регулювання температури по зонах пекарної камери, вологості в першій зоні пекарної камери, роботи газового пальника, а також корекція часу випічки за рахунок зміни швидкості конвеєра.

2.3.1 Контур подачі газу/повітря до газового пальника

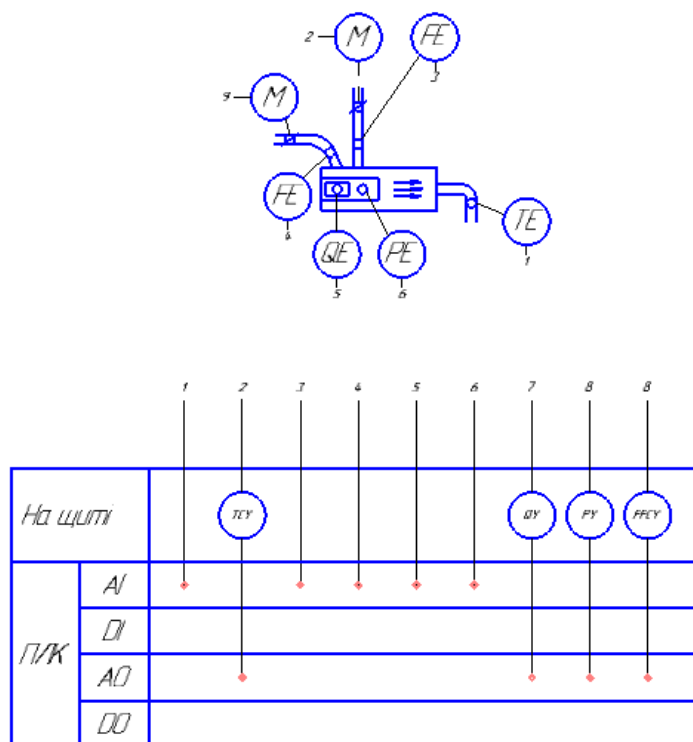


Рисунок 2.2 – Контур подачі газу/повітря до газового пальника

Оскільки при повному згорянні палива існує однозначний зв'язок між коефіцієнтом витрати повітря і вмістом кисню в продуктах згорання, то в цьому випадку в блоці QY передбачають датчик процентного вмісту кисню і відбувається безперервне порівняння поточного значення вмісту кисню з заданим. При появі відхилення поточного значення від заданого виробляється коригувальний сигнал, що змінює завдання на регуляторі співвідношення. Закон формування коригуючого сигналу як всякого керуючого впливу визначають на основі вивчення статичних і динамічних характеристик контура регулювання. При неповному згорянні палива блок QY здійснює автоматичний безперервний розрахунок величини коефіцієнта витрати повітря і має датчик величини α . Ставлення поточного значення α від заданого супроводжується появою коригуючого сигналу. Задаються значення вмісту кисню або коефіцієнта α , відповідні найкращими умовами спалювання палива, залежать від конструкції і режиму роботи агрегату і визначаються попередніми технологічними випробуваннями.

Збурення, пов'язані зі змінами витрати палива, компенсуються регулятором співвідношення FFCY. Якщо ж, наприклад, через прогар рекуператора збільшаться втрати повітря в димовому тракті, то це викличе зменшення фактичних витрат повітря, що подається до пальників, і відхилення вмісту кисню в продуктах згорання від заданого значення. Коригувальний блок QY подасть команду на збільшення завдання регулятора FFCY для того, щоб компенсувати втрати повітря в

рекуператорі. Аналогічно система спрацює і при інших збуреннях, пов'язаних з відхиленнями фактичного коефіцієнта витрати повітря від заданого. При такій побудові система регулювання є двоконтурною, так як включає в себе контур регулювання співвідношення і коригувальний контур. В принципі завдання стабілізації вмісту кисню в продуктах згоряння або коефіцієнта витрати повітря можна було б вирішити, використовуючи одноконтурну систему регулювання, яка складалася б з датчика-газоаналізатора, регулятора повітря і виконавчого механізму при повітряному клапані. При відхиленні умов спалювання палива від заданих регулятор відповідним чином керував би витратою повітря. У такій системі був би відсутній регулятор співвідношення. Однак таким чином системи пропорціонування не виконують, так як вони мали б погані динамічні якості через великі запізнені по тракту печі і особливо в системі газового аналізу. Великі запізнення в одержанні інформації про умови спалювання палива неминуче призвели б до поганої якості регулювання при компенсації різких збурень, пов'язаних зі змінами витрати палива. Двоконтурна система позбавлена цього недоліку, так як контур регулювання співвідношення отримує інформацію про справжню витрату палива від витратоміра з невеликим запізненням і регулятор співвідношення швидко компенсує відхилення в пропорціонуванні повітря, викликані коливаннями в витраті палива. Коригувальний контур компенсує всі інші обурення, які викликають помилки в пропорціонуванні і про які згадувалося раніше. Таким чином, двоконтурна система регулювання співвідношення паливо - повітря зберігає хороші динамічні властивості і забезпечує якісне пропорціонування палива-повітря.

2.3.2 Контур регулювання роботи конвеєра

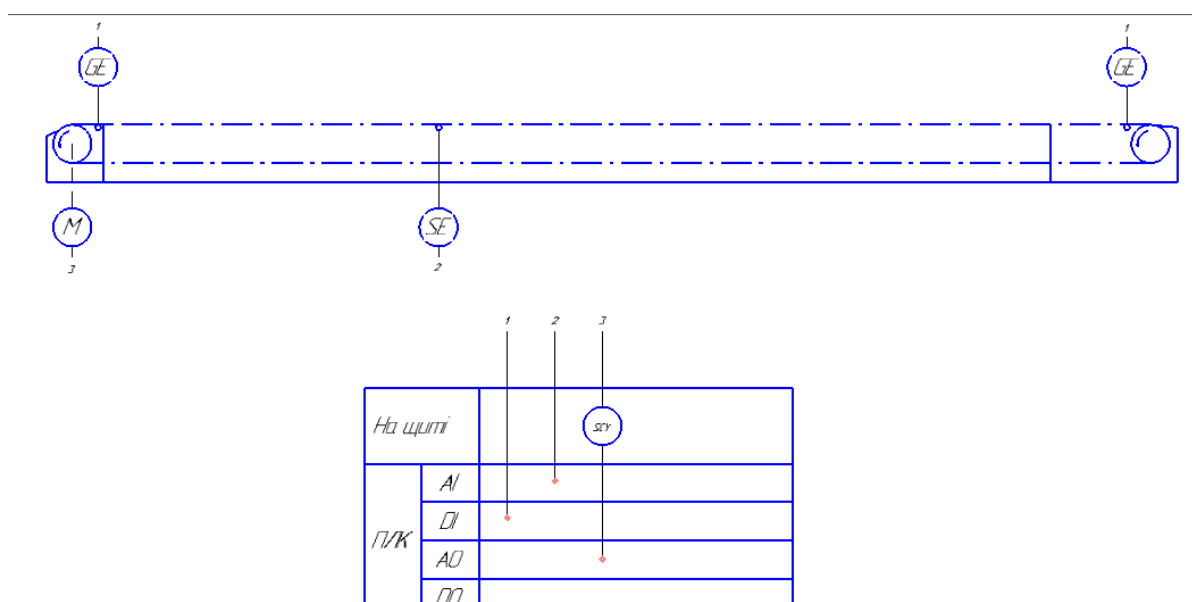


Рисунок 2.3 – Контур регулювання роботи конвеєра

Автоматизація конвеєрів проводиться за двома основними схемами: дистанційне керування, при якому автоматизуються тільки пуск і зупинка конвеєра; автоматизований контроль за роботою конвеєра і його елементів, при якому приводні двигуни автоматично відключаються при порушенні режиму роботи конвеєра або його окремих елементів.

Для контролю роботи конвеєра встановлюють ряд датчів. Зупинка стрічки, поперечний її розрив і пробуксовка на приводі контролюються датчем швидкості, який встановлюють у приводній головці так, щоб ролик датчика стикався зі стрічкою по її чистій стороні. Датч являє собою тахогенератор, ролик якого притиснутий пружиною до стрічки. При обертанні ролика тахогенератор виробляє струм з певними параметрами, які змінюються при зміні швидкості стрічки. Це слугує джерелом сигналу SE для регулятора швидкості SCY, який, в свою чергу, подає коригувальний сигнал на перетворювач частоти (ПЧ) для асинхронного двигуна. Датчі контролю сходу стрічки GE встановлюють по обидва боки стрічки у приводній і натяжній головці та контролює її стан і при аварійному сході стрічки в бік подає сигнал.

2.3.3 Контур регулювання вологості в першій зоні пекарної камери

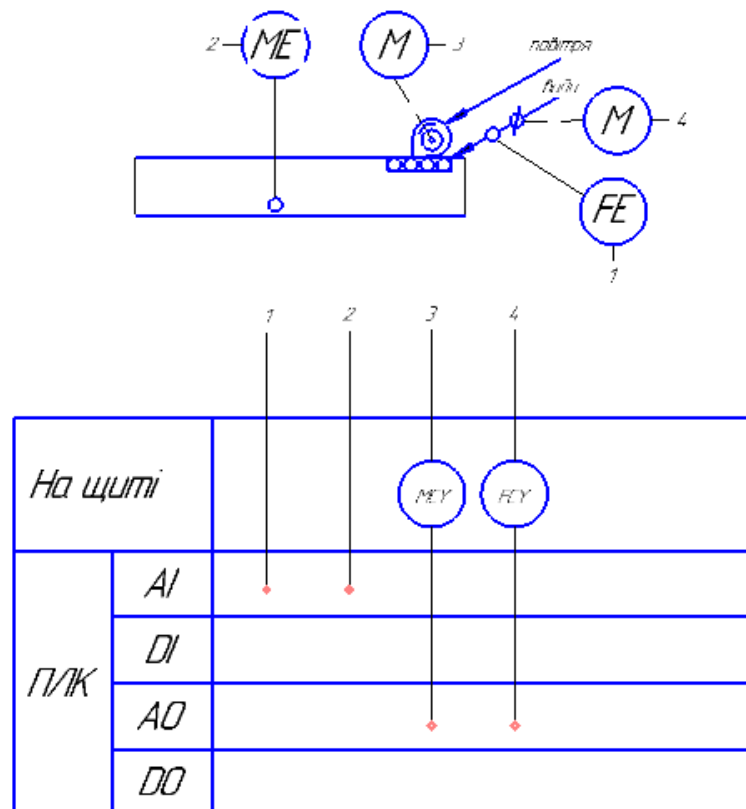


Рисунок 2.4 – Контур регулювання вологості в першій зоні пекарної камери

Контроль вологості в першій зоні пекарної камери відбувається за рахунок датча вологості ME. Регулювання вологості можливе за трьома принципами: вентиляція без використання

додаткових парозволожувальних агрегатів, використання парозволожувачів, які встановлюються безпосередньо в пекарній камері, та комбінований метод. Використання тільки вентиляції виправдовує себе в місцях де вологість не має перевищувати певний рівень, наприклад, в зерносховищах. Використання тільки парозволожувального агрегату виправдано при дотриманні технічного процесу з дуже високою вологістю, без необхідності її зменшення. Комбінований же метод слід використовувати при дотриманні жорстких меж вологості технологічного процесу. В нашому випадку доцільніше використовувати метод з використанням парозволожувального агрегату. Інтенсивність розпилення регулюється за рахунок регулюючого сигналу МСУ, що подається на розпилюючий вентилятор парозволожувача. Для коректної роботи парозволожувача необхідно забезпечити подачу води певного тиску. Для цього використовуватимемо датчик тиску РЕ та заслінку, регулюючим сигналом якої слугуватиме РСУ.

2.3.4 Контур регулювання роботи витяжної системи

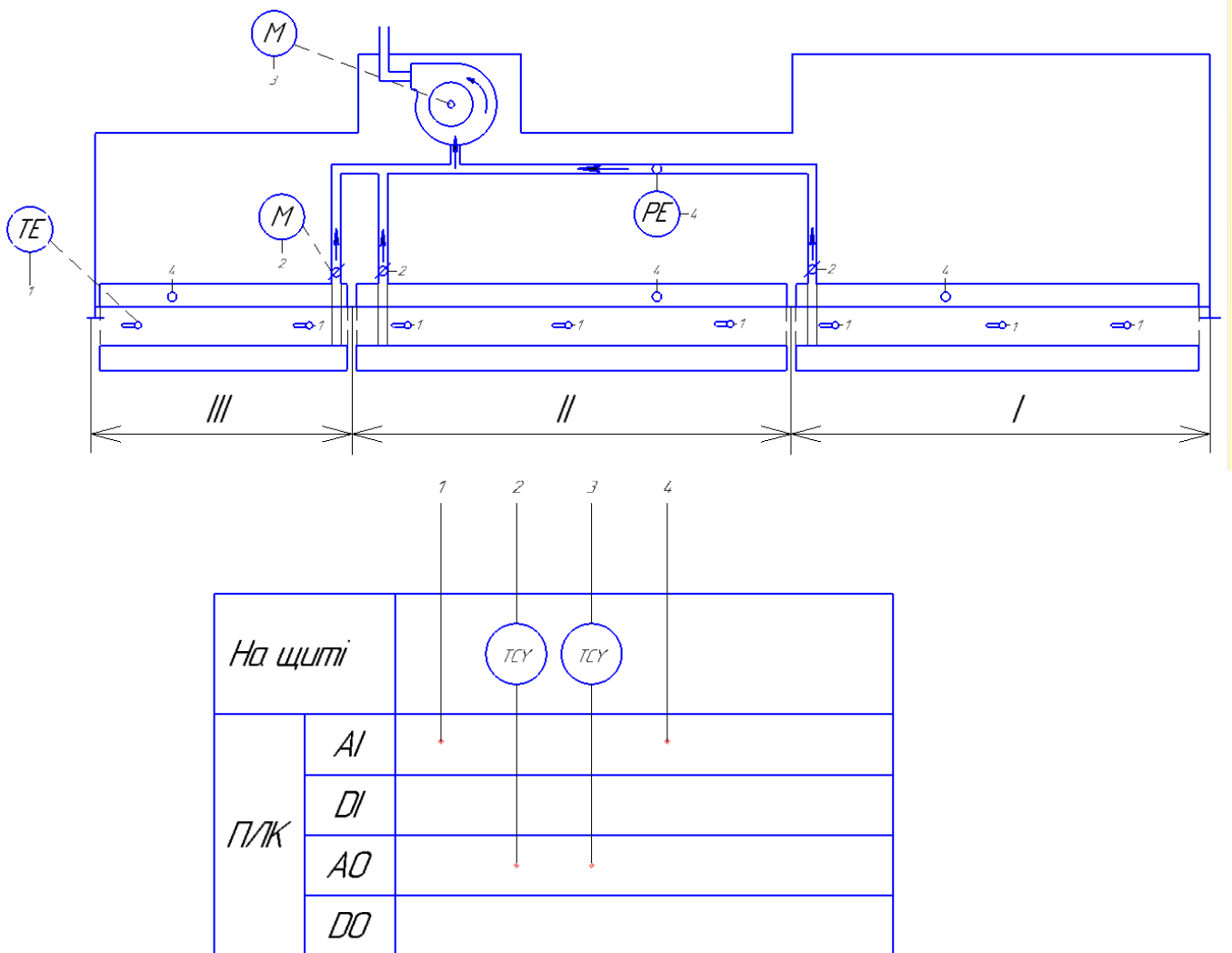


Рисунок 2.5 – Контур регулювання витяжної системи

Витяжна система забезпечує видалення гарячих газів з обігрівної камери, через стінки якої тепло передається до пекарної камери, на підставі інформації отриманої від датчиків температури ТЕ, встановлених безпосередньо в пічній камері. Видалені гази можуть використовуватися на інших об'єктах підприємства, наприклад, для опалення службових приміщень, або для обігріву зони відстоювання тістових заготовок.

Видалення газів відбувається за рахунок витяжного вентилятора, керуєтим сигналом ТСУ якого слугує перетворювач частоти ПЧ, під'єднаним, безпосередньо, до ПЛК. Видалення газу відбувається тільки з камери із перевищеною температурою за рахунок відкриття відповідних заслінок вентиляційних каналів, кожної окремої камери обігріву, на підставі керуючого сигналу ТСУ. Також, витяжна система контролює параметри тиску в витяжному каналі та камерах обігріву за допомогою датчиків тиску РЕ.

2.3.5 Контур регулювання роботи системи обігріву

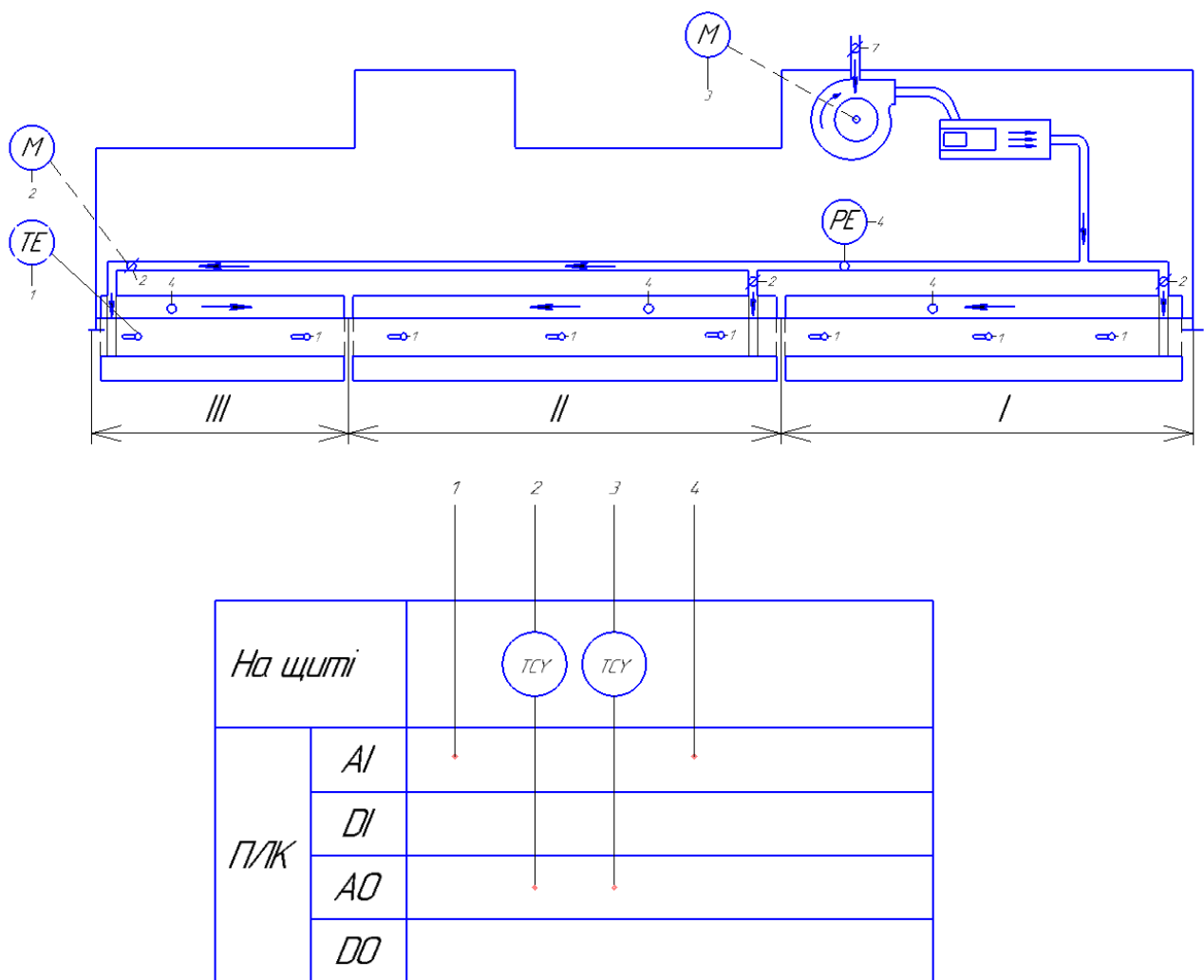


Рисунок 2.6 – Контур регулювання системи обігріву

Система обігріву надходження повітря до камери згоряння, та транспортування занадто гарячих газів з камери згоряння до обігрівної камери, через стінки якої тепло передається до пекарної камери, на підставі інформації отриманої від датчиків температури ТЕ, встановлених безпосередньо в пічній камері. Гарячі гази створюються за рахунок процесу горіння, що відбувається в камері згоряння.

Подача газів відбувається за рахунок витяжного вентилятора, керує сигналом ТСУ якого слугує перетворювач частоти ПЧ, під'єднаним, безпосередньо, до ПЛК. подача газу відбувається тільки до камери із низькою температурою за рахунок відкриття відповідних заслінок транспортувальних каналів, кожної окремої камери обігріву, на підставі керуючого сигналу ТСУ. Також, система обігріву контролює параметри тиску в каналі транспортування та камерах обігріву за допомогою датчиків тиску РЕ.

2.4 Таблиця вх/вих сигналів

На підставі розробленої функціональної схеми автоматизації складемо таблицю вхідних-вихідних сигналів. Таблиця вхідних та вихідних сигналів наведена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Вхідні та вихідні сигнали.

№	Опис	Діапазон	Тип виходу
1	Схід стрічки конвеєра	0,1	Цифровий вхід
2	Швидкість руху конвеєрної стрічки	0...5м/с	Аналоговий вхід
3	Зміна частоти обертання двигуна конвеєра	0...500Гц	Цифровий вихід
4	Температура в пекарній камері	0...300 °С	Аналоговий вхід
5	Зміна положення клапанів витяжної системи	0...100%	Аналоговий вихід
6	Зміна частоти обертання двигуна витяжного вентилятора	0...500Гц	Цифровий вихід

Продовження таблиці 2.1

№	Опис	Діапазон	Тип виходу
7	Тиск в витяжній системі	0...2МПа	Аналоговий вхід
8	Зміна положення клапанів системи обігріву	0...100%	Аналоговий вихід
9	Зміна частоти обертання двигуна вентилятора обігріву	0...500Гц	Цифровий вихід
10	Тиск в системі обігріву	0...2МПа	Аналоговий вхід
11	Температура в ситемі обігріву	0...650 °С	Аналоговий вхід
12	Зміна положення клапану подачі газу до муфеля	0...100%	Аналоговий вихід
13	Витрата газу, що подається	0...500м ³ /год	Аналоговий вхід
14	Витрата повітря, що подається до муфеля	0...5000м ³ /год	Аналоговий вхід
15	Концентрація кисню в муфелі	0...60%	Аналоговий вхід
16	Контроль тиску в муфелі	0...4МПа	Аналоговий вхід

Продовження таблиці 2.1

№	Опис	Діапазон	Тип виходу
17	Зміна положення клапану подачі повітря до муфеля	0...100%	Аналоговий вихід
18	Вологість в І-й зоні пекарної камери	0...90%	Аналоговий вхід
19	Витрата води, що подається до парозволожувача	5...15м ³ /год	Аналоговий вхід
20	Витрата повітря, що подається до парозволожувача	0...500 м ³ /год	Аналоговий вхід
21	Зміна частоти парозволожувача	0...500 Гц	Цифровий вихід
22	Зміна положення клапана подачі води до парозволожувача	0...100%	Аналоговий вихід
23	Зміна частоти обертання паровитягуючого вентилятора	0...500Гц	Аналоговий вихід

Розділ 3 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

Проаналізувавши функціональну схему автоматизації запинимося детальніше на контурі регулювання роботи конвеєра. Цей контур являється одним з найважливіших в роботі всієї системи, оскільки вид продукції, що випускається, напряму залежить від часу випікання. Розширення діапазону та плавності регулювання швидкості, стабільність підтримання задної швидкості забезпечить значне підвищення якості виготовленої продукції, універсальність виготовленої продукції. Також за допомогою конвеєру можливо забезпечити адаптувати параметри під час роботи установки, що дозволить більш ефективно використовувати енергетичні ресурси. Результати цього дослідження можуть бути використані в проектуванні інших установок, які побудовані на базі конвеєру, а це майже будь-яка автоматизована лінія.

Конвеєри - це машини, призначені для переміщення безперервним або майже безперервним потоком масових сипучих, кускових або легких штучних вантажів без зупинок для завантаження і розвантаження. Конвеєри складають одну з найчисельніших і конструктивно різноманітних груп машин безперервного транспорту. Зазвичай конвеєри використовуються як самостійні вантажно-розвантажувальні машини. Однак часто їх використовують в якості складових агрегатів більш складних машин безперервного транспорту.

Механізми безперервної дії відіграють велику роль в промисловості, в першу чергу, завдяки простоті й ефективності їх режиму роботи. Безперервність дії - це, з одного боку, фактор, що забезпечує найбільш високий коефіцієнт корисної дії машин, а з іншого – визначає високу надійність систем електричного приводу і автоматизації процесів роботи, які використовуються в конвеєрах. З цієї причини у випадках, коли є можливість організувати системи безперервно-потокового транспорту, застосування механізмів безперервного дії забезпечує значну економічну ефективність. Конвеєри - більшою мірою поширені механізми безперервного транспорту штучних і сипучих матеріалів. Конвеєри діляться на три групи: ланцюгові, стрічкові і канатні - відповідно до тягових елементів конвеєра.

У даному розділі проведено дослідження електроприводів конвеєрних ліній, а також аналіз математичних моделей. Процес проектування містить стадію визначення зусиль, що виникають в механізмі в процесі роботи. Особливо цікавий процес запуску і розгону механізму, який характеризується найбільш динамічними навантаженнями. Джерелом даних навантажень служить двигун, в якості якого найбільш часто використовується електродвигун. Одночасно з динамічними навантаженнями конструктора цікавить стан електродвигуна і стан його перетворювача, які повинні забезпечувати працездатність механізму в заданому режимі.

3.1 Вибір типу електроприводу

3.1.1 Умови роботи, режими і навантаження конвеєрних установок

Конвеєрні установки широко застосовуються в комплексах безперервної дії на конвеєрному транспорті збагачувальних фабрик на гірських роботах відкритого типу. На рудниках і в вугільних шахтах установки використовуються для того, щоб доставляти корисні копалини з вибою і їх подальшого транспортування по квершлагу, збірним штреку, капітальним, дільничним ухилам, бремсбергами, штольнях і похилих стовбурах. Скребкові і стрічкові конвеєри часто використовуються на заводах мінерально-сировинної комплексу. Умови роботи і продуктивність даних установок можуть бути диференціальними, що впливає на підбір електричного приводу їх систем.

Режим роботи конвеєрних ліній визначено тривалою роботою протягом тривалого проміжку часу через завантаження, транспортування, розвантаження установок в безперервному режимі. Дана обставина має вплив на вибір електродвигуна приводу і його складових елементів. Протягом тривалої роботи процеси зупинки і пуску - рідкісні, саме тому вони не впливають на продуктивність конвеєра.

Підвищивши час пуску, таким чином, можна в значній мірі знизити динамічні навантаження в ланках кінематичного ланцюга конвеєра, не завдаючи, при цьому, шкоди продуктивності. Електричний привід конвеєрної лінії, через постійне напрямку руху, виконують, керуючись нереверсивний схемою управління, що значною спрощує рішення схеми.

Для приводів конвеєрних установок має велике значення щодо складний процес пуску. Це обумовлено тим, що пуск конвеєра здійснюється під навантаженням через наявність на тяговому органі вантажу після аварійної зупинки. Наявність значної пускових струмів протягом тривалого часу обумовлюють необхідність використовувати спеціальні приводні електродвигуни з підвищеною перевантажувальної здатністю для конвеєрних установок.

На статичне навантаження електричного приводу впливає нерівномірна завантаження вантажонесучої гілки конвеєрної лінії. Завантаження стрічкових магістральних конвеєрів, які встановлені в капітальних виробках, залежить від нерівномірних вантажних потоків з видобувних вибоїв, від місця надходження потоків на нього. Внаслідок чого конвеєр, який обраний за максимально можливої приймальні здібності, виявляється значно недовантаженим в процесі експлуатації. Зниження статичного навантаження негативно відбивається на енергетичних характеристиках електричного приводу.

Відбувається енергетичне перерозподіл між витратами на пересування корисного вантажу і тягового органу. Значна частина енергії витрачається на переміщення тягового органу при

підвищенні питомого споживання енергії на пересування корисного вантажу. Поліпшити енергетичні властивості електроприводу конвеєрної установки можна за допомогою регулювання швидкості тягового органу в функції вантажного потоку таким способом, щоб забезпечити завантаження конвеєра в повній мірі. Забезпечення саме такого режиму роботи конвеєрної лінії можливо лише за рахунок регульованого електричного приводу.

При запуску магістральних стрічкових конвеєрів великої довжини нуж- але мати на увазі поширення пружних коливань по довжині тягового органу. Якщо час поширення коливань від приводного елемента до натяжної більше тривалості пуску, то в цьому випадку двигун встигає розвинути швидкість до номінальної, а «хвостовій» кінець тягового органу залишається ще в цей час нерухомим. У той момент, коли пружна хвиля приходить до кінця конвеєра, до хвостовим масам додається імпульс повній швидкості, який викликає пружний удар, який створює чималі динамічні навантаження в тяговому органі конвеєра. Щоб усунути дане явище, пуск довгих конвеєрних установок здійснюється спочатку на зниженій швидкості, в результаті чого відбувається розгін до повної робочої швидкості. Для потужних конвеєрів застосовують багатодвигунні двухбарабанні приводи для того, щоб забезпечити необхідне тягове зусилля, передача якого не може бути забезпечена одним приводним органом. В такому випадку виникає проблема - необхідно забезпечити рівномірний розподіл навантажень між двигунами барабанів і усунути прослизання стрічки. Вирівнювання навантаження, в загальному випадку, в багатодвигунному електроприводі здійснюють, вирівнюючи жорсткості механічних характеристик електродвигунів, які працюють на одну механічну систему. наявність пружного елемента між приводними барабанами - особливість двухбарабаних конвеєрів, що надає сенс особливостям при вирівнюванні навантажень на двигунах приводів. Встановлено, що в даному випадку для вирівнювання навантажень необхідно підтримувати певні співвідношення між моду- лями жорсткості механічних характеристик електродвигунів приводів. не- переривчастим регулюванням, яке забезпечує потрібне співвідношення моду- лей, має здійснюватися забезпечення рівномірності розподілу навантаження електродвигунів. Це можливо тільки в тому випадку, якщо застосовуються системи регульованого електроприводу.

3.1.2 Вимоги до електроприводів і систем управління конвеєрними установками

Для того, щоб визначити основні вимоги, що пред'являються до електроприводів і їх систем управління, з огляду на особливості статичних і динамічних властивостей, необхідно розглянути умови роботи конвеєрних установок. Електричні приводи конвеєрних ліній повинні забезпечити роботу в тривалому режимі без реверсу напрямку руху при змінній навантаженні. У певних випадках, наприклад, таких як робота конвеєрної установки під нахилом, необхідно, щоб електропривод

працював і в руховому, і в гальмівному режимах. Черговість включення і відключення конвеєрів повинна бути забезпечена в разі, якщо вони встановлені послідовно і працюють з перевалкою матеріалу, який транспортується, з одного конвеєра на інший. Відбуватися включення конвеєрів повинно відбуватися в тому напрямку, яке зустрічно грузопотоку, а відключення повинно проходити в напрямку вантажопотоку з метою усунути завали в точках перевантаження. Для конвеєрів, які працюють зі змінним навантаженням протягом тривалого часу - магістральних конвеєрів, вважається виправданим регулювання швидкості тягового органу для того, щоб забезпечити постійну навантаження грузонесучої гілки конвеєрної установки. Це підвищує енергоефективність використання конвеєрів, дозволяє скорочувати пробіг тягового органу, і, отже, збільшувати при цьому ресурси дорогої конвеєрної стрічки. Для багатоприводних же конвеєрів електричний привід повинен забезпечувати вирівнювання навантажень, усунути прослизання стрічки. Для того, щоб обмежити динамічні навантаження, забезпечити надійне зчеплення стрічки з барабаном і вантажу зі стрічкою електричний привід конвеєрних установок, при їх великій довжині особливо, повинен обмежити прискорення при пуску прийнятною величиною і усунути динамічні колебання навантаження. При застосуванні регульованих електроприводів, які забезпечують процес плавного пуску, регулювання швидкості стрічки конвеєрної лінії, обмеження динамічних навантажень і вирівнювання їх між двигунами приводів, найменший діапазон регулювання швидкості - 10:1.

3.1.3 Розташування електроприводів на конвеєрних лініях

Для загального випадку складної конвеєрної траси не вдається однозначно визначити заздалегідь оптимальне розташування електроприводу. Саме тому розглядається кілька можливих варіантів того, як можливо розташувати приводну станцію. При виборі керуються такими умовами. Привід повинен бути встановлений в кінці робочого ділянки. це дозволяє знизити навантаження від підвищеного натягу робочої ділянки на холосту гілку конвеєра. Якщо в конвеєрній лінії присутній не один робочу ділянку, то для того, щоб розглянути один з них, вибирається найбільш складний, на якому наростання натягу - максимальне, а також ділянку, який передує найдовшою холостий гілки. Значно можна зменшити максимальний натяг на робочих ділянках, розташували електропривод в кінці найважчого. Зниження середнього по трасі натягу можливо добитися, розмістивши привід перед найдовшою холостий гілкою. Для конвеєрів, які працюють на спуск вантажів при гальмівному режимі, останній привід встановлюють на початку робочого ділянки у напрямку руху тягового органу. Для протяжних конвеєрних ліній і ліній із значним числом складних робочих ділянок, можливо, виявиться, що, навіть при оптимальному розташуванні приводної станції, на трасі не забезпечується зниження до допустимого рівня максимального

натягу. В даному випадку односекційний конвеєр замінюють багатосекційним, або ж встановлюють на тяговому елементі не одну приводну станцію. Тому, якщо необхідно уточнити місце розташування приводу, слід виконувати розрахунок діаграми натягу, враховуючи опору на ділянках вигину. рішення даної завдання дуже часто коригують, слідуючи конструктивних міркувань.

3.1.4 Особливості вибору електроприводу для конвеєра

Вибір системи приводу залежить, в значній мірі, від кількості приводних барабанів і двигунів. На малюнку 1 показані кінематичні схеми приводів конвеєрних установок. На малюнку 1, а і б представлений одно- барабанний привід «Б» з одним двигуном «Д» і редуктором «Р». відмінність між кінематичними схемами - в тому як розташовується двигун відносно осі конвеєра. Схема, коли двигун розташовується паралельно (Рисунок 1, б) краще, ніж з перпендикулярним розташуванням (Рисунок 1, а), зважаючи на зниження ширини приводного блоку. Дана умова має велике значення в тісних просторах підземних виробок. Для відкритих же просторів ця обставина не грає великої ролі, але, при цьому, дає можливість використовувати найбільш просту конструкцію редуктора, без конічної передачі. На конвеєрних установках середньої потужності застосовують однобарабанний електропривод з двома двигунами (Рисунок 1, в), забезпечують під- шенний ККД зчеплення барабана зі стрічкою.

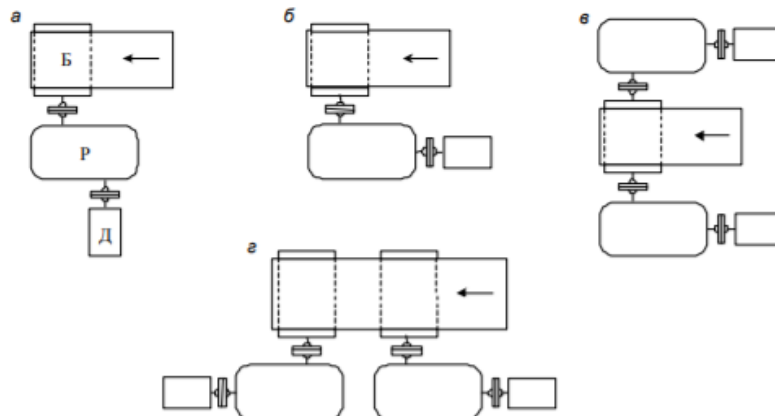


Рисунок 3.1 – Кінематичні схеми привідних блоків конвеєрних установок

На Рисунок 3.1 представлені: а - однобарабанний привід з перпендикулярним розташуванням двигуна; б - однобарабанний привід з паралельним розташуванням двигуна; в-дводвигуновий привід з одним барабаном; г - двохбарабанний дводвигуновий привід. Кілька приводних барабанів мають конвеєрні установки великої потужності, довжини і продуктивності. На Рисунок 3.1г представлений двохбарабанний привід з двома електродвигунами. Приводу з двома барабанами можуть бути обладнані чотирма або трьома двигунами. Переваги двобарабанних приводів пов'язані

зі збільшеним кутом обхвату стрічкою барабанів, однак, слід враховувати те, що дані установки складні в експлуатації і мають дорогу механічну частину, також ускладнюється вирівнювання навантаження приводних двигунів. Забезпечення допустимих умов пуску і розгону тягового органу - основна вимога, що визначає вибір електроприводу конвеєра, за це відповідає електричний привід повинен мати високий пусковий момент, який необхідний для того, щоб подолати статичні зусилля при пуску і задати динамічний момент, який забезпечує необхідну прискорення. Підвищеної при пуску може виявитися значення моменту статичного супротиву, це відбувається через те, що конвеєр зупинений під навантаженням. Внаслідок чого пусковий момент електроприводу конвеєра повинен перевищувати номінальний в 1,5-2 рази. Під час пуску, в той же час, розгін тягового органу до необхідної швидкості повинен бути здійснений плавно, тому що виникають динамічні перевантаження можуть призвести до прослизання стрічки на приводному барабані, а це збільшує, в свою чергу, її знос. З іншого ж боку стрічка - еластичний елемент, з цієї причини передача зусилля буде супроводжуватися її пружним подовженням. Пружне натяг стрічки знизиться в той момент, коли сталої швидкості досягнуто всі ділянки. Повернення енергії, яка запасена в розтягнутій стрічці, може привести до надмірного підвищення швидкості окремих ділянок, у порівнянні з усталеною, і до коливань стрічки. Подібний характер перехідного процесу в тяговому органі викликає збільшений знос стрічки, а в якихось випадках і її розрив. Через це час пуску може доходити до десятків секунд і має бути задано в залежності від довжини конвеєра і продуктивності установки, також повинні бути враховані й інші фактори. Для того, щоб точно визначити тривалість пуску, використовують формулу, в основі якої - залежність динамічного натягу стрічки від відносини тривалості пуску до часу, за яке пружна хвиля натягу поширюється по тяговому органу. за даного методу тривалість пуску розрахункова дорівнює:

$$t = (3 \div 5)L \sqrt{\frac{Q}{v \cdot E_{\text{еф}}}} \quad (3.1)$$

де коефіцієнт 5 відповідає горизонтальним конвеєрів; L - повна довжина конвеєра, м; $E_{\text{еф}}$ - ефективний динамічний модуль пружності, який віднесений до всього перерізу стрічки, кг.

Іноді потрібно регулювати швидкість електроприводів, крім збільшення плавності пуску. Дана вимога може бути обусловлена тим, що термін служби стрічки визначається багато в чому її здатністю витримати певне число перегинів. При проектуванні приводів стрічкових конвеєрів потрібно враховувати дані вимоги і ряд інших. Багато з конвеєрів мають недостатньо жорсткий кінематичний ланцюг, містять пружні механічні ланки, що впливає на вибір типу електропривода і системи управління через необхідність демпфірування механічних коливань при пуску і гальмуванні. У складі конвеєра можуть бути як однодвигунні так і багатодвигунні електроприводи.

В конвеєрах з розосереджених навантаженням застосовують залежно від вимог, що пред'являються до регулювання швидкості і плавності пуску: - асинхронні двигуни з фазним ротором для ліній великої протяженності, щоб забезпечити плавний пуск; - приводи з асинхронними короткозамкненими електродвигунами з високим пусковим моментом. Для приводів, в яких необхідне регулювання швидкості, найбільш зручний у використанні електропривод, побудований за схемою ПЧ-АД, але також можливо і застосування приводів постійного струму за схемою ТП-Д і системи АВК. У багатодвигунових приводах застосовують короткозамкнені асинхронні двигуни з фазним ротором або ж з підвищеним ковзанням для того, щоб отримати сприятливий розподіл навантаження між двигунами. В одному випадку відбувається поліпшення розподілу навантажень між двигунами за рахунок більш м'яких механічних характеристик. В іншому випадку вирівнювання механічних характеристик досягається включенням додаткового опору в ланцюг ротора. Застосування асинхронних електродвигунів з фазним ротором, крім того, допомогло вирішити проблему обмеження пускових струмів і плавності пуску за допомогою тиристорного регулятора струму в ланцюзі ротора або ж многоступінчатого реостатного пуску.

3.1.5 Порівняльний аналіз електроприводів

Вибір типу приводу укладений у визначенні джерела живлення двигуна і роду струму: змінний або постійний. Вибираючи тип електроприводу, ґрунтуються на умови виконання потрібних операцій при мінімальних матеріальних і енергетичних витратах і при максимальній продуктивності. В даний час простежується тенденція переходу від нерегульованого найпростішого приводу до регульованого, який включає в себе напівпровідникові керовані перетворювачі, що дозволяє радикально змінювати властивості системи. Найбільш поширені в наш час: регулювання швидкості за допомогою зміни частоти напруги живлення у асинхронних і синхронних двигунах і за допомогою зміни напруги у двигунів постійного струму. Дані способи можуть бути реалізовані в системах «вентильний керований перетворювач – двигун»: «тиристорний перетворювач напряму - двигун постійного струму» і «тиристорний перетворювач частоти - асинхронний двигун». Ці способи регулювання, в порівнянні з другими методами, мають певні переваги, а саме: - плавність регулювання; - підвищений діапазон регулювання; - можливість регулювати потужність, яка споживається з мережі; - мінімальні і постійні втрати енергії в процесі регулювання;

- можливість більш просто реалізувати оптимальну систему автоматичного укерування. Основна вимога, яка пред'являється до приводних двигунів робочими механізмами - забезпечити задану продуктивність механізму при економічності і належній надійності роботи. Дана вимога забезпечується за умови того, що обраний двигун відповідної потужності. Електродвигуни, в основному, вибираються за такими параметрами:

- вид струму;
- величина напруги;
- частота обертання валу;
- значення і характер навантаження;
- умови навколишнього середовища.

Вибір системи приводу проводиться на основі аналізу технічних даних: діапазону регулювання, способу управління, рівня іносостійкості (ресурсу), діапазону потужностей електроприводів, показників динаміки і енергетики, а також даних, які визначають умови експлуатації приводів. Економічна оцінка ґрунтується на принципі мінімальних витрат, які пов'язані з початковими витратами, витратами енергії і витратами на ремонт. Вибір падає на систему, що володіє кращими економічними показниками. Якщо ж економічні показники систем приблизно однакові, проводиться оцінка по габаритним показникам електрообладнання та умов розміщення. Обрана система приводу повинна максимально задовольняти умовам роботи стрічкового конвеєра, для чого необхідно оптимально використовувати всі наявні ресурси. Найбільше поширення, в даний час, отримали системи приводів змінного струму, унаслідок їх більш високої надійності, ніж у електроприводів по- постійного струму. Розглянемо системи електроприводів, які придатні для механізму.

Розглянемо електроприводи, в яких застосовуються двигуни постійного струму. Система «тиристорний перетворювач - двигун» має хороші масогабаритні показники, високий коефіцієнт корисної дії. Але, в той же час, викликає занепокоєння якість енергоспоживання. Потрібно відзначити те, що тиристорний перетворювач з мережі споживає несинусоїдальний струм, який містить інші гармоніки, крім основної. П'ята гармоніка становить близько 20% від основної, тобто є. Якщо тиристорний перетворювач має потужність, порівнянну з потужністю мережі живлення, то вентиляційний перетворювач викликати спотворення мережі живлення, що неприпустимо. Саме тому в схему необхідно додати фільтр. Якщо вибір зупинений на системі «тиристорний перетворювач - двигун», то можливо поліпшити техніко-економічну ефективність системи, зменшивши необхідну потужність фільтро-компенсуючого пристрою. Електроприводи постійного струму містять двигуни, які коштують значно дорожче, ніж електродвигуни змінного струму. Одночасно з цим для двигуна постійного струму необхідна кваліфікована експлуатація, а при його застосування в важких умовах навколишнього середовища виникають серйозні конструктивні труднощі. Найбільш поширений вид двигуна внаслідок найменших витрат і простоти - короткозамкнений асинхронний електродвигун. Даний вид двигуна застосовується в широкому діапазоні потужностей, від малих до тисяч кіловат. Приводи з частотним керуванням з двигунами змінного струму значно дорожче за вартістю ніж приводи постійного струму, однак даний недолік компенсується конструктивними перевагами асинхронних двигунів. Розглянемо електроприводи, в

яких застосовуються асинхронні двигун. Система «безпосередній перетворювач частоти - асинхронний двигун» застосована в електроприводах великої і середньої потужності, в більшості випадків для здійснення регулювання на знижених швидкостях в підйомно-транспортних машинах. Система «перетворювач частоти з автономним інвертором струму - асинхронний двигун» застосовна до електроприводів з підвищеним вимогами до показників динаміки. Використовується в прокатних станках, насосах. Система «перетворювач частоти з автономним інвертором напруги - асинхронний двигун» застосовна в одиночних і групових приводах у випадках, коли високі показники динаміки не потрібні. Стартова частота при ШІМ (широтно-імпульсної модуляції) вихідної напруги досягає 0,2 Гц в більш кращих моделях. Також слід зазначити частотний спосіб управління. вхідний сигнал електроприводу при даному способі управління формує момент на валу двигуна. Механічні характеристики електроприводу - м'які. Вхідний сигнал комплектує струм, так як залежність функції моменту двигуна змінного струму від значення струму міцніша, ніж від значення напруги. Миттєве значення струму в фазах обмотки повинно відповідати вимогам, висунутим миттєвому значенню струму симетричної багатофазної системи. Відмітна риса приводів з частотним керуванням - застосування перетворювачів енергії, заснованих на підсилювачах струму, що представляють підсилювачі напруги, які охоплені негативним зв'язком по миттєвому значенню струму фаз електродвигуна. В даному випадку фазна напруга двигуна формується автоматично для заданого режиму перетворювачем енергії. Переваги, властиві частотному управлінню:

- можливість оптимально використовувати двигуни для того, щоб отримати високі енергетичні показники і максимальний при заданому струмі момент на валу, при досить нескладних технічних засобах;
- високі динамічні і статичні показники приводу, момент на валу - лінійна функція вхідного сигналу для всього діапазону швидкостей електроприводу;
- можливість перекидання, випадання з синхронізму і хитання двигунів змінного струму виключається;
- підвищена надійність перетворювача енергії за рахунок контролю миттєвих значень фазних струмів електродвигуна.

3.1.6 Системи електроприводів стрічкових конвеєрів

Електроприводи стрічкових конвеєрів виконані на основі асинхронних електродвигунів змінного струму. Найпростішим типом є електропривід з короткозамкненим асинхронним двигуном. Для забезпечення можливості пуску конвеєрів під навантаженням двигуни повинні мати пусковий момент, в 1,5-2 рази перевищуючий номінальний. Однак, різке прикладення до

тягового органу значного моменту викликає значні динамічні перевантаження в стрічці або ланцюзі, тому використання приводу конвеєра короткозамкнених асинхронних двигунів допустимо при порівняно невеликій потужності двигуна. У зв'язку з цим більше поширення в стрічкових конвеєрах отримали електроприводи з короткозамкненим асинхронним двигуном і додатковою муфтою між двигунами і приводною станцією. Застосування муфти дозволяє запускати двигун вхолосту, а після його розгону забезпечує плавний розгін тягового органу без великих динамічних перевантажень і пробуксовки стрічки. Регульовані муфти дають можливість використовувати короткозамкнуті асинхронні двигуни без обмежень по потужності. Для важких стрічкових конвеєрів з великою шириною і довжиною стрічки використовуються асинхронні двигуни з фазним ротором і реостатним керуванням при пуску. Для збільшення плавності пуску опір, включене в роторний ланцюг, має значну кількість ступенів: від 10-20 при контакторному управлінні, до 20-30 при регулюванні опору за допомогою контролера. Тривалість пуску при реостатному управлінні досягає 30-60 с, що дозволяє знизити динамічні навантаження в тяговому органі. При автоматизації пуску конвеєрів найкращим є управління пуском в функції часу, тобто в цьому випадку загальна тривалість пуску залишається незмінною. При необхідності регулювати швидкість конвеєрів тип електричного приводу визначається вимогою до плавності і діапазону регулювання. Для плавного регулювання швидкості можна використовувати електроприводи по системі Г-Д, ТП-Д, безпосереднє живлення якорного ланцюга двигуна постійного струму від силового магнітного підсилювача (система БМУ-Д), а також асинхронні електроприводи з каскадним регулюванням. У міру розвитку перетворювальної техніки і, зокрема перетворювачів частоти, для регульованих приводів конвеєрів і живильників стали використовувати частотне управління асинхронних двигунів. Застосування в цих приводах коротко замкнених асинхронних двигунів дозволяє збільшити надійність електроприводів, безпеку їх застосування у вибухонебезпечних приміщеннях.

3.1.7 Обґрунтування вибору

Конвеєр відноситься до механізму безперервної дії з постійною розподіленним навантаженням.

Багато з конвеєрів мають недостатньо жорсткий кінематичний ланцюг, містять пружні механічні ланки, що впливає на вибір типу електроприводу і системи управління через необхідність демпфірування механічних коливань при пуску і гальмуванні.

Вимоги, що пред'являються до електроприводу конвеєрів:

- 1) Регулювання швидкості не потрібно або потрібно в невеликому діапазоні.
- 2) Потрібно підвищений пусковий момент через більшого за величиною моменту тертя спокою щодо моменту тертя руху.

3) Необхідно забезпечити плавність перехідних процесів - обмежити прискорення і ривок, для того, щоб виключити розгойдування або пробуксовку механізму, і знизити динамічні зусилля при наявності пружних зв'язків.

4) При роботі з декількома барабанами привід повинен забезпечити синхронізацію їх роботи, тобто встановити розрахункове розподіл тягового зусилля між барабанами приводу.

5) Приводи конвеєрів великої потужності з підвищеною швидкістю руху стрічки повинні забезпечити знижену швидкість 1 м / с для забезпечення можливості проведення її огляду.

З огляду на зазначені особливості до приводів конвеєрних ліній, висуваються певні вимоги щодо підвищеної надійності, простоті обслуговування і забезпечення високого пускового моменту. У певних випадках потрібно забезпечувати плавні пуск і гальмування підвісних і стрічкових конвеєрів для того, щоб запобігти випадкам пробуксовування стрічки конвеєра або ж розгойдування вантажу. Необхідно незначне регулювання значень швидкості 1:2, щоб змінити темп роботи на потокових лініях конвеєрів, електроприводу декількох конвеєрів повинні обертатися узгоджено.

Згідно перерахованим вимогам, підходить електропривод з трифазним асинхронним двигуном з фазним і короткозамкненим ротором.

Асинхронні двигуни досить прості в експлуатації, саме тому вони знайшли широке застосування на практиці.

Залежно від необхідності плавного пуску і вимогам до регулювання швидкості застосовуються:

- електропривод з короткозамкненим асинхронним двигуном з високим пусковим моментом;
- асинхронний електропривод з фазним ротором для плавного пуску.

При використанні двигуна з фазним ротором можна знизити пусковий струм, тим самим збільшити пусковий момент, завдяки введенню пускових реостатів в ланцюг ротора. Через ускладненої конструкції і збільшення вартості застосування даних електродвигунів обмежена. В основному їх застосовують як приводи механізмів з важкими пусковими умовами. Щоб зменшити пускові струми асинхронного двигуна, який має короткозамкнений ротор, необхідно використовувати перетворювач частоти або пристрій з плавним пуском.

Привід за схемою ПЧ-АД є підходящим для установок, в яких основною вимогою є регулювання швидкості.

Застосування асинхронних електродвигунів з фазним ротором, крім того, допомагають вирішити проблему обмеження пускових струмів і плавності пуску, завдяки застосуванню багатоступінчастого реостатного пуску або застосування транзисторного регулятора в ланцюзі ротора.

Асинхронні двигуни змінного струму простіше і дешевше електродвигунів інших типів, тому в даний час їх застосовують все частіше. При виборі асинхронного двигуна слід враховувати два фактори - ККД перетворення енергії і тип виконання агрегату.

ККД електричних двигунів звичайної якості дорівнює 75-85%, а вищого - становить 85-95%.

Асинхронні двигуни змінного струму простіше і дешевше електродвигунів інших типів, тому в даний час їх застосовують все частіше.

Агрегати з високим ККД коштують набагато дорожче звичайних, але якщо електродвигун працюватиме безперервно, він окупиться швидко.

Привід ПЧ-АД забезпечує надійний плавний пуск АД в будь-яких умовах за рахунок створення максимального моменту. Точне вирівнювання навантажень приводів здійснюється без підвищення ковзання АД за рахунок регулювання частот обертання магнітного поля АД. Застосування при блокуванні ланцюга рекуперативного гальмування АД здійснює надійне обмеження навантажень. Привід забезпечує плавне регулювання швидкості ланцюга. Таким чином, система ПЧ-АД рекомендується як задовольняє основним вимогам до приводу конвеєра.

3.2 Особливості режиму роботи електроприводу конвеєра

Існують різноманітні режими роботи приводів, які розрізняються за тривалістю і характером циклів, умов охолодження, значенням навантажень, співвідношенням втрат усталеного руху і в період пуску і т.д., саме тому виготовляти електродвигуни для кожного режиму роботи з усіх можливих не є доцільним.

Грунтуючись на аналізі реальних режимів був сформований спеціальний клас - номінальні режими, саме для яких і проектується, а, відтак, і виготовляються двигуни, що випускаються серіями.

Дані, які містяться в паспорті машини, відносять до конкретного номінального режиму і називають номінальними даними машини. Повне використання електроприводу в тепловому відношенні при його роботі в номінальному режимі і номінальному навантаженні - гарантія заводів-виготовлювачів. Якщо вибір електричної машини зроблений без урахування номінального режиму, який необхідний, коректна її робота не може бути гарантована.

Наприклад, двигун механізму може згоріти при частих пусках, якщо він розраховувався для більш легких умов експлуатації. При правильній ж експлуатації робота двигуна можлива без капітального ремонту протягом приблизно 20 років. Значне зниження терміну служби, яке викликано руйнуванням ізоляції, може бути пов'язано з перевищенням рівня допустимої температури.

Режимом роботи електричної машини є встановлений певний порядок періодів, які чергуються. Вони характеризуються тривалістю і величиною навантаження, гальмування, відключень, реверсу протягом роботи і пуску.

Різноманітні режими роботи різних електродвигунів в приводах робочих машин, визначені вони технологічними процесами, які реалізуються даними робочими машинами. Щоб проілюструвати режими роботи, використовуються навантажувальні діаграми. Такі діаграми - залежність параметра, яка виражена графічно, параметр характеризує навантаження електродвигуна приводу (моменту, потужності, сили струму, який споживається) від тривалості окремих етапів, які становлять час роботи приводу. Навантажувальна діаграма електродвигуна, в дійсності, може мати графік будь-якого виду: пряма горизонтальна лінія - якщо з навантаженням двигуна зміни не відбувалися на даному відрізку часу, або крива лінія з плавним переходом від першого рівня до другого, якщо навантаження все ж змінювалася. Є кілька різних номінальних режимів, які описані Міжнародної електротехнічної комісією (МЕК) і прийняті ГОСТом. Виділення тепла є базовою характеристикою навантажувальних режимів. При експлуатації машини присутня нагрівання, що пояснюється процесами, які в ній відбуваються.

Асинхронні стандартні електродвигуни працюють в тривалому режимі (позначається умовно S1), навантаження на валу двигуна і умови охолодження практично постійні на певному проміжку часу, яке є достатнім для того, щоб двигун встиг нагрітися до ustalеної температури. При тривалому режимі роботи S1 незмінна номінальне навантаження $P_{ном}$ і двигун працює до тих пір, коли сталих значень вуст τ досягає температура перегріву частин двигуна. При цьому тривалість паузи і робочого періоду не грає ролі.

Тривала навантаження може бути постійною або змінною. У першому випадку температура не змінюється, у другому - змінюється разом зі зміною навантаження. З малоизменяющейся навантаженням в цьому режимі працюють двигуни конвеєрів. Тривалий режим з незмінним навантаженням $P = const$ (Рисунок 3.1, а) і тривалий режим зі змінною навантаженням (Рисунок 3.1, б).

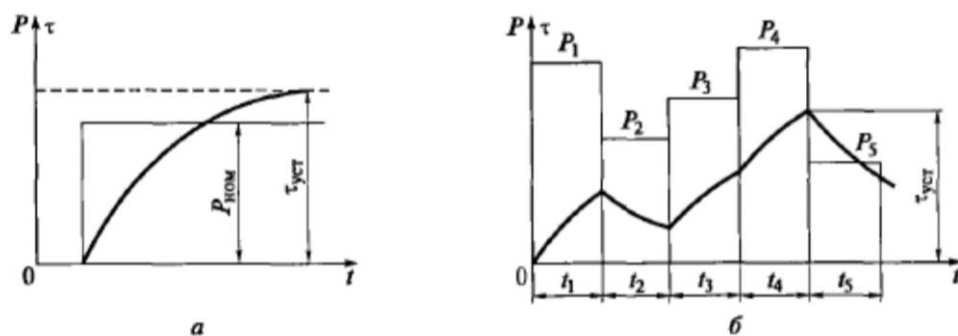


Рисунок 3.1 - Тривалий режим: а) з незмінним навантаженням $P = const$; б) зі змінним навантаженням

Електроприводи конвеєрів і транспортерів працюють в тривалому режимі з незмінним навантаженням.

При підборі двигуна велике значення має облік режиму роботи. Правильний розрахунок усереднених величин ККД і коефіцієнта потужності особливо важливий при виборі геометричних розмірів, розрахунку втрат, нагрівання та охолодження, і виборі встановленої потужності двигунів.

При значному конструктивному розмаїтті конвеєрних ліній для більшості з них характерні наступні особливості, які обумовлені режимом експлуатації:

- тривалий режим роботи протягом тривалого часу (кількох зміни або однієї зміни) за час включення без пауз;

- можуть виникнути значні статичні моменти при рушанні, які перевершують номінальні навантаження в деяких випадках, наприклад, пуск навантаженого конвеєра після аварійної (раптової) зупинки;

- рідкісні пуски, їх тривалість не впливає на продуктивність, незмінне практично напрямом обертання електродвигуна;

- двигуни конвеєрів працюють при різних умовах: у вологих і запилених приміщеннях, на відкритому повітрі, в цеху з агресивним середовищем, при низькій і високій температурах.

Закладений в асинхронний двигун принцип роботи дає ряд переваг цього пристрою:

- 1) Простий пристрій робить такий економічним у виробництві;
- 2) Низьке споживання енергії призводить до економічності пристроїв, оснащених таким двигуном;
- 3) Універсальність застосування в апаратах, де не потрібно точна підтримка частоти обертання або існує схема управління зі зворотним зв'язком, що забезпечує обертання із заданою частотою;
- 4) Висока надійність в роботі;
- 5) Асинхронний двигун може працювати при однофазному підключенні;
- 6) Чи не примхливий в експлуатації;
- 7) Проста схема управління;
- 8) Ефективність цих двигунів дуже висока, так як немає втрат на тертя, і відносно високий коефіцієнт потужності;
- 9) Тривалий термін експлуатації;
- 10) Працюють безпосередньо від мережі змінного струму.

3.3 Математична модель електроприводу стрічкового конвеєра

Рівняння виконавчого електродвигуна загальноприйняті і мають такий вигляд:

$$J \frac{d\omega}{dt} = k_m I + M_c \quad (3.2)$$

$$L \frac{dI}{dt} + RI = u - k_\omega \omega, \quad (3.3)$$

де $\frac{d\alpha}{dt} = \omega$, L - індуктивність якірного ланцюга, I - струм.

Процеси в електричному ланцюзі електродвигуна протікають значно швидше, ніж в механічних. Саме тому в більшості випадків впливом ланцюга з наступною передавальною функцією нехтують:

$$W_e(p) = \frac{1}{L_p + R} \quad (3.4)$$

і розглядають рівняння динаміки:

$$J \frac{d\omega}{dt} = k_m I + M_c \quad (3.5)$$

$$RI = u - k_\omega \omega, \quad (3.6)$$

де $\frac{d\alpha}{dt} = \omega$.

Дана модель буде використана при побудові алгоритму управління кутом повороту вала двигуна і кутовий швидкістю обертання.

Необхідно виключити змінну I . Маємо:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{k_m}{JR} u - \frac{k_m k_\omega}{JR} \omega + \frac{1}{J} M_c, \quad (3.7)$$

де $\frac{d\alpha}{dt} = \omega$.

Керуючий прискорення, отже, набуде вигляду:

$$\varepsilon(u, \omega, M_c) = \frac{k_m}{JR} u - \frac{k_m k_\omega}{JR} \omega + \frac{1}{J} M_c \quad (3.8)$$

Величина ω^0 - задає вплив для контуру кутової швидкості. Забезпечується умова $\omega(\infty) = \omega^0$ в сталому режимі, якщо коефіцієнт посилення $\rho > 0$ і $\lambda > 0$. Дані параметри розраховуються з урахуванням електромеханічних характеристик електродвигуна.

Параметр λ характеризує швидкість зменшення помилки $\delta_\omega = \omega^0 - \omega(t)$ відповідно до експоненціальним законом $c_\omega = \omega^0 - \omega(0)$. Значення $1/\lambda = \tau_\omega$ - постійна часу контуру кутової швидкості, яка повинна бути не менше механічної постійної τ_ω двигуна. А отже:

$$\lambda \leq \frac{k_m k_\omega}{JR} = \tau_\omega. \quad (3.9)$$

Звідси видно, що швидкодія контуру кутової швидкості зменшується зі зменшенням величини λ . При τ_ω^{-1} швидкодія контуру є граничною.

Після того, як визначено параметр λ необхідно розрахувати коефіцієнт посилення ρ контуру прискорення. Виходячи з рівняння процесу по кутовий швидкості, при $M_c = 0$ маємо:

$$\dot{\omega} = \frac{k_m}{JR} u - \frac{k_m k_\omega}{JR} \omega, \quad (3.10)$$

$$\dot{u} = \rho(\varepsilon^* - \dot{\omega}). \quad (3.11)$$

Згідно позначенням, які були прийняті:

$$M(u, \omega, M_c) = \frac{k_m}{R} u - \frac{k_m k_\omega}{R} \omega + M_c \quad (3.12)$$

приватні похідні тому:

$$m^\omega = J^{-1} \frac{\partial M}{\partial \omega} = -\frac{k_m k_\omega}{JR}, \quad (3.13)$$

$$m^u = J^{-1} \frac{\partial M}{\partial u} = \frac{k_m}{JR} \quad (3.14)$$

Співвідношення для розрахунку ρ можна отримати, провівши аналіз динаміки контуру прискорення.

Продифференціювавши рівняння (3.10) за часом і підставивши в нього вираз (3.11), отримаємо:

$$\dot{\varepsilon} + \frac{k_m}{JR} (\rho + k_\omega) \varepsilon = \frac{k_m}{JR} \rho \varepsilon^*, \quad (3.15)$$

де $\varepsilon = \dot{\omega}$. Це рівняння описує процеси, які проходять в контурі прискорення. Постійна часу τ_ε , цього контуру, з урахуванням виразів для приватних похідних, дорівнює:

$$\tau_\varepsilon = \frac{1}{\rho - m\omega} = \frac{JR}{k_m(\rho + k_\omega)} = \frac{\tau_m}{1 + \tau_m \frac{k_m}{JR} \rho}. \quad (3.16)$$

І процес управління кутовою швидкістю відповідає закону, який призначений, якщо швидкодія контуру прискорення вище контуру ω суттєво, тобто $\tau_\varepsilon \ll \tau_\omega$. Величина τ_ε , в свою чергу, не може призначатися довільно, у зв'язку з тим, що володіє інерційністю керований двигун. Нижня межа постійної часу τ_ε визначено електричними властивостями якірного ланцюга. З рівняння (3.3) можна знайти:

$$L \frac{d\varepsilon}{dy} + R\varepsilon = \frac{k_m}{J} (u - k_\omega \omega), \quad (3.17)$$

де $\varepsilon = \dot{\omega}$.

Швидкість зміни прискорення визначена електричної постійної часу $\tau_\varepsilon = L/R$. Щоб вимоги, які пред'явлені за швидкодією контуру прискорення, фізично були реалізовані, величина τ , не повинна перевищувати τ_ε . Маємо:

$$\rho = \frac{JR}{k_m} \frac{\tau_m - \tau_\varepsilon}{\tau_\varepsilon \tau_m}, \quad (3.18)$$

де $\tau_\varepsilon \geq \tau_e$.

Так як $\tau_\varepsilon < \tau_m$ то $\rho > 0$, то в випадку $\tau_\varepsilon = \tau_e$ швидкодія контуру прискорення -найбільша. І якщо приймається $\tau_\omega = \tau_m$, то параметри λ , ρ , які знайдені, забезпечують граничну за фізичними можливостями швидкодію контуру кутової швидкості. І в даному випадку:

$$\rho = \frac{JR}{k_m} \frac{\tau_m - \tau_\varepsilon}{\tau_e \tau_m}, \quad (3.19)$$

$$\lambda = \tau_m^{-1}. \quad (3.20)$$

В такому випадку контур управління кутовою швидкістю може бути побудований без урахування вимірювання прискорення $\varepsilon = \dot{\omega}$. Для чого керуючу функцію $u(t)$ потрібно формувати, з розрахунком того, що:

$$\varepsilon^*(\omega) = \lambda(\omega^0 - \omega) \quad (3.21)$$

інтегруючи всі частини рівності за часом. Рівняння замкнутого контуру матимуть вигляд:

$$\dot{\omega} = \frac{k_m}{JR} u - \frac{k_m k_\omega}{JR} \omega, \quad (3.22)$$

$$u = \rho \lambda \int (\omega^0 - \omega) dt - \rho \omega. \quad (3.23)$$

Будуємо алгоритм управління кутовим становищем (кутом повороту) вала двигуна. Приймаємо, що синтезований контур управління кутовою швидкістю. Вихідні рівняння керованого процесу:

$$\dot{\omega} + \lambda \omega = \lambda \omega^0, \quad (3.24)$$

$$\varphi = \frac{1}{i} \omega \quad (3.25)$$

де φ - кут повороту вала системи, який пов'язаний через редуктор з передавальним відношенням i з валом двигуна. Необхідно знайти алгоритм управління, за допомогою якого можна було забезпечити поворот вала двигуна на кут $\varphi^0 = \text{const}$ таким чином, щоб помилка неузгодженості $\delta_\varphi = \varphi^0 - \varphi(t)$ була підпорядкована кінематичному закону:

$$\varphi(t) = \varphi^*(t), \quad (3.26)$$

$$\varphi^0 - \varphi^*(t) = c_1 e^{-r_1 t} + c_2 e^{-r_2 t}, \quad (3.27)$$

В даному випадку керуючої функцією виступає величина ω^0 , яка, в свою чергу, є заданою дією для контуру кутової швидкості. Представимо рівняння у вигляді:

$$\ddot{\varphi} + \lambda \dot{\varphi} = \frac{1}{i} \lambda \omega^0. \quad (3.28)$$

Запишемо замість $\varphi(t)$ вираз для $\varphi^*(t)$. Отримуємо керуючу програмну функцію:

$$\omega^0(t) = \frac{1}{i^{-1}\lambda} [r_1(\lambda - r_1)c_1 e^{-r_1 t} + r_2(\lambda - r_2)c_2 e^{-r_2 t}], \quad (3.29)$$

а також закон управління зі зворотним зв'язком:

$$\omega^0(\varphi, \dot{\varphi}) = \frac{i}{\lambda} [r_1 r_2 (\varphi^0 - \varphi) - (r_1 + r_2 - \lambda) \dot{\varphi}], \quad (3.30)$$

$$\ddot{\varphi} + (r_1 r_2) \dot{\varphi} + r_1 r_2 \varphi = r_1 r_2 \varphi^0. \quad (3.31)$$

Представимо, що рішення цього рівняння є відповідно процесу в еталонній системі:

$$\tau_\varphi^2 \ddot{\varphi} + 2\zeta \tau_\varphi \dot{\varphi} + \varphi = \varphi^0, \quad (3.32)$$

де τ_φ - постійна часу регульованої змінної. Дана величина задається при проектуванні. Для забезпечення найкращого перехідного процесу ($\zeta = \sqrt{2}/2$) постійна часу τ_φ повинна перевершувати величину τ_ω приблизно в три рази. Тому при розрахунку параметрів r_1, r_2 справедливі співвідношення:

$$r_1 + r_2 = \frac{\sqrt{2}}{\tau_\varphi}, \quad (3.33)$$

$$r_1 r_2 = \frac{1}{\tau_\varphi^2}, \quad (3.34)$$

$$\tau_\varphi = 3\tau_\omega, \quad (3.35)$$

які представляють рівняння відносно r_1, r_2 . А, отже, можна записати:

$$\omega^0(\varphi, \dot{\varphi}) = \frac{i}{\lambda} \left[\frac{1}{\tau_\varphi^2} (\varphi^0 - \varphi) - \left(\frac{\sqrt{2}}{\tau_\varphi} - \lambda \right) \dot{\varphi} \right]. \quad (3.36)$$

Всі рівняння, які необхідні для роботи в подальшому, знайдені.

Визначити властивості динамічної системи - означає знайти особливі точки системи і проаналізувати стійкість положення рівноваги. Для того, щоб знайти положення рівноваги, прирівняємо до нуля вираз $\frac{d\varphi}{dt} = 0$ і підставимо у вираз (3.36). В результаті отримаємо:

$$\omega^0(\varphi, \dot{\varphi}) = \frac{i}{\lambda} \left[\frac{1}{\tau_\varphi^2} (\varphi^0 - \varphi) \right] \quad (3.37)$$

Дане рівняння підставляємо в формулу (3.23), та отриманий результат підставляємо в вираз (3.10). В результаті отримаємо:

$$0 = \frac{k_m}{JR} \rho \lambda \int \frac{i}{\lambda \tau_\varphi^2} (\varphi^0 - \varphi) dt. \quad (3.38)$$

Звідси отримаємо, що $\varphi^0 = \varphi$.

Ця рівність визначає кут повороту вала двигуна, саме на якому і зупиняється система. Для поставленої задачі очевидно: вал двигуна повернеться на заданий кут, що, в свою чергу, і підтверджує вивод. Так як $\varphi^* \geq 0$ справедливо для всіх значень параметрів, то становище рівноваги - не стійке.

Конвеєрна стрічка може бути представлена однорідним тілом, що складається з пружних стрижнів, маса яких розподілена і які піддаються дії в'язкого і сухого тертя.

Аналізувати електромеханічні властивості і синтезувати систему управління приводом аналітичним способом при даному математичному описі властивостей стрічки практично неможливо. Синтез і аналіз найзручніше зробити, якщо уявити конвеєрну стрічку у вигляді зосереджених мас.

Загальноприйняті допущення, які використовуються при математичному описі: сили в'язкого тертя не враховуються; центр другої маси розташований посередині суми мас, що рухаються поступально; в конвеєрній стрічці присутня тільки пружна деформація.

Механічна частина двухмасової системи конвеєра описується системою ДУ в операторній формі:

$$J_1 p \omega_1 = M - M_{y1} + M_{y2}; \quad (3.39)$$

$$p M_{y1} = c_1 (\omega_1 - \omega_2); \quad (3.40)$$

$$J_2 p \omega_2 = M_{y1} - M_{y2} - M_c; \quad (3.41)$$

$$p M_{y2} = c_2 (\omega_2 - \omega_1), \quad (3.42)$$

де J_1 - момент інерції першої маси, до неї відносяться жорстко пов'язані елементи двигуна, редуктора і барабана, які обертаються, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$; ω_1 - кутова швидкість першої маси, до якої відноситься кутова швидкість ротора двигуна $\frac{1}{c}$; J_2 - момент інерції другої маси, до якої відноситься приведення до швидкості двигуна значення моменту інерції механічної частини конвеєра $\frac{\text{кг}\cdot\text{м}^2}{c}$; ω_2 - кутова швидкість другої маси, до якої відноситься швидкість стрічки, приведена до кутової швидкості ротора двигуна $\frac{1}{c}$; M_{y1} - момент пружних сил на набігаючій гілці конвеєра, $\text{Н}\cdot\text{м}$; M_c - момент статичного опору, $\text{Н}\cdot\text{м}$; M - електромагнітний момент двигуна, $\text{Н}\cdot\text{м}$; M_{y2} - момент пружних сил на збігає гілці стрічкового конвеєра, $\text{Н}\cdot\text{м}$; c_1 - наведений коефіцієнт кругової жорсткості між першою і другою масами, $\text{Н}\cdot\text{м}$; c_2 - наведений коефіцієнт кругової жорсткості між другою і першою масами, $\text{Н}\cdot\text{м}$.

В системі ДУ різниця моментів пружних сил в збігає і набігає гілках конвеєра можна уявити як момент пружною навантаження:

$$M_{п.н.} = M_{y1} - M_{y2}, \quad Нм. \quad (3.43)$$

Для механічної частини структурної схеми, представленої на Рисунок 3.2, потрібно порахувати коефіцієнти кругової жорсткості c_1 і c_2 . Для розрахунку необхідно знати значення модуля динамічної пружності E_l стрічки конвеєра.

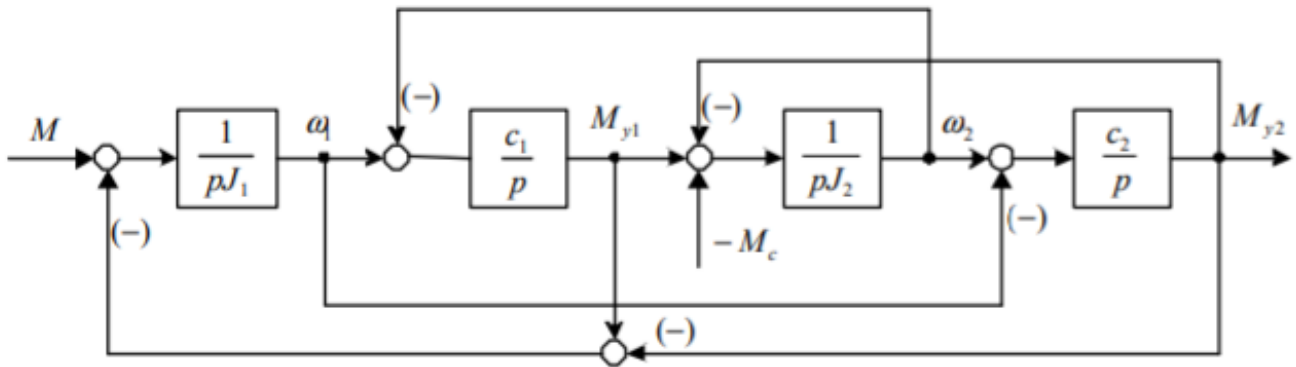


Рисунок 3.2 – Структурна схема механічної частини електроприводу стрічкового конвеєра

3.4 Дослідження комплексної моделі конвеєра

Представлена нами комплексна модель стрічкового конвеєра побудована на підставі розрахункової схеми, представленої на Рисунок 3.3.

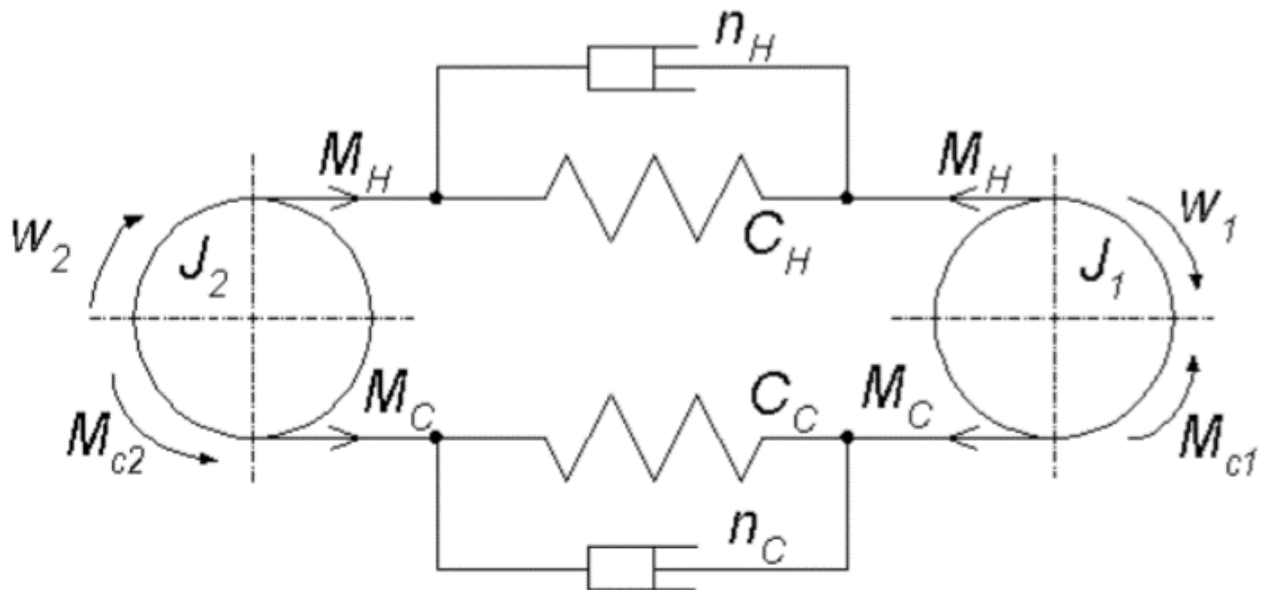


Рисунок 3.3 – Розрахункова схема стрічкового конвеєра

Прийняті при складанні моделі допущення: муфти та вали абсолютно жорсткі, приводний пристрій, в цьому випадку, може бути у вигляді єдиної зосередженої маси; траса конвеєра прямолінійна, кут нахилу постійний; маса рухомих частин роликкоопор і стрічки розподілена рівномірно; прослизання стрічки відсутня на роликкоопорах; конвеєрна стрічка представлена не гнучкою ниткою, а як пружно-в'язкий стрижень; маси, що відхиляється і хвостового барабанів в порівнянні з розподіленою масою вантажу і стрічки нехтує малі; коефіцієнти опору на порожньої і вантажний гілках конвеєрної стрічки постійні.

Приводний барабан, момент інерції якого J_1 , представлений на малюнку 5, він включає також моменти інерції, які приведені до осі, всіх рухомих елементів електроприводу.

Маховик, що має момент інерції J_2 , імітує конвеєрну стрічку, що знаходиться на ній вантаж і всі пов'язані з стрічкою рухливі елементи. Причому, моменти інерції всіх елементів, які увійшли в J_2 , приведені до валу приводного барабана. Пружні властивості стрічки враховані за допомогою пружин, що володіють жорсткостями C_n - в набігаючій гілці і $C_{зб}$ - в збігаючій. Дисипативні втрати враховуються коефіцієнтами демпфірування n_1 і n_2 в набігає і збігає гілках відповідно. Маховики J_1 і J_2 , пружини C_n і $C_{зб}$ пов'язані між собою невагомою абсолютно жорсткої гнучкою ниткою. Причому, ковзання нитки по поверхні маховика J_2 неможливо, в той час, як між приводним барабаном J_1 і ниткою зв'язок здійснюється за рахунок сил тертя і при певних умовах можливе виникнення взаємного проковзування. На розрахунковій схемі показані частоти обертання маховиків ω_1 і ω_2 , а також додані до них моменти: M_n і $M_{зб}$ - обумовлені силами натягу набігаючої та збігаючої гілок конвеєрної стрічки, M_{c1} і M_{c2} - моменти сил опору руху приводного барабана і конвеєрної стрічки відповідно, M - момент, діючий на маховик з боку електроприводу.

Нехтуючи електромагнітною постійною часу і вважаючи, що електропривод має лінійну механічну характеристику з постійною жорсткістю, можна записати систему рівнянь, що відображають динамічні режими роботи конвеєра при відсутності буксування:

$$M = \beta(\omega_3 - \omega_1); \quad (3.44)$$

$$J_1 \frac{d\omega_1}{dt} = M + M_{зб} - M_n + M_3; \quad (3.45)$$

$$J_2 \frac{d\omega_2}{dt} = M_n - M_{зб} - M_{c2}; \quad (3.46)$$

$$M_n = \int_0^t C_n(\omega_1 - \omega_2)dt + n_n C_n (\omega_1 - \omega_2) + M_{nn}; \quad (3.47)$$

$$M_{36} = \int_0^t C_{36}(\omega_1 - \omega_2)dt + n_{36}C_{36}(\omega_1 - \omega_2) + M_{n36}. \quad (3.48)$$

де ω_3 - задана частота обертання електроприводу, M_{nH} і M_{n36} - моменти, обумовлені силами попереднього натягу набігаючої і збігаючої гілок конвеєра відповідно. Перетворення змінних, що входять в систему рівнянь і характеризують стан конвеєра з електроприводом, наочно відображає структурна схема, наведена на малюнку 16.

У цій схемі введений новий параметр $C = C_H + C_{36}$ - сумарний коефіцієнт жорсткості конвеєрної стрічки і нова змінна M_{12} - результуючий момент, обумовлений силами деформації обох гілок стрічки конвеєра. Отримана структурна схема являє собою двомасових систему електроприводу з пружним зв'язком. Але вона не дозволяє врахувати можливість виникнення режиму буксування, коли момент, що передається приводним барабаном стрічки, досягає гранично допустимої величини, яка визначається силами тертя контактуючих поверхонь стрічки і барабана. Як відомо, в режимі ковзання конвеєрної стрічки по поверхні приводного барабана виконується умова $\frac{M_H}{M_{36}} = e^{\mu\alpha}$, де μ - коефіцієнт зчеплення, α - кут обхвату.

Вираз, представлене у вигляді співвідношення, $\frac{M_H}{M_{36}} \leq e^{\mu\alpha}$, умовою розмежування режиму роботи конвеєра без буксування, коли вираз приймає сенс нерівності; і режиму буксування - коли зміст рівності. Підставляючи в це вираження значення M_H і M_{36} , можна отримати:

$$(C_H + C_{36}e^{\mu\alpha}) \int_0^t (\omega_1 - \omega_2)dt + (n_n C_n + n_c C_c e^{\mu\alpha})(\omega_1 - \omega_2) \leq M_{nc}e^{\mu\alpha} - C_{nH}. \quad (3.49)$$

Співвідношення виявляється досить громіздким і незручним для використання з метою розмежування режимів роботи конвеєра з буксуванням і без нього, особливо, на етапі попереднього аналізу об'єкта управління. Набагато простіше ці умови формуються в тому випадку, якщо обидві гілки конвеєра є симетричними, коли виконуються рівності

$$C_{36} = C_H = \frac{C}{2}; \quad (3.50)$$

$$n_c = n_n = n; \quad (3.51)$$

$$M_{nc} = M_{nH} = M_c. \quad (3.52)$$

Накладення обмежень не змінює загальних динамічних властивостей системи, але дозволяє істотно спростити дане співвідношення, яке набуває вигляду:

$$C \int_0^t (\omega_1 - \omega_2) + nC(\omega_1 - \omega_2) \leq 2M_n \frac{e^{\mu\alpha} - 1}{e^{\mu\alpha} + 1}. \quad (3.53)$$

У лівій частині цього співвідношення варто вираз, що визначає величину результуючого моменту M_{12} , обумовленого силами деформації конвеєрної стрічки, а в правій - постійна величина, яка визначається початковими умовами M_n і параметрами барабанного приводу конвеєра μ і α . З урахуванням цього структурна схема об'єкта, що дозволяє врахувати можливість виникнення режиму буксування, набуває вигляду, представлений на Рисунок 3.5. Вона дозволяє в першому наближенні відобразити обидва можливих режиму роботи конвеєра - з буксуванням і без нього.

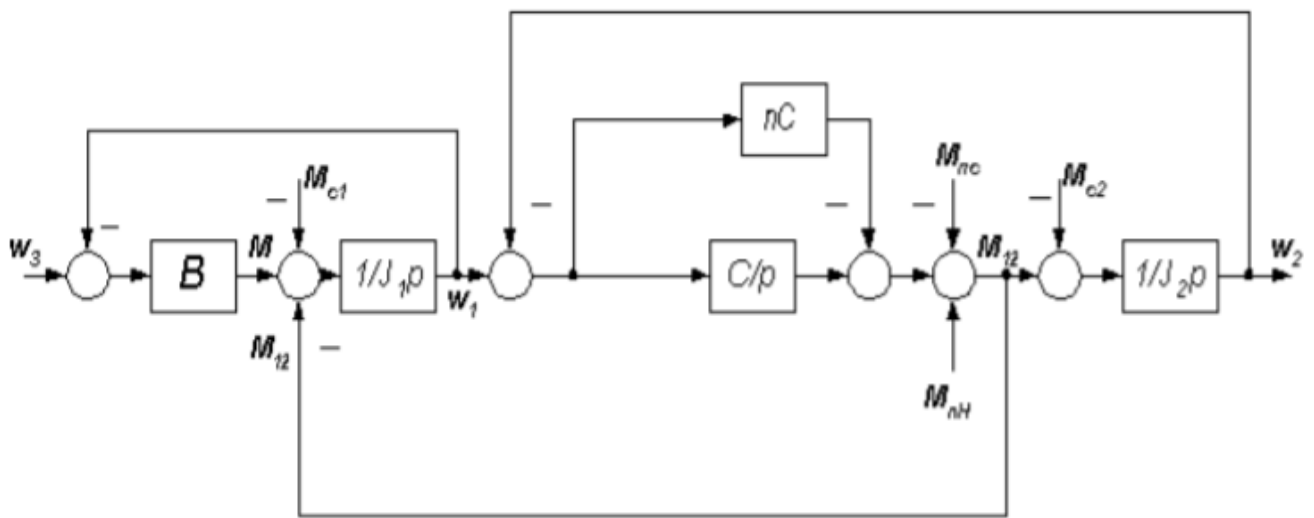


Рисунок 3.4 – Структурна схема конвеєра без урахування режиму буксування

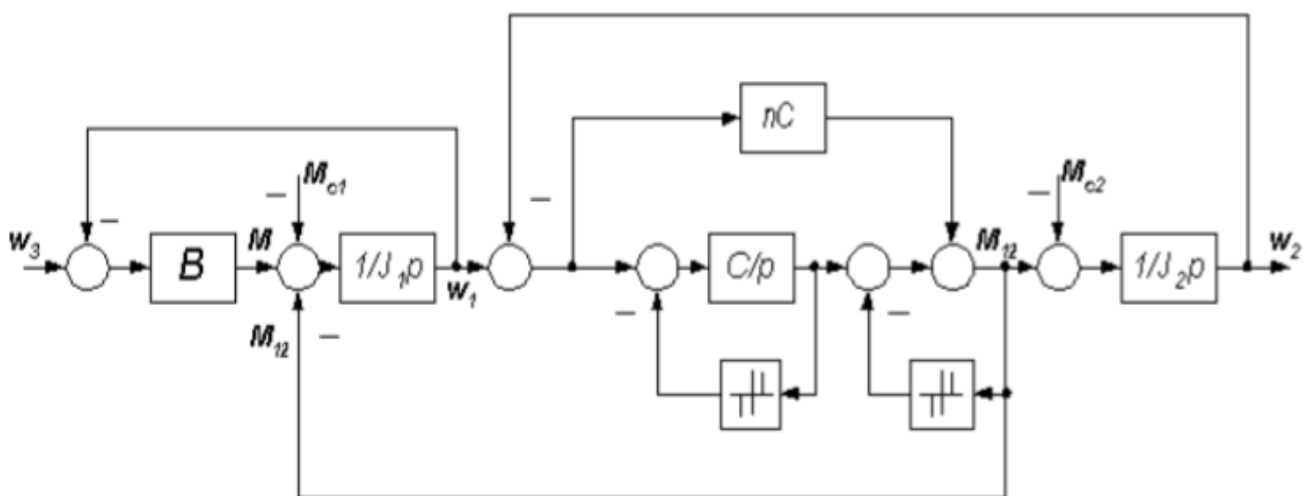


Рисунок 3.5 – Структурна схема конвеєра з урахуванням режиму буксування

3.5 Дослідження конвеєрної установки під час пуску

Для того щоб краще зрозуміти фізичні процеси, що відбуваються в АКЗ, дослідимо конвеєр в нерухомій системі координат. Також необхідно врахувати, що для представлення просторових векторів використовується комплексна площина.

У нерухомій комплексній системі координат ($\omega_k = 0$, $\alpha_k = 0$) дійсна вісь позначається через α , а уявна через β . Просторові вектори в цьому випадку розкладаються по осях:

$$\bar{u}_s = u_{s\alpha} + ju_{s\beta}; \quad (3.54)$$

$$\bar{i}_s = i_{s\alpha} + ji_{s\beta}; \quad (3.55)$$

$$\bar{\Psi}_s = \Psi_{s\alpha} + j\Psi_{s\beta}. \quad (3.56)$$

Підставивши ці значення в рівняння, що описують електропривод і прирівнявши окремо дійсні і уявні частини, отримаємо систему рівнянь:

$$u_{s\alpha} = ri_{s\alpha} + \dot{x}_s \frac{di_{s\alpha}}{d\bar{t}} - \frac{k_R}{\bar{T}_R} \Psi_{R\alpha} - k_R \rho v \Psi_{R\beta}, \quad (3.57)$$

$$u_{s\beta} = ri_{s\beta} + \dot{x}_s \frac{di_{s\beta}}{d\bar{t}} - \frac{k_R}{\bar{T}_R} \Psi_{R\beta} + k_R \rho v \Psi_{R\alpha}, \quad (3.58)$$

$$0 = -k_R r_R i_{s\alpha} + \frac{1}{\bar{T}_R} \Psi_{R\alpha} + \frac{d\Psi_{R\alpha}}{d\bar{t}} + \rho v \Psi_{R\beta}, \quad (3.59)$$

$$0 = -k_R r_R i_{s\beta} + \frac{1}{\bar{T}_R} \Psi_{R\beta} + \frac{d\Psi_{R\beta}}{d\bar{t}} - \rho v \Psi_{R\alpha}, \quad (3.60)$$

$$m = k_R (\Psi_{R\alpha} i_{s\beta} - \Psi_{R\beta} i_{s\alpha}), \quad (3.61)$$

$$\bar{T}_m \frac{dv}{d\bar{t}} = m - m_H \quad (3.62)$$

Система рівнянь в операторній формі має вигляд:

$$u_{s\alpha} = r(1 + \bar{T}_s s)i_{s\alpha} + \frac{k_R}{\bar{T}_R} \Psi_{R\alpha} - k_R \rho v \Psi_{R\beta}, \quad (3.63)$$

$$u_{s\beta} = r(1 + \bar{T}_s s)i_{s\beta} - \frac{k_R}{\bar{T}_R} \Psi_{R\beta} + k_R \rho v \Psi_{R\alpha}, \quad (3.64)$$

$$0 = -k_R r_R i_{s\alpha} + \frac{1}{\bar{T}_R} (1 + \bar{T}_R s) \Psi_{R\alpha} + \rho v \Psi_{R\beta}, \quad (3.65)$$

$$0 = -k_R r_R i_{s\beta} + \frac{1}{\bar{T}_R} (1 + \bar{T}_R s) \Psi_{R\beta} - \rho v \Psi_{R\alpha}, \quad (3.66)$$

$$m = k_R (\Psi_{R\alpha} i_{s\beta} - \Psi_{R\beta} i_{s\alpha}), \quad (3.67)$$

$$\bar{T}_m s v = m - m_H, \quad (3.68)$$

$$\text{де } \bar{T}_s = \frac{x_s}{r}.$$

На вхід моделі в момент часу $\bar{t} = 0$ подаються напруги $\bar{u}_{s\alpha} = \cos \bar{t}$, $\bar{u}_{s\beta} = \sin \bar{t}$ ($\alpha_k = 0$) тим самим реалізуючи прямий пуск.

Осцилоскопи вимірюють відносні значення електромагнітного моменту і швидкості. Результати моделювання представлені на Рисунок 3.7. Вони показують, що при прямому пуску спочатку спостерігаються значні коливання моменту. Такі ж коливання спостерігаються в струмі і швидкості. Крім того, вони показують, що при додатку моменту навантаження спостерігається зменшення швидкості.

За допомогою розробленої моделі відтворимо графічно поведінку системи асинхронного двигуна в процесі пуску.

Структурна схема досліджуваної системи складеної в пакеті MatLab Simulink приведена на Рисунок 3.6.

У схемі (Рисунок 3.6) в якості системи управління транзисторними ключами виступає реле, яке подає сигнал на відключення транзисторів при досягненні двигуном заданої швидкості.

Отримані в результаті моделювання швидкості двигуна і момент наведені на Рисунок 3.7.

Також за допомогою введення в схему додаткових блоків в подальшому можливе задання більш плавною діаграми пуску, що дозволить збільшити час пуску і знизити момент на валу двигуна при пуску.

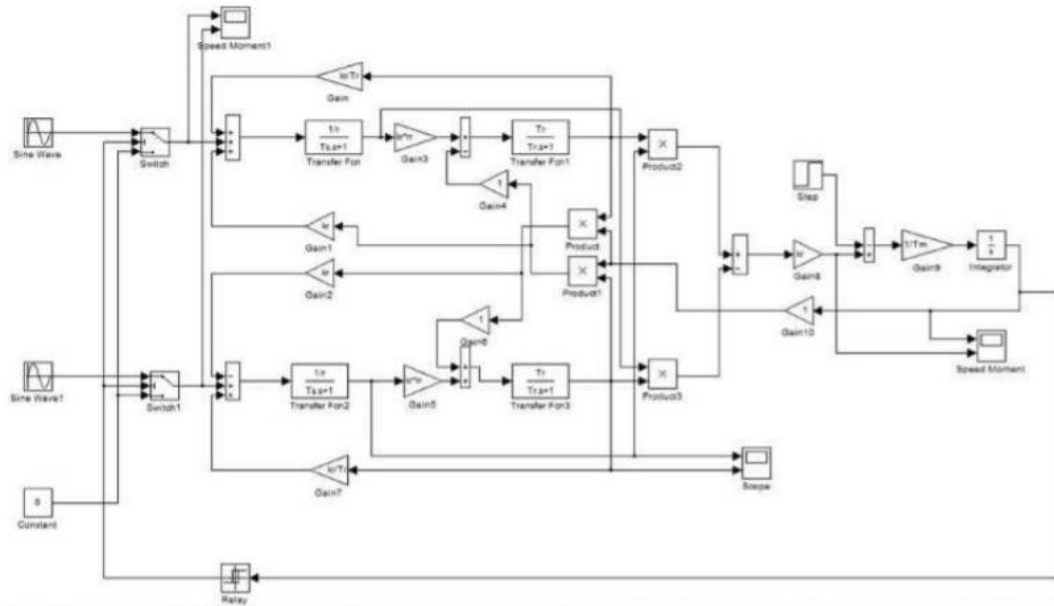


Рисунок 3.6 – Структурна схема асинхронного двигуна в процесі пуску

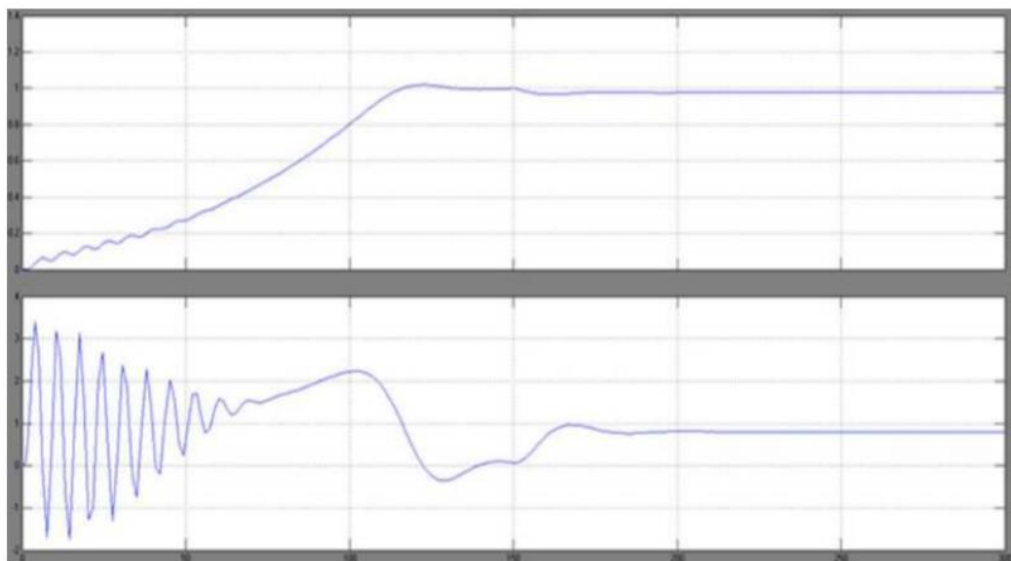


Рис 3.7 – Діаграма швидкості і моменту двигуна під час пуску

Таким чином, створена і випробувана модель, що дозволяє оцінити функціональні властивості імпульсного управління АТ та може бути врахована при проектуванні відповідних пристроїв.

Розділ 4 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ДАВАЧІВ ТА ВИКОНУЮЧИХ МЕХАНІЗМІВ

4.1 Структура системи управління

Як і будь-яка сучасна АСУ ТП, наша система має трьох рівневу структуру.

Нижній рівень - рівень обладнання (входів / виходів - Input / Output-level). Це рівень датчиків, вимірних пристроїв, контролюючих керовані параметри, а також виконавчих пристроїв, що впливають на ці параметри процесу, для приведення їх у відповідність із завданням. На цьому рівні здійснюється узгодження сигналів датчиків з входами пристрою управління, а команд, що виробляються з виконавчими пристроями.

Середній рівень - рівень управління обладнанням (Control level). Це рівень контролерів. ПЛК отримує інформацію з контрольно-вимірних обладнання та датчиків про стан технологічного процесу і видає команди управління, відповідно до запрограмованого алгоритмом управління, на виконавчі механізми.

Верхній рівень - рівень промислового сервера, мережевого устаткування, рівень операторських і диспетчерських станцій. На цьому рівні йде контроль ходу виробництва: забезпечується зв'язок з нижніми рівнями, звідки здійснюється збір даних, візуалізація та диспетчеризація (моніторинг) ходу технологічного процесу. Це рівень HMI, SCADA. На цьому рівні задіяна людина, тобто оператор (диспетчер). Вона здійснює локальний контроль технологічного обладнання через так званий людино-машинний інтерфейс (HMI - Human Machine Interface). До нього відносяться: монітори, графічні панелі, які встановлюються локально на пультах управління і шафах автоматики. Для здійснення контролю за розподіленою системою машин, механізмів і агрегатів застосовується SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition - диспетчерське управління і збір даних) система. Ця система являє собою програмне забезпечення, яке налаштовується і встановлюється на диспетчерських комп'ютерах. Вона забезпечує збір, архівацію, візуалізацію, найважливіших даних від ПЛК. При отриманні даних система самостійно порівнює їх із заданими значеннями керованих параметрів і при відхиленні від завдання повідомляє оператора за допомогою тривоги, дозволяючи йому вжити необхідних заходів. При цьому система записує все, що відбувається, включаючи дії оператора, забезпечуючи контроль дій оператора в разі аварії або іншої нештатної ситуації. Таким чином, забезпечується персональна відповідальність керівника оператора.

4.2 Вибір давачів

Вибір давачів температури

Для визначення температури в пекарній камері та газових каналах будемо використовувати давачі температури. Основним критерієм при виборі давача температури, в нашому випадку, слугують температурні режими, надійність та ціна. Розглянемо детальніше популярні види давачів температури, та проаналізуємо, які задовольняють нашим вимогам.

Найчастіше для вимірювання температури застосовують такі типи давачів: термістори, цифрові напівпровідникові давачі, термопарі і термоперетворювачі опору.

Термістори використовується ефект зміни електричного опору матеріалу під впливом температури. Зазвичай в якості термісторів використовують напівпровідникові матеріали, як правило, оксиди різних металів. В результаті виходять давачі з високою чутливістю.

Перевагами термісторів є висока чутливість, малий розмір і невисока ціна. Основні недоліки - нелінійність характеристики, слабка стійкість перед перешкодами, відсутність взаємозамінності. Велика нелінійність дозволяє використовувати термістори лише у вузькому діапазоні температур, тому вони не задовольняють нашим вимогам, адже різниця температурних режимів може перевищувати 600 °С.

Цифрові напівпровідникові давачі температури останнім часом активно просуваються на агропромисловому ринку. Чутливі елементи для них виробляють світові лідери в галузі мікроелектроніки. Чутливий елемент представляє собою інтегральну мікросхему, що містить в собі чутливий елемент і перетворювач в цифровий сигнал.

Основні переваги цих давачів: зручна схема підключення (не вимагає прокладки індивідуальної кабельної лінії безпосередньо до давача, давачі підключаються на одну загальну лінію), цифровий сигнал, що дозволяє уникнути застосування різних перетворювачів для побудови вимірювального ланцюга, і невисока ціна.

Недоліками цих давачів є вкрай слабка стійкість перед перешкодами (давачі можуть серйозно хибити, якщо поруч проходить силова лінія або працюють електродвигуни) і невисока точність (всього лише 0,5 °С). Обмежений робочий діапазон цих давачів - до 125 °С - не дозволяє застосовувати їх в різних теплообмінних установках, де температура теплоносія може досягати 130-150 ° С. Отже, даний тип давачів, також, нам не задовольняє умовам використання, адже температура вимірювання перевищуватиме 400-500 °С.

Термопарі є найбільш високотемпературними контактними давачами. Принцип дії термопар заснований на термоелектричному ефекті: якщо з'єднати два різнорідних провідника і

підтримувати місця з'єднання при різних температурах, то між кінцями виникне електрорушійна сила (термо-ЕРС).

Такі сполуки називаються термопарами. Величина виникаєчої термоЕРС залежить від матеріалу провідників і різниці температур між спаями. У невеликому діапазоні температур термоЕРС пропорційна різниці температур.

Головною перевагою термопар є великий температурний діапазон виміру від -200°C до 2500°C , а також простота і міцність конструкції, і невисока ціна. Основні недоліки термопар - точність вимірювання від 1°C , необхідність компенсації температури холодного спаю (в сучасних приладах вводиться автоматична поправка до вимірюної ЕРС), нелінійна залежність напруги на виході термопар від температури.

Діапазон вимірювання температури під час тривалого використання термопар складає для:

- термопара типу ТПП: платинородій (10% родію) – платина: від -20 до $+1300^{\circ}\text{C}$;
- термопара типу ТПР: платинородій (30% родію) – платина: від $+300$ до $+600^{\circ}\text{C}$;
- термопара типу ТХА: хромель - алюмель: від -50 до $+1000^{\circ}\text{C}$;
- термопара типу ТХК: хромель - копель: від -50 до $+600^{\circ}\text{C}$.

Принцип дії *термоперетворювачів опору (ТО)* такий же, як і у термісторів, - зміна опору в залежності від температури. ТС відрізняються високою точністю (до $0,1^{\circ}\text{C}$), стабільністю показань, близькістю характеристики до лінійної залежності та можливістю взаємозамінності.

Залежно від матеріалу чутливого елемента розрізняються термоперетворювачі опору мідні (ТОМ) і платинові (ТОП). В Україні прийняті такі нормативні документи характеристик цих давачів: 50М, 100М - для ТОМ, і 50П, 100П, Pt100, Pt500, Pt1000 - для ТОП. Чутливі елементи для 50М, 100М, 50П, 100П виготовляються вручну шляхом намотування тонкої мідної або платинового дроту, елементи Pt100 і Pt1000 виконуються методом напилення тонкого шару платини на керамічну підкладку. Технологія напилення дозволяє виробляти платинові чутливі елементи вкрай малих габаритів з мінімальною витратою платини (вміст платини $0,001\text{ г}$).

При цьому платина повністю зберігає свої властивості, такі як стійкість до високих температур, термостабільність, практично лінійна температурна залежність опору. В даний час ТСП Pt100 і Pt1000 - найпоширеніші давачі температури.

Проаналізувавши, зупинимось на виборі термоперетворювачів опору, оскільки вони здатні забезпечити більшу точність, мають кращу стабільність показань, та лінійну залежність. Тож, для визначення температури в пекарних зонах, та каналах обігріву будемо використовувати *ТС типу: 90.2820 від компанії Jumo* для технологічних процесів, який переважно використовується для вимірювання температури в рідких і газоподібних середовищах.

Термометр складається з захисної арматури згідно DIN EN 43763 з різними гільзами для підключення до робочого середовища, приєднувальних головною і змінною вимірювальною частиною.

Для захисної арматури стандартно використовується матеріал 1.4571. Для спеціальних застосувань можливі виконання з іншого матеріалу. Вся арматура виготовлена згідно з приписом про судинах під тиском, випробувана на герметичність і стійкість до тиску.

У вимірювальній частині стандартно використовується температурний сенсор Pt 100 згідно DIN EN 60751 класу В з двухпровідною схемою підключення, можливі виконання з двома Pt 100, а також трипровідною і чотирипровідною схемами підключення.

Для передачі вимірних значень за допомогою уніфікованого сигналу 4 ... 20 мА можлива установка аналогового або програмованого вимірювального перетворювача. Для вимірювання температури у вибухонебезпечних зонах поставляються виконання з герметизацією під тиском або з власної вибухобезпечністю.

Для документування параметри приладу (похибка вимірювання, матеріал і т.п.) можуть бути підтверджені заводським сертифікатом випробувань.

Основні характеристики:

- Температурний режим -200 ... +600 °С;
- З захисними трубками з високоякісної сталі, титану, інконель і гаселя;
- Поставляються з двопровідним вимірювальним перетворювачем у вибухонебезпечному виконанні;
- З сертифікатом випробувань виробника;
- З заміною вимірювальною частиною;

Вибір давачів вологості

Давач вологості необхідний для отримання параметрів вологості в першій зоні пекарної камери, де підтримується досить висока температура (до 180°C), та високій відносній вологості (близько 90%).

Розглянемо найросповсюдженіші типи промислових давачів вологості.

Ємнісні давачі вологості (гігрометри) – це просто звичайні конденсатори з повітряним зазором. Діелектрична проникність повітря залежить від вологості, і її зміна призведе до зміни ємності.

У більш складному випадку повітряний зазор може бути замінений діелектриком, діелектрична проникність якого сильно змінюється під дією вологості. Такий підхід дозволяє поліпшити якості давача. Крім того, цей підхід може бути застосований для вимірювання вмісту

вологи в твердих речовинах. Між обкладками конденсатора кладеться вимірюваний об'єкт, наприклад таблетка, конденсатор підключається до генератора і LC коливального контуру, лічильник буде вимірювати частоту контуру, по цій частоті можна говорити про величину коливального контуру. Цей метод має деякі недоліки: при вологості нижче 0.5% він неточний, також вимагає очищення зразка від частинок з високою діелектричної проникності, крім того важлива форма зразка під час проведення випробувань, вона не повинна змінюватися.

Для додаткової термокомпенсації в датчики такого типу вводять два датчика температури.

Резистивні давачі складаються з двох електродів нанесених на підкладку, а зверху цих електродів наноситься шар матеріалу з досить низьким опором, але цей опір дуже сильно залежить від вологості.

Таким матеріалом може бути оксид алюмінію. Цей матеріал добре поглинає воду з навколишнього середовища, в результаті чого змінюється його питомий опір. У підсумку загальний опір цього датчика буде залежати від вологості, а за величиною струму, що протікає, судять про рівень вологості.

Головна перевага цих датчиків їх низька ціна.

Термісторні гігрометри складаються з двох термісторів. Нагадаємо, що термістор це опір чутливий до зміни температури. Один з цих терморезисторів поміщають в герметичну камеру з сухим повітрям. А другий в камеру з отвором, через яке надходить повітря з невідомої вологістю. Ці терморезистори з'єднують в мостову схему.

На одну діагональ моста подають напругу, а на іншій знімають результати. Якщо вихідний напруга дорівнює нулю, то значить, температура обох термісторів однакова, а значить і однакова вологість. Відповідно, якщо на виході з'являється напруга, то значить вологості в сухий і вимірюваної камері різні, за величиною і знаком напруги можна судити про величину вологості.

Найточнішим видом гігрозметрів яляються **оптичний** давачі вологості. В основу роботи цього типу датчиків вологості закладено поняття точки роси.

Точка роси - це температура, при якій рідка і газоподібна фази знаходяться в термодинамічній рівновазі. Якщо взяти скло помістити його в газоподібним середовищем,

при температурі вище точки роси і почати охолоджувати, то при певній температурі на склі будуть виступати краплі води. Температура при якій почнуть з'являтися ці краплі і буде точкою роси. Точка роси залежить від двох параметрів: тиску і вологості навколишнього середовища. В результаті якщо ми зможемо виміряти точку роси і тиск, то зможемо з легкістю визначити характеристики вологості. Цей принцип і закладений в оптичних давачах вологості.

Цей тип давачів має як незаперечну перевагу - найвища точність, недосяжна іншими типами давачів, і відсутність гістерезису. Так і недоліки - найвища вартість, велике споживання електроенергії і іноді може виникати необхідність чистки дзеркала.

Проаналізувавши переваги кожного типу давачів, оберемо давач вологості газів від компанії *Galltec+Mela serії B, a саме: BZK3.0H.F182.A29.054*. Давач серії В (з фіксованим зондом) призначений для вимірювання вологості і температури повітря (або інших нейтральних газів), при екстремально низьких або високих температурах. Це можливо завдяки тому, що сенсорна частина відділена від перетворювача, і таким чином, електронна схема не знаходиться в місці вимірювання, а розташовується зовні, при нормальних умовах експлуатації.

Основні характеристики:

- Серія В;
- Винесення сенсору на 5 м;
- Допустима температура: -80 ... 200 °С;
- Вихід 1: вологість (0 ... 100%), 4 ... 20 ма;
- Обмеження виходу 100% відн.вол.,
- Вихід 2: температура (-80 ... 200 °С), 4 ... 20 ма;
- Живлення: 10 ... 30 VDC,
- Захисний ковпачок ZE29

Вибір давача тиску газів

Для забезпечення безпеки процесу обігріву необхідно контролювати параметри тиску в газових каналах. Оскільки, температура в газових каналах може перевищувати 400 °С, а тиск 15 МПа, тому необхідно підібрати давачі, що задовольняють дані параметри.

Серед широко розповсюджених давачів тиску, можна виділити такі типи : ємнісний, індуктивний, давач магнетоспротивлення (давач Холла), п'єзоелектричний, тензодатчик, віброелемент, і потенціометрический тип давача.

Ємнісний давач складається з паралельних пластин - конденсаторів, з'єднаних з діафрагмою, яка зазвичай металева і піддається тиску сил, що беруть участь в процесі, з одного боку і опорним тиском на іншій стороні. Електроди прикріплені до мембрани і отримують живлення від генератора високої частоти. Електроди відчують будь-яке переміщення діафрагми і це впливає на зміну ємності пластин-конденсаторів. Зміна ємності виявляється приєднаною електричним колом, яка виводить напругу відповідно до зміни тиску. Даний тип давача може працювати в діапазоні від 2,5 Па - 70 МПа з чутливістю 0,07 МПа.

Індуктивні давачі тиску працюють в поєднанні з діафрагмою або трубкою Бурдона, та виготовлені з феромагнітного сердечника, який прикріплений до пружного елемента і має первинну і дві вторинні обмотки. Струм подається на первинну обмотку. Коли сердечник по центру, то та ж напруга буде індукувати до двох вторинних обмоток. Коли сердечник переміщається під впливом

тиску, відношення напруги між двома вторинними обмотками змінюється. Різниця напруг пропорційна зміні тиску.

Такі датчики можуть бути використані з будь-яким пружним елементом (хоча, як правило, використовуються в поєднанні з діафрагмою або трубкою Бурдона). Зчитування значення створюваного тиску, буде визначатися калібруванням напруги. Таким чином, діапазон тиску, в якому може бути використаний цей давач визначається щодо пружного елемента, але лежить в діапазоні від 250 Па - 70 МПа.

Давачі тиску, засновані на принципі магнетоопору, також мають феромагнітний сердечник. При зміні тиску, гнучкий елемент переміщує феромагнітну пластину, що призводить до зміни магнітного потоку ланцюга, яке може бути виміряно. Ситуації, в яких можна було б використовувати електричний елемент це ситуація, в якій індуктивний датчик не генерує досить точне вимірювання. Діапазон тиску для даного методу складає від 250 Па до 70 МПа з чутливістю 0,35 МПа.

П'єзоелектричні давачі використовують, у якості давача, – кристал. Коли тиск прикладається до кристалу, він деформується і створюється невеликий електричний заряд. Вимірювання електричного заряду пропорційно зміні тиску. Цей тип давача має дуже швидкий час відгуку на постійні зміни тиску. Подібно давачу тиску заснованого на принципі вимірювання магнетоопору, п'єзоелектричний елемент дуже чутливий, але реагує набагато швидше. Таким чином, якщо час має суттєве значення, п'єзоелектричний давач буде пріоритетний до використання. Діапазон тиску датчиків такого типу становить 0,021 - 100 МПа з чутливістю 0,1 МПа.

Потенціометричні давачі мають важіль, механічно прикріплений до пружного давача тиску. При зміні тиску, деформується пружний елемент, в результаті чого змушує важіль рухатися вперед або назад по потенціометру і знімаювати показання опору. Ці чутливі елементи належать оптимальному робочому діапазону, але обмежені багатьма факторами. Таким чином, вони є давачами нижнього рівня, які не використовуються занадто часто. При низькій чутливості і робочому діапазоні, вони можуть найкраще підійти в якості дешевого детектора даючи грубу оцінку. Діапазон тиску 0,035 - 70 МПа з чутливістю 0,07 -0,35 МПа.

Тензорезистивний давач виявляє зміни тиску шляхом вимірювання зміни опору мостової схеми Вітстона. Загалом, ця схема використовується для визначення невідомого електричного опору, врівноважуючи дві секції мостової схеми, так щоб ставлення опорів в одній секції було таким же, як і в іншій секції, повертаючи нуль, в гальванометрі в центральній гілці. Одна із секцій містить невідомий компонент, опір якого має бути визначено, тоді як інша секція містить резистор з відомим опором, яке можна регулювати.

Тензодавач поміщає чутливі елементи на кожному з резисторів і вимірює зміна опору кожного резистора під дією зміни тиску. Опір визначається рівнянням , $R = \rho \frac{L}{A}$, де ρ = питомий опір провідника, L = довжина провідника, і A = площа поперечного перерізу провідника. Зміна тиску буде або подовжувати, або стискати провідник, отже, давач стиснення необхідний на одному резисторі, а давач подовження на іншому. Щоб контролювати вплив температури (дріт буде також або подовжуватися, або стискатися через зміни температури), вільний давач потрібно розмістити на інших двох резисторах. Ці давачі часто є одним з типів напівпровідника (n-тип або p-тип). Таким чином, чутливість таких давачів значно більше, ніж чутливість їх металевих аналогів, проте з більшою чутливістю приходить більш вузький функціональний діапазон: температура повинна залишатися незмінною, щоб отримати дійсне значення. Ці давачі сильно залежать від змін температури (на відміну від інших типів електричних компонентів). Діапазон тиску 0 - 1400 МПа з чутливістю 1,4 - 3.5 МПа.

Вібраційні давачі тиску функціонують за допомогою вимірювання зміни резонансної частоти віброуючих елементів. Струм проходить через дроти, індукуючи електрорушійну силу в провіді. Потім зусилля збільшується, що викликає коливання дроту. Тиск впливає на цей механізм, за допомогою впливу на сам провід: підвищення тиску зменшує напругу в дроті і знижує кутову частоту коливань дроту. При вимірюванні абсолютного тиску, давач розміщують в циліндрі під вакуумом. Ці давачі вимірювання абсолютного тиску є дуже ефективними: вони виробляють повторювані результати і слабо схильні до впливу температури. Їм не вистачає чутливості в процесі вимірювання, проте, таким чином, вони не дуже підходять для процесу, в якому необхідно відстежувати короточасні зміни тиску. Діапазон тиску: 0,0035 - 0,3 МПа з чутливістю 1E-5 МПа.

На підставі технічних характеристик, створимо таблицю порівняння Таблиця 4.1.

За результати аналізу технічних параметрів, представлених в таблиці, оберемо тензотерезистивний давач DMK 331P. Особливість давача тиску DMK 331P - це вимір в'язких і агресивних середовищ з високим тиском, та при високій температурі. DMK 331P виконаний на основі керамічного чутливого елемента, відмітними особливостями якого є низька температурна похибка, хороша лінійність і довготривала стабільність.

Можливий вибір заповнює рідини: силіконове масло (стандартно), харчову олію, галокарбон. Для використання при високих температурах можливо спеціальне виконання з охолоджуючим елементом (радіатором).

Різні варіанти вихідних сигналів і електричних роз'ємів дозволяють використовувати DMK 331P в безлічі областей.

Датчик може використовуватися також у вибухонебезпечних зонах.

Основні характеристики:

Таблиця 4.1 – Таблиця порівняння технічних характеристик давачів тиску

Тип давачів	Діапазон вимірювання	Чутливість	Переваги	Недоліки
Ємнісні	2,5Па–70МПа	0,07 МПа	Вимірювання низьких тисків і вакууму; міцна конструкція	Повністю електронний; Ємнісні пластини можуть злипатися в процесі експлуатації
Індуктивні	250Па–70МПа	0,35 МПа	Висока чутливість	Обмежені пружними елементами; Більш грубі в порівнянні з датчиками магнетосопротивлення
Магнетоопору	250Па–70МПа	0,35 МПа	Висока чутливість	Вимагають наявності зовнішнього джерела змінного струму
П'єзоелектричні	0,021...100МПа	0,1 МПа	Швидкість відгуку	Підпадає під вплив високих температур і статичних сил.
Потенціометричні	0,03...70МПа	0,07–0,35МПа	Маленькі розміри	Маленька чутливість і робочий діапазон
Тензорезистивний	0...14000МПа	1,4 – 3,5 МПа	Дуже висока чутливість можуть бути використані на мобільних частинах	Надзвичайно повільний час відгуку; слабкий вихідний сигнал
Вібраційні	0,0035...0,3МПа	1Е – 5МПа	Дуже точні; не схильні до змін температури	Не можуть бути використані при високому тиску

- Діапазони тиску: від 0 ... 1 до 0 ... 400 бар, абсолютне, надмірне, розрідження
- Основна похибка: 0,5 / 0,25% ДІ
- Вихідний сигнал: 0/4 ... 20 мА, 0 ... 10 В, 0 ... 5 В, HART-протокол

- Сенсор: керамічний тензорезистивний

Вибір давачів витрати природного газу, топочних газів

Речовини, витрати яких необхідно виміряти, можуть бути стисливими (газ) або нестисливими (рідина), і методики вимірювання витрати в обох випадках мають свої особливості. Розглянемо типи найпоширеніших витратомірів за принципом дії.

Електромагнітний витратомір. Технічно електромагнітні витратоміри представляють собою набір сенсорів і трансмітерів. Залежно від потоку, змінюється стан електромагнітного поля, яке зчитується сенсорами і перетворюється трансмітерами в більш простий для подання вид.

Ультразвуковий витратомір використовує принцип «ехолокації». Залежно від потоку, змінюється час проходження ультразвукової хвилі.

Витратомір Кориоліса, найскладніші у виконанні, але з найменшою похибкою.

Вимірювання здійснюється за рахунок ефекту Кориоліса (ефект відхилення від заданої траєкторії за рахунок впливу зовнішніх сил)

Вихровий витратомір. Принцип вимірювання ґрунтується на підрахунку вихрових доріжок Кармана. Щоб зрозуміти цей принцип, уявіть прапор, який розташований за вітром. І хвилі, які утворюються на прапорі під дією вітру - це і є вихрові доріжки.

Масовий витратомір. Усередині такого витратоміра знаходиться підігрівач датчик. Чим більше масовий потік омиває цей датчик, тим більше теплової енергії віддається. Щоб підтримувати температуру датчика постійною, необхідно збільшувати потужність підігріву датчика. За рахунок цієї витрачається потужності і обчислюється витрата речовини.

Отже, для визначення витрати газу та повітря, що подається до камери згорання, будемо використовувати давач ІРВІС-РС4М-ППС. Даний давач призначений для виміру витрати природного газу, азоту, вуглекислого газу та ін. очищених, осушених газів.

Основні характеристики давача:

- Робочий газ: природний газ, нафтовий газ, водяна пара, повітря, азот, вуглекислий газ і ін. неагресивні гази;
- Похибка вимірюваного обсягу зведеного до стандартних умов: не більше 1% при $Q_{пер} \dots Q_{наіб}$, та не більше $(0,5 + 2Q_{пор} / Q)\%$ при $Q_{пор} \dots Q_{пер}$;
- Діаметри умовного проходу: 27, 50, 80, 100, 150, 200, 300 мм;
- Діапазон вимірюваних витрат газу при робочих умовах: від 8 м³/год до 12000 м³/год;
- Тиск вимірюваного газу: від 0,05 до 10 МПа;
- Температура вимірюваного газу: від -40 до + 250 °С;
- Температура навколишнього середовища' від -40 до + 45 °С;

- Живлення: 220 (+ 140-130) В, 50 ± 1Гц;
- Вибухозахист: 1ExibdIICT4X;
- Міжповірочний інтервал: 3 роки.

До основних переваг даного давача можна віднести:

- Висока точність вимірювань;
- Широкий діапазон вимірювань;
- Стабільність метрологічних характеристик;
- Можливість роботи на нестационарних потоках;
- Нечутливість до гідравлічних ударів;
- Стійкість до забруднень;
- Простота монтажу;
- Простота і зручність в експлуатації;
- Відсутність рухомих частин, схильних до зносу.

Проте, для вимірювання витрати газів у каналах опалення необхідно використовувати давачі, здатні працювати при високих температурах. Тому, для цього будемо використовувати витратоміри Rosemount 3095MFC на базі діафрагм Rosemount серії 405.

Основні характеристики:

- Вимірювані середовища: газ, пар, рідини;
- Параметри вимірюваного середовища:
 - надлишковий тиск в трубопроводі до 10 МПа;
 - температура: -40 ... 232 ° С (інтегральний монтаж давача);
100 ... 454 ° С (віддалений монтаж давача);
- Температура навколишнього середовища: -40 ... 85 °С;
- Ду трубопроводу: 15 ... 200 мм (для діафрагми Rosemount 405P);
50 ... 200 мм (для стабілізуючої діафрагми Rosemount 405C);
- Вихідні сигнали: 4-20 мА / HART, FOUNDATION fieldbus;
- Динамічний діапазон 1: 5, 1: 8, 1: 14 (в залежності від виконання датчика);
- Межі основної відносної похибки вимірювань витрати до ± 0,7%;
- Наявність вибухонебезпечного виконання: Exia, Exd.

Вибір давача кисню

У якості давача кисню будемо використовувати Oxumitter™ 4000 In Situ - це перший в світі датчик кисню з оксиду кремнію, призначений для вимірювання топкових газів за місцем і володіє

сертифікатом вибухозахищеності. Вимірювання кисню можна використовувати в системах управління, або при роботі з котлами - для тонкої настройки співвідношення пального / повітря в суміші, забезпечує максимальну ефективність.

Особливості:

- Проста установка і обслуговування
- Захист від вологи і пилу IP66
- Температура навколишнього середовища $-40 \dots + 85 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Надійна цирконієва осередок + спец.ісполнение для високосірчистих газів
- Температура робочого середовища до $700 \text{ } ^\circ\text{C}$ ($1050 \text{ } ^\circ\text{C}$ з байпасом)
- Ручне калібрування або автокалібровка
- EExd II B + H2T2 (електронікаT6)
- 4 -20 mA, HART®, Foundation Fieldbus
- Висока точність: $\pm 0.75\%$ від показання
- AMS і Plantweb

Вибір давача витрати води з клапаном

Для контролю та регулювання витрати води, що подається до парозволожувача, будемо використовувати крильчатий витратомір ЕМІС-ПЛАСТ 220Р, який обладнано клапаном.

Даний пристрій призначений для вимірювання об'єму та об'ємної витрати води, води в суміші з нафтою і механічними домішками в трубопроводах високого тиску і передачі отриманої інформації для технологічних цілей і обліково-розрахункових операцій. Широко використовується в промисловості в складі вузлів технічного і, істотно рідше, комерційного обліку споживання.

Принцип дії: Проходячи через вимірювальний тракт лічильника, вимірюване середовище змушує обертатися лопаті вимірювального механізму, швидкість обертання яких залежить від об'ємної витрати середовища. Швидкість обертання механізму магнітно-індуктивним способом передається в блок електронного перетворювача. Електронний перетворювач здійснює обробку цього сигналу: обчислення значення обсягу витрати середовища і формування вихідних сигналів лічильника, а також відображення інформації на індикаторі. Регулювання ж в автоматичному режимі здійснюється поворотом редуктора штока клапана електродвигуном, керованим контроллером.

Технічні характеристики витратоміру з регулятором ЕМІС-ПЛАСТ 220р:

- Надмірний тиск вимірюваного середовища: до 42 МПа;
- Температура вимірюваного середовища: від 0 до плюс 80°C ;
від 0 до плюс 150°C .

- В'язкість вимірюваного середовища: до 5 сп (легкі масла, дизельне паливо);
- Температура навколишнього середовища: від -40 до 55 °С;
- Атмосферний тиск від 84 до 106,7 кПа;
- ЖК дисплей працює при температурі: від -20 °С;
- Надмірний тиск вимірюваного середовища: до 16 МПа.
- Вихідні сигнали:
 - аналоговий струмовий 4-20 мА;
 - цифровий стандарту RS-485.

Вибір давача швидкості руху конвеєрного поду

Для контролю руху та швидкості конвеєрного поду будемо використовувати ДКС - 2М. Даний давач призначений для отримання електричного сигналу, використовуваного при контролі руху і швидкості стрічки стрічкового конвеєра - в прямому і зворотному напрямку - в діапазоні швидкостей від 0,01 до 5 м/сек в шахтах, небезпечних по газу (метану) і пилу, на поверхні шахт в закритих приміщеннях.

Тахогенераторний давач швидкості представляє собою десятиполюсний генератор однофазного змінного струму з ротором у вигляді постійного магніту і статором у вигляді циліндричної котушки. Магніт ротора посаджений на вал, а на другому кінці якого (поза корпусом) розташований привідний ролик.

Ротор, статор і опорні підшипники змонтовані всередині пресованого корпусу. Корпус з'єднаний з важелем, який в свою чергу пов'язаний зі скобою кріплення, давач за допомогою болтів кріпиться до рами конвеєра на холостій гілці. Зв'язок давача з стрічкою конвеєра здійснюється шляхом притиснення ролика до стрічки. Кабельний ввід датчика розрахований для введення гнучкого кабелю діаметром від 16 до 22мм.

При русі стрічки конвеєра за рахунок сил тертя між стрічкою і роликом обертається ротор (магніт) датчика. В обмотці статора наводиться змінна ЕРС (електро рушійна сила), частота і напруга якої прямо пропорційні швидкостям стрічки і обертання ролика.

Технічні характеристики:

Контролюєма швидкість стрічки: до 5,0 м/с;

Вид електричного сигналу: однофазна напруга змінного струму;

Рівень сигналу при активному навантаженні (4 + 0,1) кОм при частоті сигналу (12,5 + 0,5) Гц повинен бути не менше: 6,5 В;

Довжина кабельної лінії зв'язку між давачем і апаратом контролю швидкості: не більше 200 м;

Рівень вибухозахисту: PO;
 Ступінь захисту: IP54;
 Маса: 4,5 кг;
 Габаритні розміри: 350x240x195 мм;
 Код ТНЗЕД: 9029 10 900.

Вибір давача зсуву стрічки

Для контролю положення конвеєрної стрічки будемо використовувати давач зсуву стрічки TOUCHSWITCH TS2V4CAI. Давач TouchSwitch представляє собою електронний кінцевий вимикач без рухомих частин, який визначає зміщення стрічки і шківів в конвеєрах і ковшових елеваторах. Коли стрічка зміщується або шків зсувається і дотикається до давача, вбудована електронна схема визначає силу тиску стрічки або шківів і активує контакт реле.

Цей контакт реле використовується для моментальної аварійної сигналізації і подальшої зупинки машини. Давачі, як правило, встановлюються парами на протилежних сторонах стрічки. Датчики можна підключити безпосередньо до виходу ПЛК, або для більшої безпеки до центральної системи управління Hotbus або Watchdog Elite.

Технічні характеристики:

- Поверхня давача виконана із загартованої нерж. Сталі;
- Наявність рухомих частин: ні;
- Захист від пилу та налипання матеріалу: так;
- Можливість зовнішнього тестування роботи: так;
- Клас захисту: IP65;
- Дозволи / Сертифікати: АTEX / IECEx для Зони 20 і 21;
- Напруга живлення: 12 VDC;
- Струм живлення: 60mA макс;
- Вихід: Релейний контакт 250 VAC, 5A;
- Індикація стану сенсора: червоний – живлення включено і сигналізація викл.;
- Кабель: 6-ти жильний, довжина- 2 м;
- Вихід: релейний контакт 250 VAC, 5 A;
- Матеріал поверхні сенсора: загартована анодирована нержавіюча сталь;
- Корпус сенсора: пресована сталь без швів, покрита епоксидною фарбою;
- Розміри: діаметр 89мм x висота 45мм;
- Вага: 0,77 кг.

4.3 Вибір виконуючих механізмів

Вибір клапанів для каналів систем опалення та вентиляції

Клапан призначені для установки в якості регулюючих органів в системах автоматичного регулювання технологічних процесів. Робоче середовище для клапана 25с947нж - вода, пара, повітря та ін. рідкі і газоподібні середовища, нейтральні до матеріалів деталей, дотичних із середовищем. Приєднання до трубопроводу - фланцеве.

Робоче середовище проходить через корпус. Затвор складається з плунжера і сідла. Кришка забезпечує напрям плунжера. Сальниковий вузол, утворений ущільненням сальниковим і гайкою сальника, знаходиться в кришці. Герметичність клапана щодо навколишнього середовища забезпечується прокладкою і ущільненням сальниковим.

Управління клапаном здійснюється приводом зусилля, розвивається ЕІМ, передається на поршень, який переміщається вгору і вниз, змінюючи площу відкритого прохідного отвору сідла і регулюючи витрату робочого середовища.

Основні технічні характеристики:

Можливістю керування по струму (4 ... 20 мА) або напрузі (0 ... 10V)

Діаметр номінальний DN: 100 мм;

Тиск номінальний PN: 4,0 МПа;

Пропускна характеристика: лінійна;

Робочий хід: 32 мм;

Умовна пропускна здатність K_{vy} : 1000, 2000, 2500, 3200, 4000, 6300 м³/година;

Допустимий перепад тисків ΔP , 1,6 МПа;

Відносне протікання в затворі: 0,1 (при $\Delta P_{isp} = 0,4$ МПа) % від K_{vy} ;

Температура робочого середовища T: -40 ... +450 °С;

Температура навколишнього середовища: -25 ... +50 °С.

Електропривід додатково обладнаний джерелом живлення 220В / 24В DC.

4.4 Вибір способу управління двигуном конвеєра

У якості електроприводів конвеєра, та рециркуляційних вентиляторів використовуються асинхронні двигуни малої потужності (до 20 кВт). Цей вибір обумовлений перевагами асинхронних двигунів перед двигунами постійного струму, а саме:

Недоліки двигуна постійного струму ДПС:

1. Недоліки двигунів постійного струму в основному пов'язані з наявністю колекторного вузла. ДПС вимагають ретельного технологічного обслуговування (протирання колектора, часті заміни і регулювання щіток і т.д.), що збільшує експлуатаційні витрати і знижує надійність машини.

2. ДПС мають погані масогабаритні показники, що в кінцевому підсумку збільшує ціну двигунів. ДПС дорожче асинхронних двигунів приблизно в три рази.

3. У зв'язку з наявністю колекторного узла У ДПС накладається обмеження на швидкість наростання струму, що зменшує швидкодію електроприводу.

4. Коефіцієнт потужності тиристорних перетворювачів залежить від вузла регулювання, тому при регулюванні швидкості вниз від номінальної збільшує частка зовнішніх гармонік, що веде до зниження коефіцієнта використання двигуна, збільшення потіли потужності і засмічення живильної середовища вищими гармоніками (перешкодами).

Переваги асинхронних двигунів АД перед ДПС:

1. Асинхронні двигуни прості і надійні в експлуатації, потребують мінімум експлуатаційних витрат.

2. Асинхронні двигуни мають кращі масогабаритні показники, тому найбільш дешеві.

3. Асинхронні двигуни мають більший ККД у порівнянні з ДПС при тій же потужності.

4. Асинхронні двигуни витримують великі перевантаження в порівнянні з ДПС, що дозволяє одержати більш високу швидкодію.

Для управління АД вибираємо частотне регулювання, так як:

а) Система ПЧ-АД дозволяє робити плавний пуск електроприводу, що дозволяє уникнути механічних коливань в кінематичного ланцюга, підвищує її надійність і термін служби.

б) Система ПЧ-АД дозволяє регулювати швидкість обертання у всьому діапазоні без втрати перевантажувальної здатності, чого не дозволяє система ТРН-АД.

в) Система ПЧ-АД дозволяє плавно регулювати швидкість обертання у всьому діапазоні, чого не дозволяє здійснювати реостатне регулювання і регулювання перемиканням пар полюсів.

г) Система ПЧ-АД дозволяє регулювати кількість споживаної потужності, що робить систему ПЧ-АД найекономічнішою з перерахованих. Це властивість особливо важливо в даній системі, тому що електропривод працює на швидкостях нижче номінальної тривалий підтримки електродвигуна в режимі оптимального ККД. В даному випадку така економія може виявитися суттєвою, тому що статичний момент дорівнює приблизно половині номінального моменту на двигуні.

4.5 Вибір комплексного перетворювача

Для проєктованих електроприводів обираємо перетворювачі частоти фірми «Danfoss» серії VLT 5000. Фірма «Danfoss» випустила перший в світі серійний перетворювач частоти в 1968 р з тих

пір фірма встановила стандарт якості для електроприводів. Її частотні перетворювачі VLT сьогодні продані і обслуговуються більш ніж в 100 країнах на шести континентах. У новій серії перетворювачів VLT 5000 закладена система управління VVCPLUS - це нова система векторного керування без датчиків управляється моменту. У порівнянні зі стандартним управлінням коефіцієнтом напруга / частота система VVCPLUS забезпечує поліпшену динаміку і стійкість як при зміні завдання швидкості, так і при зміні моменту навантаження. В системі управління ПЧ впроваджена система цифрова захист, яка гарантує надійну роботу навіть при найнесприятливіших експлуатаційних умовах. Електроприводи фірми «Danfoss» з системою управління VVCPLUS допускають ударні навантаження у всьому діапазоні швидкостей і швидко реагують на зміну завдання. Щоб зробити програмування простим і зрозумілим, параметри розділені на різні групи. Швидке меню проводить користувача через програмування декількох параметрів, які повинні бути встановлені, щоб почати роботу. Пульст управління знімний. Він включає алфавітно-цифровий дисплей з чотирьох рядків, даючи можливість відображати чотири параметри одночасно. Через знімний пульст управління запрограмовані значення можуть бути скопійовані з одного VLT на інший. Це зменшує витрати часу на програмування при заміні приводів або включення додаткового приводу в систему. Процес програмування виявляється легше, ніж в інших серіях. Перетворювачі VLT 5000 виконують більшість налаштувань автоматично. ПЧ серії VLT 5000 побудовані на базі інверторів з проміжною ланкою постійного струму і широтно-імпульсною модуляцією. В якості силових ключів використовуються біполярні транзистори з ізольованим керуючим електродом (IGBT). Функціональна схема перетворювача частоти серії VLT 5000 представлена.

L, C1 ... C3 - вхідний LC фільтр, що поставляється за спеціальним замовленням, служить для згладжування імпульсів вхідного струму, а так само блокує високочастотні перешкоди з мережі в ПЧ і навпаки.

VD1 ... VD6 - некерований випрямляч для перетворення енергії змінного струму в енергію постійного струму.

Rz - зарядний резистор для попереднього заряду конденсаторів силового фільтра C4 ... C6.

C4 ... C6 - силові конденсатори для фільтрації випрямленої напруги в ланці постійного струму.

Rs - резисторний датчик зворотного зв'язку по струму інвертора для контролю струму інвертора, захисту інвертора від струмів короткого замикання.

VT1 ... VT6 - транзистори силового струму інвертора, можуть бути скомпоновані у вигляді півмилі.

M - асинхронний виконавчий двигун.

ДБЖ - імпульсний блок живлення, забезпечує кілька стабілізованих напруг.

К - реле попереднього заряду. Чи включається після попереднього заряду силових конденсаторів, шунтуючи своїм контактом резистор R з.

БВВУ - блок верхніх вихідних підсилювачів.

БНВУ - блок нижніх вихідних підсилювачів.

БВВУ і БНВУ служать для формування імпульсів управління силовими ключами.

Буї - блок управління інвертором. Головний керуючий вузол, який формує на виході 6 імпульсних сигналів формування ШІМ за різними алгоритмами. Відповідно до сигналами ОС, сигналами управління і вибраними комплексами програм буї виконується на базі мікропроцесорних контролерів.

БІФ - блок інтерфейсу, забезпечує зв'язок схеми управління перетворювачем із зовнішнім пристроєм ЦПУ і АЛУ, персональним комп'ютером (PC), провідним приводом MD, а також видає сигнал для відомого приводу, якщо даний ЕП є ведучий.

БРИТ - блок реостатно-інверторного гальмування.

RT - силовий гальмівний резистор.

БРИТ і RT поставляються за бажанням замовника.

Загальні технічні дані перетворювачів частоти VLT 5003 :

- Вихідний струм: $I_{VLT.N}$ 4.1A;
 $I_{VLT.MAX}$ (60 с) 6.5A;
- Вихідна потужність: $S_{VLT.N}$ 31 кВт·А;
 $P_{VLT.MAX}$ (60 с) 15 кВт;
- Напруга живлення: 0...220 В;
- Частота живлення: 50/60 Гц;
- Максимальний дисбаланс напруги живлення: $\pm 2\%U_n$;
- Коефіцієнт потужності: 0.9...1.0;
- Пусковий крутний момент на протязі 1хв: 160%;
- Пусковий крутний момент на протязі 0.5с: 180%;
- Час розгону: 0.05...3600с;
- Діапазон частот: 0...1000Гц;
- Дозвіл на вихідний частоті: ± 0.003 Гц;
- Діапазон регулювання швидкості: 1...100; 1...1000;
- Число програмованих (по напрузі) аналогових входів: 8;

4.6 Вибір засобів автоматизації

Апаратною платформою АСУ ТП обрано програмований контролер серії S7-300, а саме 312 модель, виробництва Siemens. Даний контролер розроблений на модульній базі, що

розширюється, архітектури для задач управління в реальному часі. Системи, створені на базі даного ПЛК варіюються від нескладних одиночних систем управління (до 448 точок вводу / виводу) до багатоточкових мереж (до 64 000 точок вводу / виводу). Для управління технологічним процесом пропонується застосувати мікропроцесорний контролер фірми SIEMENS. Максимальна кількість каналів вводу-виводу: дискретних-256, аналогових-64. CPU 312 має робочу пам'ять в обсязі 32 кб, що буде досить для даного технологічного процесу.

Функціональні можливості автоматизованої системи повинні забезпечувати зручність обробки інформації і високу надійність.

Всі центральні процесори (CPU) S7-300 характеризуються такими показниками:

- високу швидкодію;
- завантажується пам'ять у вигляді мікрокарти пам'яті ММС ємністю до 8 Мб. (ММС використовується для завантаження програми, збереження даних при перебоях в харчуванні CPU, зберігання архіву проекту з символічного таблицею і коментарі, а також для архівування проміжних даних);
- розвинені комунікаційні можливості;
- робота без буферної батареї.

Вихідними даними при виборі контролера є інформаційна навантаження на канал, а саме:

- Аналогових входів: 8
- Аналогових виходів: 2
- Дискретних входів: 4
- Дискретних виходів: 4
- Всього: 16

Всі центральні процесори (CPU) S7-300 характеризуються такими показниками:

- високу швидкодію;
- завантажується пам'ять у вигляді мікрокарти пам'яті ММС ємністю до 8 Мб. (ММС використовується для завантаження програми, збереження даних при перебоях в харчуванні CPU, зберігання архіву проекту з символічного таблицею і коментарі, а також для архівування проміжних даних);
- розвинені комунікаційні можливості;
- робота без буферної батареї.

Необхідно також підібрати сигнальні модулі (SM), призначені для введення і виведення дискретних і аналогових сигналів, в тому числі і з вбудованими Ех-бар'єрами. Підтримуються вітчизняні градування термометрів опору і термопар. Для фіксації кабелів, які підводять в сигнальних модулях використовуються фронтальні штекери.

вибираємо:

- один модуль вводу аналогових сигналів (AI, 32 канали) SM 331 з вхідним уніфікованим сигналом 4 ... 20 мА, замовний номер - 6ES7 331-7NF00-0AB0;
- один модуль виведення аналогових сигналів (AO, 16 каналів) SM 332 з вихідним уніфікованим сигналом 4 ... 20 мА, замовний номер - 6ES7 332-5HD01-0AB0;
- один модуль введення дискретних сигналів (DI, 8 каналів) SM 321 з входом по напрузі = 24В, і з мінусом на спільній точці, замовний номер - 6ES7 321-1BH50-0AA0;
- один модуль виводу дискретних сигналів (DO, 8 каналів) SM 322 з вихідним сигналом по напрузі = 24В, релейний вихід, замовний номер - 6ES7 322-1HF10-0AA0.

У якості *панелі оператора*, оберемо безвентиляторний панельний промисловий комп'ютер (ПК) GOT-812H-880-C-DC від компанії АХІОМ. Основною особливістю даного ПК, основною перевагою якого є моноблочність корпусу, та наявність сенсорного екрану.

Конструкція корпусу: Нержавіюча сталь

Вид монтажу: Вбудований, Монтаж в панель, Монтаж на стіні, VESA 100

Матеріал передньої панелі: Нержавіюча сталь

Ступінь захисту по передній панелі: IP66, NEMA4

Ступінь захисту корпусу: IP66, NEMA4

Тип дисплея: LCD TFT

Діагональ екрану: 12.1 "

Максимальна роздільна здатність: 1024 x 768

Яскравість номінальна: 800 нт

Тип підсвітки: Світлодіод

Тип сенсорного екрану: Ємнісний

Мультичач: так

Тип встановленого процесора: Intel Core i5-4300U

Частота процесора: 1.9 ГГц

Чіпсет: Intel Haswell SoC

Тип оперативної пам'яті: DDR3L 1600

Роз'єми для модулів оперативної пам'яті: 1xSODIMM 204pin

Максимальний об'єм оперативної пам'яті: 8 ГБ

Відеоконтроллер: Вбудований в процесор

Каналів SATA 3: 1

Інтерфейси введення-виведення:

Кількість COM-портів всього: 2

COM портів RS-232/422/485: 2

Портів USB всього: 4

Портів USB v2.0: 4

Портів Ethernet всього: 1

Портів 10/100/1000 Mbit / s: 1

Всього слотів розширення: 2

Слотів Mini-PCIe: 2 Відсіки для накопичувачів

Всього відсіків для накопичувачів: 1

Кількість відсіків для 2.5 " - внутрішні: 1

Тип охолодження: Безвентиляторний

Органи управління: On / Off, Кнопки управління

Роз'єми: 6xM12

Програмний сторожовий таймер: так

Вхідна напруга живлення DC: 9 ... 36

Сумісність з операційними системами: Windows 7, Windows Embedded Standard 7, Windows 8, Windows Embedded Standard 8, Windows 8.1

Умови експлуатації

Температура експлуатації: -20 ... 50

Вологість: 10 ... 95 (без конденсату)

Вібрація: 2G, 5 ~ 500Hz

Габарити

Ширина: 318 мм

Висота: 248.5 мм

Глибина: 75.3 мм

Стандарти та сертифікати: CE

У якості *інтерфейсу* сполучення будемо використовувати інтерфейс послідовної передачі даних будемо використовувати RS485.

Інтерфейс RS-485 (Recommended Standard 485 або EIA / TIA-485-A) - рекомендований стандарт передачі даних по двопровідному напівдуплексному багатоточковому послідовному симетричного каналу зв'язку. Спільна розробка асоціацій: Electronic Industries Alliance (EIA) і Telecommunications Industry Association (TIA).

Стандарт описує тільки фізичні рівні передачі сигналів (тобто тільки 1-й рівень моделі взаємозв'язку відкритих систем OSI). Стандарт не описує програмну модель обміну і протоколи обміну. RS-485 створювався для розширення фізичних можливостей інтерфейсу RS232 з передачі двійкових даних.

Властивості інтерфейсу стандарту RS-485.

1. Двунправленна напівдуплексна передача даних. Потік послідовних даних передається одночасно тільки в одну сторону, передача даних в іншу сторону вимагає перемикання приймач. Приймач прийнято називати "драйверами" (driver), цей пристрій або електричний ланцюг, яка формує фізичний сигнал на стороні передавача.

2. Симетричний канал зв'язку. Для прийому / передачі даних використовуються два рівнозначних сигнальних дроти. Провід означаються латинськими буквами "А" і "В". За цими двома проводам йде послідовний обмін даними в обох напрямках (по черзі). При використанні кручений пари симетричний канал істотно підвищує стійкість сигналу до синфазної перешкоди і добре пригнічує електромагнітні випромінювання створювані корисним сигналом.

3. Диференціальний (балансний спосіб передачі даних). При цьому способі передачі даних на виході приймач змінюється різниця потенціалів, при передачі "1" різниця потенціалів між АВ позитивна при передачі "0" різниця потенціалів між АВ негативна. Тобто, ток між контактами А і В, при передачі "0" і "1", тече (балансує) в протилежних напрямках.

4. Багатоточковість. Допускає множинне підключення приймачів і приймач до однієї лінії зв'язку. При цьому допускається підключення до лінії тільки одного передавача в даний момент часу, і безліч приймачів, інші передавачі повинні чекати звільнення лінії зв'язку для передачі даних.

5. Низькоімпендансний вихід передавача. Буферний підсилювач передавача має низькоомний вихід, що дозволяє передавати сигнал до багатьох приймачів. Стандартна здатність навантаження передавача дорівнює 32-м приймачів на один передавач. Крім цього, струмовий сигнал використовується для роботи "кручений пари" (чим більше робочий струм "кручений пари", тим сильніше вона пригнічується синфазних перешкоди на лінії зв'язку).

6. Зона нечутливості.

Якщо диференціальний рівень сигналу між контактами АВ не перевищує $\pm 200\text{мВ}$, то вважається, що сигнал в лінії відсутній. Це збільшує стійкість передачі даних.

Технічні характеристики RS-485.

- Допустима кількість приймач (драйверів): 32;
- Максимальна довжина лінії зв'язку: 1200 м (4000ft);
- Максимальна швидкість передачі: 10 Мбіт/с;
- Мінімальний вихідний сигнал драйвера: $\pm 1,5\text{ В}$;
- Максимальний вихідний сигнал драйвера: $\pm 5\text{ В}$;
- Максимальний струм короткого замикання драйвера: 250 мА;
- Вихідний опір драйвера: 54 Ом;
- Вхідний опір драйвера: 12 кОм;
- Допустимий сумарний вхідний опір: 375 Ом;
- Діапазон нечутливості до сигналу: $\pm 200\text{ мВ}$;

- Рівень логічної одиниці: $(U_{ab}) > +200$ мВ;
- Рівень логічного нуля: $(U_{ab}) < -200$ мВ.

Переваги фізичного сигналу RS-485 перед сигналом RS-232

- Використовується однополярний джерело живлення +5, який використовується для живлення більшості електронних приладів і мікросхем. Це спрощує конструкцію і полегшує узгодження пристроїв.
- Потужність сигналу передавача RS-485 в 10 разів перевершує потужність сигналу передавача RS-232.
- Це дозволяє підключати до одного передавача RS-485 до 32 приймачів і таким чином вести трансляцію передачу даних.
- Використання симетричних сигналів, у якій є гальванічна розв'язка з нульовим потенціалом мережі живлення. В результаті виключено попадання перешкоди по нульовому проводу харчування (як в RS-232).
- З огляду на можливість роботи передавача на низкоомну навантаження, стає можливим використовувати ефект придушення синфазних перешкод за допомогою властивостей "кручений пари". Це істотно збільшує дальність зв'язку. Крім цього з'являється можливість "гарячого" підключення приладу до лінії зв'язку (хоча це не передбачено стандартом RS-485).
- Зауважимо що в RS-232 "гаряче" підключення приладу зазвичай призводить до виходу з ладу COM порту комп'ютера.

ВИСНОВКИ

В ході виконання кваліфікаційної роботи магістра було проаналізовано та вирішено, що існуючі системи не здатні в повній мірі задовольнити вимогам. У зв'язку з цим були сформовані функціональні задачі та розроблено:

- схему інформаційно-матеріальних потоків
- функціональну схему автоматизації системи керування процесом випікання хлібобулочних виробів, яка складається з наступних контурів:

1. контур подачі газу/повітря до газового пальника;
2. контур регулювання роботи конвеєра;
3. контур регулювання вологості в першій зоні пекарної камери;
4. контур регулювання роботи витяжної системи;
5. контур регулювання роботи системи обігріву.

На підставі функціональної схеми автоматизації було створено таблицю вхідних-вихідних сигналів.

Проаналізувавши функціональну схему автоматизації було вирішено дослідити роботу конвеєрної установки. В ході дослідження було:

- обрано тип електроприводу;
- проаналізовано умови роботи, режими і навантаження конвеєрних установок;
- проаналізовано особливості режиму роботи електроприводу конвеєра;
- розроблено математичну модель електроприводу стрічкового конвеєра;
- промодельовано роботу конвеєрної установки під час нормальної роботи та під час пуску.

На підставі функціональної схеми автоматизації та проведених досліджень було розроблено алгоритм керування, та проаналізовано й обрано давачі та виконуючі механізми.

Отримані результати можуть бути використані для створення аналогічних систем, або модернізації існуючих, що особливо актуально в нинішній ситуації харчової промисловості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні вказівки до змісту та структури кваліфікаційної роботи магістра для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітнього ступеня «магістр» денної, заочної та дистанційної форм навчання. Суми, Сумський державний університет, 2018
2. Частина 1 DataSheet SIMATIC S7-300, CPU 312 CPU
3. Шандров Б. В. Технические средства автоматизации: учебник для студентов высших учебных заведений. Москва, Издательский центр «Академия», 2007
4. Схемотехніка електронних систем: у 3 кн. Кн.3. Мікропроцесори і мікро-контролери. Підручник. / В.І.Бойко, А.М.Гуржій, В.Я.Жуйков та ін.– 2-е вид.– К.: Вища школа, 2014.– 399с.
5. Основи автоматики та автоматизації : навч. посіб. / Є. П. Пістун, І. Д. Стасюк; Нац. ун-т "Львів. політехніка". - Львів, 2014. - 333 с. - Бібліогр.: с. 303-304.
6. Ельперін І. В. Автоматизація виробничих процесів : підр. / І. В. Ельперін, О. М. Пупена, В. М. Сідлецький, С. М. Швед. – К. : Вид-во Ліра-К, 2015. – 378 с.
7. Дробот В.І. Технологія хлібопекарського виробництва. – К.: „Логос», 2002. – 365 с.
8. Групові технічні умови ТУУ 46.22.60-95 „Хліб із житнього та суміші житнього і пшеничного борошна». – Київ: Мінсільгосппрод України, 1995.
9. Циганова.Т.Б. Технологія та організація виробництва хлібобулочних виробів. - М.: Академія, 2006. - 448 с.
10. ДСТУ 4583:2006 «Хліб із житнього і пшеничного борошна. Загальні технічні умови».
11. Kozhubaev Y.N. Fuzzy control system for belt conveyor / Y.N. Kozhubaev, I.M. Semenov // Results of Joint Research Activity of Scientists from SaintPetesburg State Polytechnical University and Leibniz University of Hannover Proceeding of Symposium on. Automamated Systems and Technologies. – Hannover.: Leibniz University of Hannover – 2014. P. 111-114.
12. Lihua Shao, Typical Failure Analysis and Processing of Belt Conveyor / Shao Lihua // Volume 26 – 2011. P. 942-946.
13. Nechay O.M. Research of starting and braking modes of asynchronous electric pumps. Electrical and Computer Systems – 2014. no. 15 (91), P. 169-172.
14. Shirong, Z. Optimal control of operation efficiency of belt conveyor systems / Z.Shirong // Applied Energy – 2010 – June 2014. P. 929-937.
15. Vasilyev D.S. Study of electromechanical processes in direct start-up and braking of asynchronous motors with the variables and comparing them with soft start and braking. Bulletin of the Kremenchug National University. – 2010. no. 4 (60).CH.1. P. 43-49.

16. Хачатрян С.А., Деревяшкин И.В. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ МНОГОПРИВОДНОГО ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 7-1. – С. 37-41;
17. 王立国. Biscuit continuous tunnel furnace baking system to humidity effective control: pat. CN206380544U : IPC CN 201621346190 USA. 2016.
18. Christopher N. Wiggins Roger H. Wood. Tunnel ovens: pat. US4569658A : IPC US06647725 USA. 1984.
19. 幸雄 細川 惇次 高崎. Temperature control system for a tunnel oven: pat. JPH0822201B2 : IPC JP30182892A; JPH06121634A USA. 1992.
20. Philip J. Domenicucci Jean-Sebastien Labrie Alain Lemieux. Oven chain measurement system. 2013.
21. Viren, E. A. A Comparison of Drive Starting Mechanisms for Aggregate Belt Conveyors / E.A. Viren // SME Cincinnati. - Ohio, USA – 2013. 10 p
22. Masaharu Ogawa. Tunnel oven for making confectionery and bread: pat. JPH05168392A USA. 1991.
23. Douglas S. Jones Paul R Molloy William J. Day J. Conveyorized oven with moisture laden air impingement and method: pat. US7258881B2 : IPC A21B1/48; A21B1/245; A21B3/04; A23L3/18; A23L3/185; A23L3/365; A23L5/17 USA. 2002.
24. Сергей Павлович Грачев, Николай Александрович Леонтьев, Андрей Львович Флакман, Александр Георгиевич Шемпелев, Дмитрий Михайлович Суворов. System heating baking ovens: pat. RU82408U1 USA. 2009.
25. Fabre Henri. Bakery tunnel oven partic. for rapid baked girdle cakes - uses indirect heat exchangers to obviate carcinogenic soot contaminating prod.: pat. FR2398459A1 : IPC A; A21; A21B; A21B1/00 ; A21B1/42 ; A21B1/48 USA. 1977.