

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра автоматизації виробничих процесів

«Допущено до захисту»
Зав. кафедри АВП
к.т.н., доцент
_____Дідик О.К.
«__» _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему

**«Розробка системи автоматичного керування процесом
завантаження окатишів у випалювальну машину»**

**«Development of an automatic control system for loading
pellets into a roasting machine»**

Виконав здобувач вищої освіти II курсу
групи АК-23 М-1 (1,4)
174 «Автоматизація, комп'ютерно-
інтегровані технології та робототехніка»
_____Братушко Д.А.
«__» _____ 2024 р.

Керівник роботи
д.т.н, професор
_____Мацуї А.М.
«__» _____ 2024 р.

Рецензент

«__» _____ 2024 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	
1 Призначення та область застосування автоматизованої системи керування завантаженням окатишів.....	
1.1 Опис технологічного процесу.....	
2 Огляд існуючих рішень та обґрунтування прийнятого принципу побудови автоматизованої системи керування завантаженням окатишів.....	
2.1 Аналіз системи управління процесом завантаження окатишів в умовах ГЗК.....	
2.2 Огляд сучасних систем завантаження окатишів.....	
2.3 Розробка структурної схеми автоматичного управління.....	
2.4 Обґрунтування функції системи управління та функціональної схеми системи управління.....	
3 Опис та обґрунтування обраних проектних рішень автоматизованої системи керування завантаженням окатишів.....	
3.1 Залежність висоти шару окатишів від продуктивності вхідного потоку окатишів та швидкості руху візків випалювальної машини.....	
3.2 Розрахунок передаточних функцій системи завантаження окатишів на випалювальну машину.....	
3.3 Розрахунок передаточної функції двигуна.....	
3.4 Інформаційне забезпечення та вибір приладів автоматизації.....	
3.4.1 Вибір конвеєрних ваг.....	
3.4.2 Вибір датчика швидкості.....	
3.4.3 Вибір датчика рівня.....	
3.4.4 Вибір програмованого логічного контролера.....	
4 Розрахунки та експериментальні матеріали, що підтверджують працездатність виробу.....	

4.1 Імітаційне моделювання двигуна візка випалювальної машини.....	
4.2 Імітаційне моделювання системи завантаження окатишів на випалювальну машину та контроль висоти шару окатишів.....	
5 Опис організації робіт, що пов'язані із застосуванням автоматизованої системи керування завантаженням окатишів.....	
5.1 Програмне забезпечення системи управління завантаженням окатишів для контролера Modicon TSX Micro.....	
5.2 Алгоритм запуску тракту подачі окатишів на випалювальну машину.....	
Висновок.....	
Література.....	
Додаток А. Охорона праці.....	

ВСТУП

На сьогоднішній день залізорудні окатиші займають ключову роль серед основних матеріалів, що застосовуються для виготовлення сталі. Процес їх виробництва передбачає термічну обробку, що здійснюється в спеціалізованих випалювальних установках. Випалювання окатишів може виконуватись на одному з трьох типів агрегатів: конвеєрних випалювальних машинах, комбінованих системах типу конвеєрні грати – трубчаста піч або ж у шахтних печах. У металургійних підприємствах України найбільше застосовуються конвеєрні машини для випалу залізорудних окатишів завдяки їхній простій та надійній конструкції.

У глобальній металургійній промисловості технологічні процеси виробництва окатишів розподіляються наступним чином: трохи більше половини (близько 52%) виготовляють за допомогою стрічкових конвеєрних агрегатів, понад третину (34%) - на спеціалізованих установках з використанням решіток і трубчастих печей, майже сьому частину (13%) - в шахтних печах, і зовсім незначна доля - менше 1% - припадає на інші технологічні лінії та обладнання.

Запорукою отримання якісних та стійких випалених окатишів, а також підвищення ефективності технологічного процесу на агрегаті служить оптимізація товщини рудної маси, що потрапляє на конвеєр випалювальної установки.

Аналіз наукових досліджень виявив, що зі збільшенням висоти шару окатишів продуктивність демонструє екстремальні зміни, а питома витрата тепла постійно знижується. Це зумовлено процесом регенерації тепла в нижніх шарах. Зміна продуктивності випалювальної машини залежить від підвищення аеродинамічного опору шару при збільшенні його висоти. Через це сповільнюється швидкість фільтрації, що призводить до зменшення інтенсивності теплообміну в шарі. Як наслідок, час, необхідний для нагрівання окатишів до заданих технологічних температур, зростає, що негативно впливає на якість випалених окатишів.

Прогрес у вдосконаленні систем автоматичного регулювання технологічних процесів нерозривно пов'язаний із постійним підвищенням вимог до якості регулювання, що простежується протягом усієї історії їх розвитку. Останнім часом особливого значення набули підходи, які базуються на інноваційних методах вирішення задач управління. Одним із таких сучасних інструментів є використання нейронних мереж, які завдяки своїй універсальній здатності до апроксимації відкривають нові перспективи для ефективного впровадження у різні галузі.

Сучасні нейронні мережі дедалі частіше використовуються в різноманітних сферах. Вони застосовуються для моделювання та аналізу нелінійних систем, прогнозування подій, розпізнавання сигналів, а також у процесах прийняття рішень і управління, особливо в ситуаціях з обмеженими чи неточними даними.

Використання технологій, побудованих на нейронних мережах, є прогресивним методом, який сприяє оптимізації роботи різних технічних систем і значно підвищує їх продуктивність.

Оптимізація та модернізація автоматизованих систем керування висотою шару окатишів сприятиме покращенню якості кінцевого продукту. Це стане можливим завдяки забезпеченню стабільності газоповітряного режиму під час процесу випалювання.

1 Призначення та область застосування автоматизованої системи керування завантаженням окатишів

1.1 Опис технологічного процесу

Окатиші — це гранульований матеріал, що утворюється шляхом випалення залізородних концентратів. Вони мають форму невеликих грудок, діаметр яких зазвичай варіюється в межах від 10 до 20 міліметрів. Технологія виробництва окатишів включає два основні етапи, які є частиною процесу формування грудок із дрібнодисперсної сировини.

- отримання сирих (мокрих) окатишів;
- зміцнення сирих окатишів (сушка і випалення).

Зазвичай увесь процес, що складається з двох етапів, називають огрудкуванням. Друга стадія цього процесу має певну подібність до агломерації, але відрізняється рядом важливих аспектів. Зокрема, енергія підводиться не до шару шихти, а ззовні, а сам процес відбувається за знижених температур. Огрудкування дозволяє працювати з надтонкими фракціями концентратів, розмір яких становить менше 0,07 мм, що було проблематично під час агломерації. Однією з ключових переваг цього методу є висока міцність отриманих окатишів, які зберігають цілісність під час транспортування від гірничо-збагачувального комбінату до місця подальшого використання.

У процесі термічного зміцнення окатишів відбувається їх послідовне проходження через кілька етапів: зони сушки, нагрівання, випалювання, рекуперації та охолодження. Якщо використовуються шахтні печі або конвеєрні машини, усі зазначені операції виконуються в межах одного агрегату, забезпечуючи безперервність технологічного процесу.

Вибір методу випалення залежить не лише від характеристик окатишів, але й від виробничих потужностей підприємства, економічної

доцільності та рівня впровадження й освоєння кожного окремого технологічного процесу.

Під час випалювання окатишів на конвеєрних машинах зазвичай застосовують шар постелі, що складається з уже випалених окатишів. Цей шар виконує кілька важливих функцій: він захищає борти й колосники випалювальних візків від впливу високих температур, а також слугує регенератором у процесі охолодження окатишів. Завдяки цьому вдається уникнути термічних ударів і тріщин, адже повітря, проходячи через шар постелі на початковому етапі охолодження, попередньо нагрівається. Крім того, бортовий шар постелі зменшує надмірний потік теплоносія біля країв випалювальних візків і сприяє рівномірному прогріванню окатишів по всій ширині машини.

Розміщення сирих окатишів на випалювальній машині є ключовим етапом, який має забезпечити відокремлення дрібних фракцій, що виникають під час транспортування, а також рівномірний розподіл матеріалу по ширині завантажувальної поверхні. Для виконання цього завдання застосовуються роликові грохоти-укладальники, які працюють у поєднанні зі стрічковими живильниками, забезпечуючи оптимальну підготовку окатишів до подальшого технологічного процесу.

Процес завантаження окатишів на випалювальну машину ОК-324 складається з таких етапів: сирі окатиші, які надходять з відділення огрудкування за допомогою стрічкового конвеєра ОБ-7-1 (рис. 1.1), після проходження через конвеєрні ваги спрямовуються на човниковий укладальник УЧ-3000×3100, що є частиною завантажувального пристрою. На цьому етапі потік матеріалу рівномірно розподіляється по широкому, повільно рухомому проміжному конвеєру КП-4600. Далі окатиші надходять на роликовий грохот-укладальник, конструкція якого передбачає наявність зазорів між роликами розміром приблизно 8 мм, що дозволяє виконувати розподіл і укладання матеріалу з необхідною точністю.

Готові окатиші з роликового укладальника подаються на візки випалювальної машини. Сирі окатиші, що просипалися під роликовим укладальником, видаляються за допомогою спеціального пристрою для збирання просипу КП-2500. Після цього матеріал надходить на стрічковий конвеєр ОБ-2-7, де відбувається його зважування за допомогою конвеєрних ваг. Далі окатиші переміщуються на етап огрудкування за допомогою транспортерів ПР6-1, ОК-6 та ОК-7.

Для захисту випалювальних візків установки на них укладається нижній і бічний шар з випалених окатишів розміром 10–20 мм, товщина якого становить 100 мм. Якщо подача сирих окатишів припиняється, шибєр укладальника для нижнього шару піднімається, збільшуючи товщину шару до 400 мм. У цей самий момент відкривається затвор на аварійній тічці, яка забезпечує покриття візків, що перебувають у зоні завантаження. Формування шару завтовшки 400 мм ефективно запобігає перегріванню візків під час роботи.

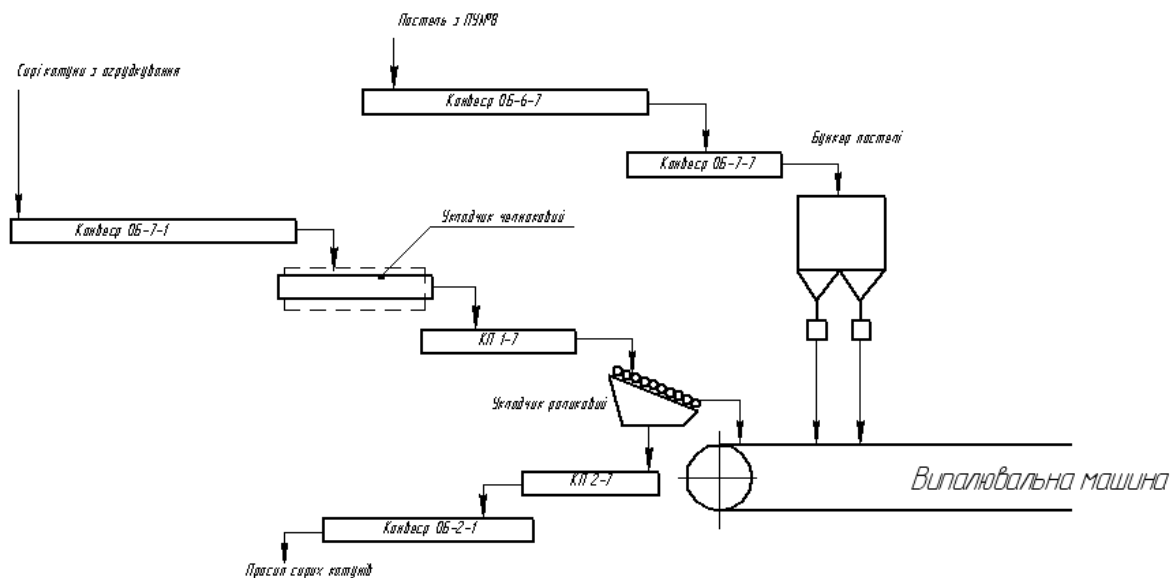


Рисунок 1.1 - Схема завантаження окатишів на випалювальну машину ОК-

324

Окатиші, випалені в ПУ №8, транспортуються конвеєрами ОБ-6-7 та ОБ-7-7 до бункера, призначеного для постелі. Формування постільного шару

здійснюється за допомогою обладнання — укладальника донної постелі УП-400, а також укладальника, що відповідає за бортову та аварійну постіль. На сформовану постіль укладаються сирі окатиші шаром завтовшки 400 мм. Переміщуючись на випалювальних візках із заданою швидкістю, вони проходять через кілька технологічних зон. У цих зонах окатиші піддаються послідовним етапам: сушінню, нагріванню, випаленню при високих температурах та охолодженню.

Човниковий укладальник моделі УЧ2 (3000x3100) призначений для забезпечення рівномірного розподілу сирих окатишів по всій ширині проміжного транспортера.

Цей пристрій складається з конвеєра, змонтованого разом із приводом на рамі, яка виконує зворотно-поступальні переміщення у напрямку, перпендикулярному до осі проміжного транспортера, КП – 4600 (осі обпалювальної машини).

Рух конвеєра в режимі зворотно-поступальних переміщень забезпечується спеціальним приводом. Конструкція приводу включає шестерню, яка постійно взаємодіє із замкнутою нескінченною рейкою. Рейка, яка жорстко закріплена та виконує функцію направляючої, розташована на рамі конвеєра. Обертання шестерні приводить до переміщення рами транспортера: спочатку в одному напрямку, а після переходу на нижню частину рейки — в протилежному.

Безперервний контакт між шестернею і рейкою забезпечується роликом, який котиться по спеціальній направляючій, встановленій на рейці.

Конвеєрна система складається зі стрічки шириною 3100 мм, натягнутої між приводним і натяжним барабанами. Між цими барабанами стрічку підтримують роликоопори, які оснащені роликами діаметром 150 мм.

Приводний механізм конвеєра включає черв'ячний редуктор та електродвигун. З'єднання між електродвигуном і редуктором, а також між редуктором і приводним барабаном здійснюється за допомогою муфт втулково-пальцевого типу.

Приводний механізм укладальника складається з електродвигуна і редуктора. З'єднання двигуна з редуктором реалізовано через втулково-пальцову муфту, тоді як передача обертання від редуктора до швидкохідного вала виконується за допомогою зубчастої муфти.

Проміжний конвеєр КП 1-7, далі іменований як "конвеєр", являє собою конструкцію, що складається зі стрічки завширшки 4600 мм. Вона натягнута між приводним і натяжним барабанами, а її підтримка здійснюється за допомогою роликів, розміщених на роликоопорах.

Матеріали подаються на стрічку з боку приводу, а вивантаження проводиться через натяжний барабан. Рух стрічки забезпечується приводним барабаном, що приводиться в дію від приводу. Натяг стрічки регулюється за допомогою гвинтового механізму, який впливає на натяжний барабан.

Конструкція натяжного барабана передбачає використання сталевій труби з привареними цапфами. Робоча поверхня барабана покрита гумовим шаром для збільшення зносостійкості та забезпечення кращого зчеплення зі стрічкою. Обертання барабана здійснюється за допомогою підшипників кочення, встановлених у спеціальних корпусах.

Окремо слід зазначити роликівий укладальник ПР-4000, який представляє собою похилий конвеєр з циліндричними роликами. Ролики забезпечують одностороннє обертання, спрямоване за ходом переміщуваного матеріалу.

Роликівий укладальник, залежно від свого функціонального призначення, ділиться на дві окремі зони (рис.1.2):

- активну, де відбувається часткове відсівання окатишів до 7 мм;
- розвантажувальну - з проміжком 3 мм.

Кут нахилу активної частини зони живильника до горизонтальної площини становить 25° , а розвантажувальна зона має нахил під кутом 39° .

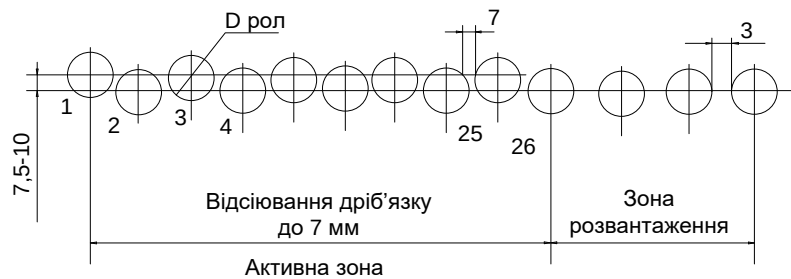


Рисунок 1.2 –Роликовий укладальник

Пристрій для прибирання просипу КП-2-7, далі іменований "Пристрій", являє собою стрічковий конвеєр, обладнаний широкою стрічкою завширшки 2500 мм. У його конструкції передбачені приводний барабан, система роликоопор і тягач, закріплені на металевому каркасі. Приведення приводного барабана в рух забезпечується електродвигуном, який через циліндричний і циліндро-конічний редуктори передає обертальний момент.

Металоконструкція, відома як укладальник бортової та аварійної постілі (далі – "укладальник"), розміщується над візками обпалювальної машини після роликового живильника. Цей пристрій оснащений двома траєкторіями подачі обпалених окатишів, які регулюються секторними затворами. Під цими затворами знаходиться накопичувач, конструкція якого включає внутрішні розділові стопки. Через накопичувач окатиші спрямовуються до візків обпалювальної машини, забезпечуючи безперебійну роботу системи.

Під час правильного виконання технологічного процесу секторний затвор залишається частково відкритим, що дозволяє випаленим окатишам потрапляти у зону випалювального візка, відокремлену розділовою стінкою накопичувача. Це забезпечує формування бортової постілі.

Керування подачею бортової постілі здійснюється вручну через гвинтову пару, яка пов'язана зі штоком пневмоциліндра. Завдяки цьому механізму можна повністю закрити затвор або, за необхідності, відкрити його, забезпечуючи безперешкодний потік бортової постілі.

У разі припинення подачі сирих окатишів пневматичний циліндр повністю відкриває засувку, дозволяючи випаленим окатишам пересипатися

з візка випалювальної машини до накопичувача, де вони утворюють шар певної товщини по всій ширині візка. Цей шар називають аварійною постіллю.

Пневматична система працює в автоматизованому режимі, отримуючи сигнали від датчиків, що контролюють висоту шару окатишів на візках випалювальної машини. Управління пневмоприводом здійснюється за допомогою обладнання, яке розташоване в спеціальній шафі, закріпленій на накопичувачі.

Електромагніти пневморозподільників, що знаходяться в шафі управління, відключаються автоматично. Це відбувається завдяки спрацьовуванню двох кінцевих вимикачів, встановлених на металевих конструкціях укладальника.

2 Огляд існуючих рішень та обґрунтування прийнятого принципу побудови автоматизованої системи керування завантаженням окатишів

2.1 Аналіз системи управління процесом завантаження окатишів в умовах ГЗК

На виробничих майданчиках гірничо-збагачувальних комбінатів реалізовано систему автоматизованого керування (рис. 2.1). Ця система забезпечує стабільність висоти шару окатишів, які завантажуються на візки випалювального устаткування, регулюючи швидкість його роботи.

Залежно від різниці маси сирих окатишів, що надходять на транспортер ОБ-7-1, та кількості відсортованого дріб'язку, який відсіюється роликівим укладальником ПР-400, пропорційно-інтегрально-феродинамічний регулятор РФ-Ф (рис. 2.2) автоматично коригує швидкість пересування візків випалювальної машини. Ця система, хоча і не здійснює прямого контролю за рівнем окатишів на візках, через регулювання швидкості їх руху дозволяє підтримувати рівень матеріалу в межах, близьких до заданого стандарту.

Система автоматизованого управління процесом завантаження окатишів на випалювальну установку ОК-324 (див. таблицю 2.1) складається з таких основних компонентів:

Таблиця 2.1 – Елементи САК завантаження окатишів

Номер контуру	Назва контуру
1421	Контроль масових витрат сирих окатишів
1422	Контроль масових витрат просипу
1511	Стабілізація висоти донної постілі
1512	Стабілізація висоти слою окатишів
1514	Контроль прогину візків
1515,1516	Контроль рівня матеріалу в бункері
1920	Контроль швидкості візку випалювальної машини

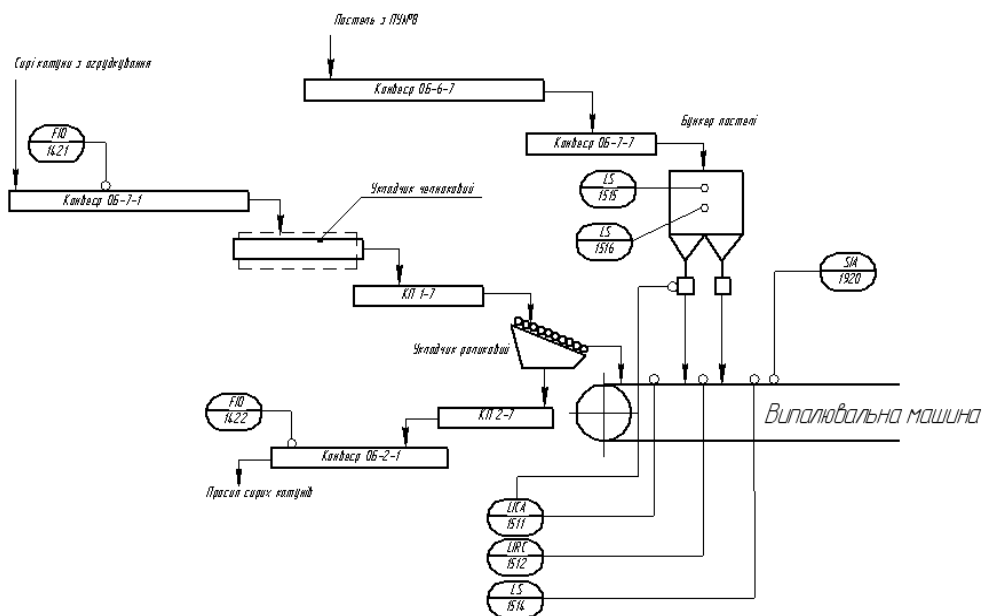


Рисунок 2.1 - Схематичне зображення системи автоматизованого регулювання висоти шару окатишів на випалювальній установці типу ОК-324.

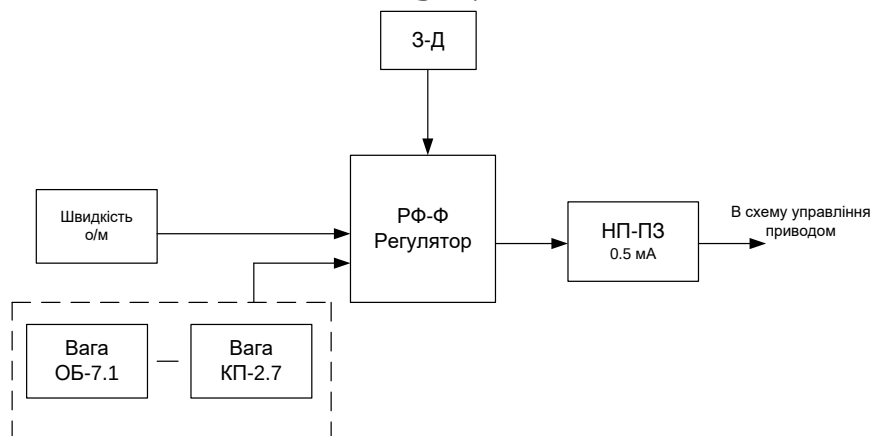


Рисунок 2.2 - Структурна схема регулятора висоти шару окатишів

Регулятор РФ-Ф аналізує інформаційні сигнали, що відображають реальні та задані параметри регулювання. Ці сигнали надходять на вхід у вигляді стандартизованого змінного струму, після чого пристрій генерує вихідний сигнал для подальшої обробки.

Ключові параметри, що контролюються під час завантаження окатишів на випалювальну машину, включають:

- - масу окатишів, що транспортуються конвеєрами на етапах огрудування та перед подачею на роликовий укладальник;
- - товщину шару окатишів;
- - висоту донної постелі;

- - кількість матеріалу, що перебуває в бункері постілі;
- - ступінь прогину візків.

Такий підхід забезпечує точний контроль і регулювання технологічних параметрів.

На рис.2.3 представлено схему візка випалювальної установки ОК-324, де зображено шари донної постілі та окатишів.

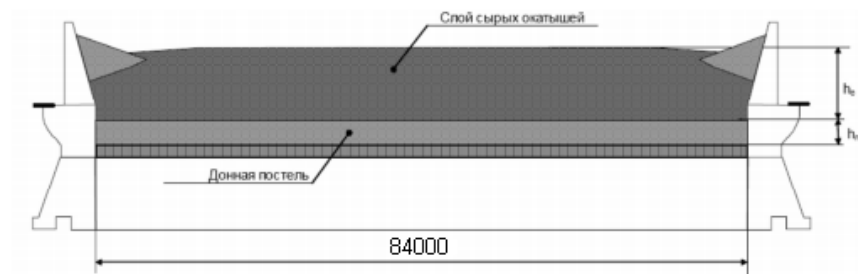


Рисунок 2.3 - Розріз візка випалювальної машини с укладеним на ній шаром окатишів:

h_c - висота шару сирих окатишів; h_n - висота донної постілі.

2.2 Огляд сучасних систем завантаження окатишів

На закордонних фабриках огрудкування впроваджено у виробничий процес системи, що дозволяють стабілізувати висоту шару окатишів, які завантажуються на випалювальну машину, шляхом корекції її швидкості. Ці системи класифікуються на дві категорії залежно від їх функціонального призначення. Одна з них орієнтована на регулювання висоти шару (h_o) на основі співвідношення між кількістю окатишів (Q_{co}), що подаються на випалювальну машину, та швидкістю її руху (V_{om})

$$\frac{Q_{co}}{V_{om}} = h_{o\text{ зад}} = \text{const} \quad (2.1)$$

де $h_{o\text{ зад}}$ - задана висота шару окатишів (одноконтурне регулювання);

Система регулювання, яка працює на основі відхилення контрольованого параметра h_o , значення якого визначається відповідно до заданого співвідношення (система з двоконтурним управлінням).

До першої групи систем належить установка стабілізації шару окатишів, створена компанією "Лургі" і застосована на випалювальній установці типу ОК-306.

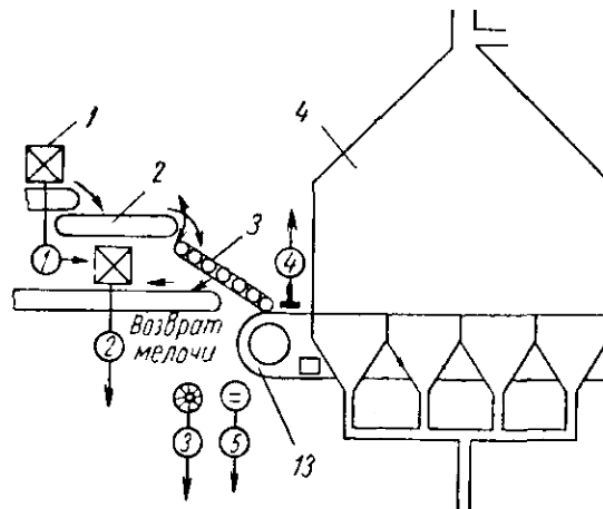


Рисунок 2.4 - Схема контролю та регулювання загрузки сирих окатишів на випалювальну машину фірми Лургі

Система автоматичного регулювання, розроблена фірмою Лургі (рис. 2.4), забезпечує контроль і налаштування процесу завантаження машини сирими окатишами. Основні елементи цього вузла включають пристрій для зважування 1, який визначає вагу окатишів, що подаються від гранулятора, віброукладальник 3, а також механізм віднімання маси повернення з загальної маси сирих окатишів. Ця система генерує сигнал, що відповідає масі матеріалу, який подається на візки випалювальної машини. На основі отриманого сигналу, а також даних про висоту шару 4, регулятор здійснює управління швидкістю руху візків випалювальної машини, забезпечуючи оптимальний процес випалу.

Автоматичне керування процесом завантаження окатишів на випалювальну машину 8 (рис. 2.5) здійснюється шляхом регулювання швидкості переміщення візків. Елемент 6, базуючись на різниці між масою сирих окатишів, що надходять на живильник-укладальник 7, і обсягом повернутого дріб'язку від цього ж пристрою, автоматично коригує швидкість руху візків. Для обчислення цієї різниці використовуються вторинні масові

датчики та суматор. Алгебраїчний суматор, який працює разом з інтеграторами, генерує сигнал, що відповідає зазначеній різниці мас, і забезпечує відповідну зміну параметрів руху.

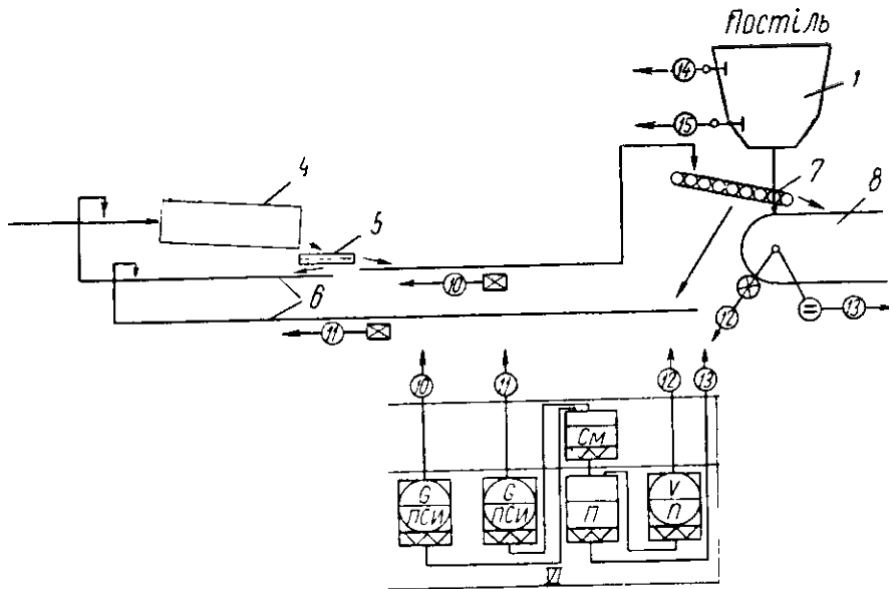


Рисунок 2.5 - Система моніторингу та регулювання процесу завантаження сирих окатишів на випалювальне обладнання.

Ця система, не здійснюючи прямого контролю за рівнем окатишів на візках, забезпечує регулювання шляхом зміни швидкості їх руху, що дозволяє підтримувати висоту шару в межах, максимально наближених до заданого значення. Крім того, передбачено функції контролю та сигналізації при досягненні граничних значень рівня – як верхнього, так і нижнього, у бункері постілі.

У Київському інституті автоматики була створена, випробувана і впроваджена система автоматизованого регулювання висоти шару окатишів для випалювальної машини ОК-306, яка використовується в цеху огрудкування та випалювання на одному з гірничо-збагачувальних комбінатів.

В основу створення цієї системи було покладено принцип організації контурів управління процесом подачі шихти для спікання та забезпечення стабільності висоти її шару на візках агломераційної стрічки. Цей підхід

реалізується через систему взаємопов'язаного управління агломераційним процесом.

На рис. 2.6 представлена структурна схема системи, що регулює висоту шару сирих окатишів на випалювальній машині. Сигнал, який надходить від пристрою вимірювання кількості сирих окатишів на збірному конвеєрі, впливає на зміну швидкості роботи випалювальної машини. У разі зміни обсягів сирих окатишів, що подаються до машини, регулятор формує сигнал коригування швидкості, який адаптує роботу машини до нового потоку матеріалу.

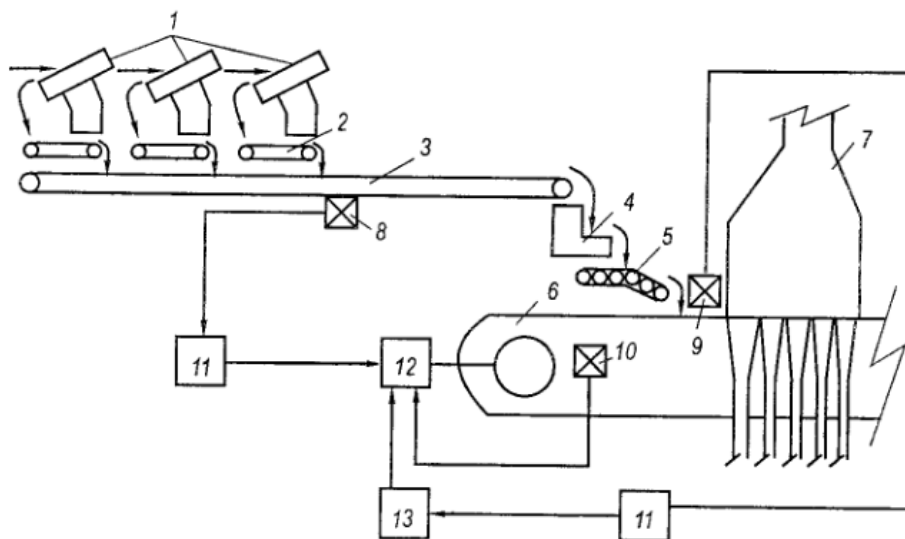


Рисунок 2.6 – Схема автоматизованої системи регулювання висоти шару окатишів на випалювальному обладнанні типу ОК-306.

Крім того, на зміну швидкості впливає сигнал із датчика висоти шару окатишів, розташованого на візках випалювальної машини. Цей сигнал передається через коригуючий пристрій до регулятора швидкості, забезпечуючи точне налаштування відповідно до поточної висоти шару.

У цій системі здійснюється контроль висоти шару окатишів через окремі канали. Це дає можливість точно налаштувати регулятор і коригувальний пристрій таким чином, щоб зміна $V_{ом}$ відповідала 70-80% від необхідної зміни швидкості в процесі транспортного запізнення. Це запізнення охоплює час, необхідний для переміщення сирих окатишів від точки їх вимірювання до моменту завантаження на візки випалювальної машини.

Зміна швидкості на необхідну величину, яка відповідає новій масі сирих окатишів, що подаються на випалювальну установку, здійснюється за рахунок сигналу розбіжності між заданим і поточним рівнем висоти шару окатишів.

Системи автоматизованого регулювання висоти шару окатишів на випалювальній машині мають як певні переваги, так і недоліки.

Серед головних проблем систем управління, що базуються на відхиленні контрольованого параметра h_o , є складність коректного налаштування регулюючих пристроїв, що може впливати на стабільність роботи всієї апаратури.

Регулювання відхилення (зміна Q_{co}) та впливу збурень (зміна h_{co}) здійснюється шляхом коригування швидкості руху випалювальної машини. Якщо візки машини рухаються надто швидко, шар матеріалу буде недостатньо високим, а при надто повільному русі, навпаки, висота шару зростатиме. Саме тому точне налаштування регуляторів є ключовим фактором для забезпечення належної якості випалювання окатишів.

Недоліком автоматичних систем керування, які не здійснюють прямий контроль за висотою шару окатишів, а працюють на основі наперед встановленого співвідношення, є необхідність використання обладнання з високою точністю вимірювання та регулювання. Основна перевага таких систем полягає в тому, що налаштування регулюючих механізмів є досить простим, оскільки зміна V_{om} залежить лише від одного впливового параметра Q_{co} .

Для усунення перелічених недоліків необхідно:

- Здійснювати керування технологічним процесом із використанням програмованого контролера, який забезпечує адаптивне регулювання виробничих параметрів залежно від змін продуктивності сирих окатишів.

- Реалізовувати управління електродвигуном постійного струму, що включає регулювання швидкості обертання валу електродвигуна за хвилину

за допомогою ПД-регулятора, для забезпечення оптимальної роботи системи.

2.3 Розробка структурної схеми автоматичного управління

Для вдосконалення системи управління, що функціонує в умовах гірничо-збагачувального комбінату, була запропонована відповідна структурна схема (рис. 2.7).

Створена автоматизована система керування (АСК) висотою шару окатишів на візках випалювальної машини забезпечує стабільне підтримання регульованого параметра $h_{вих}$ на заданому рівні.

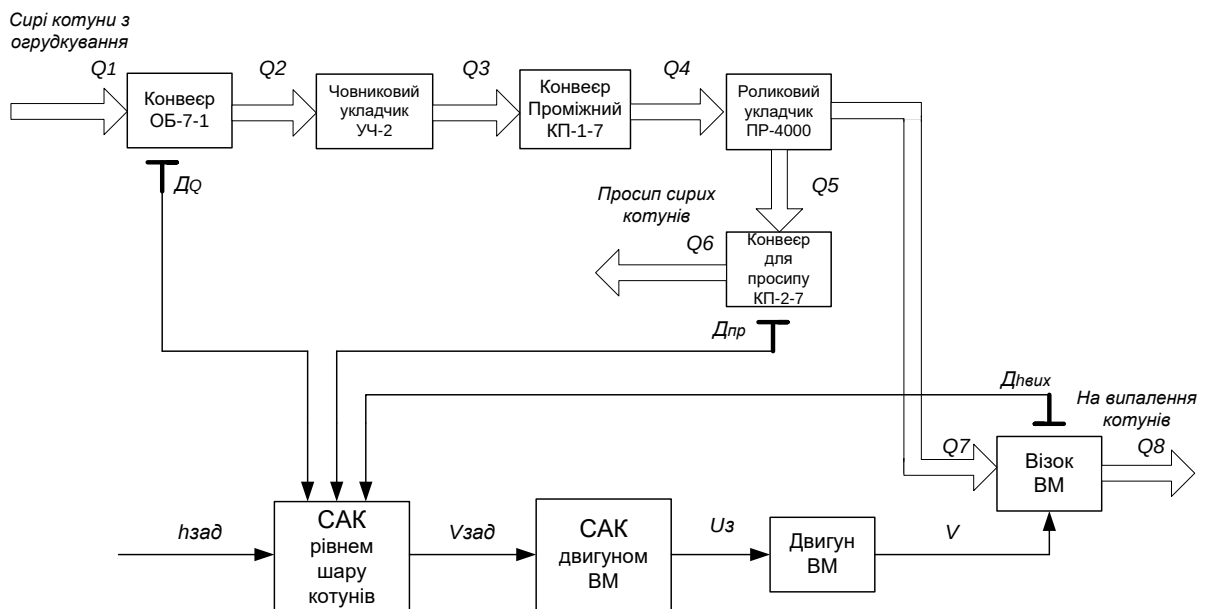


Рисунок 2.7 - Схематична структура системи автоматизованого регулювання рівня шару окатишів на візках випалювального агрегату.

До складу системи керування входять такі підсистеми:

- Конвеєр ОБ-7-1;
- Човниковий укладальник УЧ-2;
- Конвеєр КП-1-7;
- Роликовий укладальник ПР-4000;
- Конвеєр для просипу;
- Візок ВМ;

- САК рівнем шару окатишів;
- САК двигуном випалювальної машини;

На відміну від існуючої системи до структури додано:

- САК рівнем шару окатишів;
- САК двигуном випалювальної машини;

Давайте розглянемо структуру системи автоматичного регулювання висоти шару окатишів на візках випалювальної установки. Ця схема включає в себе наступні ключові елементи: транспортний конвеєр, механізм човникового укладальника, проміжний транспортер, роликовий механізм для укладання, транспортер для просипу матеріалу, двигун випалювальної машини (ВМ) та візок, що входить до складу ВМ.

Потік сирих окатишів Q_1 , що виходять з огрудувальної установки і транспортуються через конвеєр ОБ-7-1, вимірюється протягом певного часу за допомогою вагового обладнання типу D_Q . У подальшому окатиші Q_2 спрямовуються до човникового укладальника УЧ-2, який рівномірно розподіляє їх на стрічці конвеєра КП-1-7. Звідти потік окатишів Q_4 потрапляє на роликовий укладальник ПР-4000, де відсортовується дрібний матеріал Q_5 . Цей дріб'язок транспортується через просипний конвеєр КП-2-7, а його обсяг визначається ваговим пристроєм $D_{ПР}$. Потім основний потік Q_7 з роликового укладальника ПР-4000 завантажується на візки випалювальної машини. Для забезпечення контролю за рівнем шару окатишів у процесі розташовується датчик висоти D_h .

- Датчик D_Q призначений для фіксації маси потоку сирих окатишів, що транспортуються конвеєром ОБ-7-1.

- Пристрій $D_{ПР}$ виконує вимірювання маси відсортованого дріб'язку, який переміщується конвеєром КП-2-7, призначеним для просипу.

- Датчик D_h відповідає за контроль висоти шару окатишів, розташованих на випалювальній машині.

Дані від датчиків D_Q , D_h і $D_{ПР}$ передаються до системи автоматичного контролю (САК), яка регулює рівень шару окатишів. Інформація про висоту

шару окатишів $h_{зад}$ подається на САК для забезпечення контролю рівня шару, а результатом обробки стає управляючий сигнал швидкості двигуна $V_{зад}$. Цей сигнал служить вхідним параметром для САК, яка керує двигуном випалювальної машини.

Залежно від типу сигналу швидкості $V_{зад}$, який подається на вхід системи автоматичного керування (САК) випалювальної машини, відповідно коригується керуючий сигнал напруги U_3 .

2.4. Обґрунтування функції системи управління та функціональної схеми системи управління

Система, зображена на рис. 2.7, призначена для стабілізації висоти шару окатишів $h_{вих}$ на заданому рівні. Цей процес залежить від таких параметрів, як обсяг окатишів Q і швидкість пересування візків випалювальної машини. Управління здійснюється шляхом впровадження двох підсистем автоматичного регулювання, які забезпечують виконання поставленої задачі.

1. САК рівнем шару окатишів.
2. САК двигуном випалювальної машини.

Основною метою системи автоматичного контролю (САК) висоти шару окатишів є забезпечення стабільності цього шару на випалювальній установці.

Завданням САК, що відповідає за двигун випалювальної машини, є управління електроприводом постійного струму, що включає регулювання швидкості обертання валу електродвигуна за одиницю часу.

Функції САК двигуном випалювальної машини:

- забезпечення запуску двигуна та його зупинки за допомогою керування;
- підтримання стабільної роботи двигуна у встановленому режимі;

- оперативне та безпечне перемикання двигуна між різними режимами роботи;
- запобігання перевищенню допустимих експлуатаційних параметрів двигуна;
- контроль стану двигуна та проведення діагностичних процедур у реальному часі;
- підготовка та передача інформації про стан двигуна до системи обліку та реєстрації даних.

Функції САК рівнем шару окатишів:

- Гарантування безпечного функціонування об'єкта.
- Поліпшення характеристик кінцевого продукту або забезпечення відповідності заданим параметрам вихідних виробів.
- Виконання запуску та аварійного відключення технологічного тракту.
- Зменшення витрат трудових ресурсів; досягнення оптимального рівня завантаження та ефективного використання обладнання.
- Удосконалення режимів роботи технологічного устаткування для підвищення його продуктивності.

Головними завданнями, які вирішуються під час автоматизації технологічного процесу, є наступні:

- Забезпечення стабільної підтримки всіх параметрів технологічного процесу в межах, визначених для оптимальної роботи системи загалом;
- Реалізація системи сигналізації, що сповіщає про вихід параметрів за допустимі межі;
- Організація механізмів блокування у випадках критичного порушення технологічного процесу;
- Надання можливості швидкого переходу на ручний режим управління у разі відмови автоматизованих засобів контролю;

- Розпізнавання потенційно аварійних ситуацій із їх оперативною сигналізацією.

У рамках цього проєкту передбачено впровадження такої структури автоматизованої системи управління технологічними процесами (АСУ ТП).

На початковому рівні передбачається впровадження локальних систем автоматизації, оснащених мікроконтролерами. Ці пристрої здатні одразу аналізувати кілька параметрів, що характеризують стан об'єкта.

Завдяки інтегрованій мові програмування в мікроконтролерах можна реалізувати навіть найскладніші алгоритми управління. На цьому етапі здійснюється базова обробка даних, а також розрахунок ключових інтегральних показників, наприклад, обсягів використаної сировини та інших важливих параметрів.

На другому рівні розташована електронна обчислювальна машина (ЕОМ), яка відповідає за виконання функцій індикації та реєстрації. Тут формуються алгоритми регулювання, які передаються мікроконтролерам першого рівня для реалізації. Підключене до ЕОМ периферійне обладнання, яке включає, наприклад, клавіатуру та монітор у базовій конфігурації, створює автоматизоване робоче місце (АРМ) оператора. Це забезпечує можливість ручного керування процесами з боку оператора. Крім того, на цьому рівні здійснюється додаткова обробка інформації, визначення потенційно небезпечних ситуацій та генерація відповідних попереджувальних сигналів.

3 Опис та обґрунтування обраних проектних рішень автоматизованої системи керування завантаженням окатишів

3.1 Залежність висоти шару окатишів від продуктивності вхідного потоку окатишів та швидкості руху візків випалювальної машини

Для регулювання висоти шару окатишів необхідно визначити взаємозв'язок між висотою шару та такими параметрами, як продуктивність подачі окатишів на вхід, швидкість пересування візків випалювальної установки і площа самих візків.

$$h = \frac{V}{S}, \left[\frac{м^3}{м^2} \right] \quad (3.1)$$

де V - об'єм окатишів, $м^3$; S - площа, $м^2$;

$$V = \frac{Q}{\rho}, \left[\frac{\text{вага, т}}{\text{насыпна щільність, т/м}^3} \right] \quad (3.2)$$

де Q - вага окатишів, *тони*; ρ - насыпна щільність дорівнює $1.6-2.1 \text{ т/м}^3$

$$S = L \cdot W, [м^2] \quad (3.3)$$

де L - довжина візка випалювальної машини, $м$; W - ширина візка випалювальної машини, $м$;

$$\frac{L}{2R} = \pi \Rightarrow L = 2\pi R \quad (3.4)$$

$$v = L \cdot \omega = 2\pi R \omega, \frac{м}{с} \quad (3.5)$$

де ω - кутова швидкість випалювальної машини, *об/с*; R - радіус барабану, $м$

Отже S дорівнює:

$$S = 2\pi R \omega \cdot W \quad (3.6)$$

$$V = h \cdot S = h \cdot 2\pi R \omega \cdot W \quad (3.7)$$

$$h = \frac{Q}{2\pi R\omega \cdot \rho \cdot W} = \frac{Q}{W\rho} \cdot \frac{1}{v} \quad (3.8)$$

Згідно з формулою (3.8), можна зробити висновок, що зі зростанням швидкості роботи випалювальної машини відбувається зменшення висоти шару окатишів. Водночас, у разі зниження швидкості функціонування цього обладнання, висота шару буде збільшуватися.

3.2. Розрахунок передаточних функцій системи завантаження окатишів на випалювальну машину

Конвеєр, який здійснює транспортування сипучих матеріалів, є прикладом системи з чистим запізненням.

Рівняння ланки запізнення:

$$y(t) = f(t - \tau), \tau > 0 \quad (3.9)$$

Перехідна функція ланки запізнення:

$$W(p) = e^{-p\tau} \quad (3.10)$$

Ланка запізнення виконує функцію «зсуву» вхідного сигналу у часовій площині, переміщуючи його на певний проміжок у минуле. У результаті вихідний сигнал представляє собою відображення вхідного, але відтермінованого на заданий час.

Часто таку ланку називають ланкою чистого або транспортного запізнення. Прикладом її реалізації може бути будь-який процес, пов'язаний із переміщенням матеріалів чи енергії. Це може включати, наприклад, транспортний конвеєр (рис. 3.1), де вхідний потік матеріалу $Q_1(t)$ надходить на початок конвеєра, а вихідний потік $Q_2(t)$ фіксується на його завершенні.

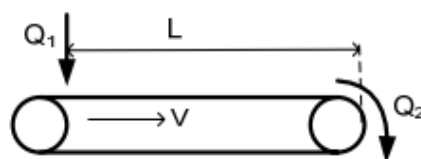


Рисунок 3.1 – Схематичне зображення конвеєру

Час запізнювання дорівнює:

$$\tau = L/V \quad (3.11)$$

L — це відстань, що визначає проміжок між точкою, де матеріал завантажується на стрічку конвеєра, та місцем, де він вивантажується; V - швидкість конвеєру.

Рівняння яке об'єднує $Q_2(t)$ та $Q_1(t)$:

$$Q_2(t) = Q_1(t - \tau) \quad (3.12)$$

Отже проведемо розрахунок:

Конвеєр ОБ-7-1

Таблиця 3.1.- Технічна характеристика конвеєру ОБ-7-1

Ширина стрічки, мм	1200
Довжина стрічки, м	290
Довжина конвеєру, м	136,3
Швидкість руху стрічки, м/с	1,2
Продуктивність, т/год	400-450

Час запізнення до конвеєрних ваг:

$$W_1 = e^{-\frac{L}{V} \cdot p} = e^{-\frac{145}{1.2} \cdot p} = e^{-120.8 \cdot p} \quad (3.13)$$

Отже час запізнення дорівнює $\tau = 120.8$ с

Конвеєр КП-1-7

Таблиця 3.2.- Технічна характеристика конвеєру КП-1-7

Ширина стрічки, мм	4600
Довжина стрічки, м	13
Довжина конвеєру, мм	6370
Швидкість руху стрічки, м/с	0,017...0,107
Продуктивність, т/год	до 400

$$W_2 = e^{-\frac{L}{V} \cdot p} = e^{-\frac{6}{0.05} \cdot p} = e^{-120 \cdot p} \quad (3.14)$$

Отже час запізнення дорівнює $\tau = 120$ с

Човниковий укладальник УЧ-2

Таблиця 3.3 – Технічні параметри укладальника моделі УЧ-2

Ширина стрічки, мм	3100
Довжина стрічки, м	7,4
Довжина конвеєру, м	3
Швидкість руху стрічки, м/с	0,25-0,6
Швидкість руху човника м/с	0,105..0,4
Ширина укладки окатишів на проміжний конвеєр КП-1-7, мм	4200
Продуктивність, т/год	до 400

$$W_3 = e^{-\frac{7.4}{0.4}p} = e^{-18.5 \cdot p} \quad (3.15)$$

Отже час запізнення дорівнює $\tau = 18.5$ с

Човниковий укладальник характеризується коефіцієнтом, значення якого менше одиниці. Цей коефіцієнт розраховується як відношення ширини укладальника W_1 , вираженої в метрах, до ширини наступного обладнання — конвеєра типу КП-1-7, що має ширину W_2 , також у метрах.

$$K = \frac{W_1}{W_2} = \frac{3.1}{4.6} = 0.67 \approx 0.7 \quad (3.16)$$

Конвеєр КП-2-7 для просипу

Таблиця 3.4.- Технічна характеристика конвеєру КП-2-7

Ширина стрічки, мм	2500
Довжина конвеєру, мм	15300
Швидкість руху стрічки, м/с	0,1
Продуктивність, т/год	до 65

Час запізнення до конвеєрних ваг:

$$W_4 = e^{-\frac{L}{v}p} = e^{-\frac{6}{0.1}p} = e^{-60 \cdot p} \quad (3.17)$$

Отже час запізнення дорівнює $\tau = 60$ с

Роликовий живильник ПР-400

Таблиця 3.5.- Технічна характеристика укладальника ПР-400

Кількість роликів, <i>шт</i>	31
Довжина роликового укладальника, <i>мм</i>	3442
Фактична частота обертання ролику, <i>об/хв</i>	56
Продуктивність, <i>т/год</i>	260

Роликовий укладальник здійснює процес відділення дрібної фракції матеріалу. У результаті цього обсяг кінцевої продукції у вигляді окатишів буде знижуватися порівняно з початковим, на величину, що відповідає обсягу вилучених дрібних часток.

Знайдемо швидкість руху роликового укладальника:

$$V = \frac{\pi \cdot n \cdot R}{60} = \frac{3.14 \cdot 56 \cdot 0.05}{60} = 0.15 \text{ м/с} \quad (3.18)$$

Передаюча функція роликового укладальника:

$$W_5 = e^{-\frac{L}{V}p} = e^{-\frac{3.44}{0.15}p} = e^{-23p} \quad (3.19)$$

Отже час запізнення дорівнює $\tau = 23 \text{ с}$

3.3. Розрахунок передаючої функції двигуна

Двигуни постійного струму (ДПС) широко використовуються у механізмах, де необхідно забезпечити регулювання таких параметрів, як швидкість, положення або крутий момент. До основних переваг цих двигунів відносяться відмінні регульовальні властивості, легкість встановлення зв'язку між електричним струмом, моментом і швидкістю, що сприяє розробці простих і водночас ефективних алгоритмів керування. Водночас до їхніх недоліків належать обмежена надійність, вища вартість порівняно з іншими типами двигунів, а також генерація електромагнітних

перешкод через наявність колектора, що виконує функцію механічного комутатора.

Електродвигун постійного струму працює за рахунок електромагнітного моменту, який утворюється в результаті взаємодії струму ротора I із магнітним полем, створеним статором F (рис. 3.2).

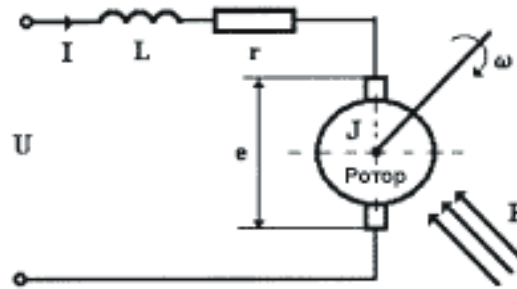


Рисунок 3.2– Електричний ланцюг двигуна постійного струму

Приймаючи до уваги, що електрорушійна сила e є величиною, пропорційною кутовій швидкості обертання, роботу електричного кола можна описати за допомогою схеми, представленої на рисунку 3.2.

$$u = LI + rI + c_e \omega \quad (3.20)$$

З урахуванням того, що обертаючий момент залежить від струму пропорційно, можна доповнити рівняння, яке описує електромеханічну частину системи.

Застосовуючи операторну форму подання та беручи до уваги параметр струму I , передатна функція двигуна постійного струму набуває наступного вигляду

$$W_6(p) = \frac{\omega(p)}{U_{\text{я}}(p)} = \frac{K_{\text{ДВ}}}{(T_{\text{я}} T_{\text{М}} p^2 + T_{\text{М}} p + 1)} \quad (3.21)$$

Таблиця 3.6. - Паспортні данні двигуна Д806 при ПВ = 100% ($\epsilon_{\text{СТ}} = 1,0$)

Тип двигуна	Номінальна потужність, $P_{\text{н}}$, кВт	Номінальний струм якоря $I_{\text{ян}}$, А	Номінальна частота обертання $n_{\text{н}}$, об/хв	Максимальна частота обертання $n_{\text{мах}}$, об/хв	Момент інерції якоря $J_{\text{д}}$, кг·м ²	Максимальний обертовий момент $M_{\text{н}}$, Н·м	Опір обмотки якоря при 90°C $R_{\text{я}}$, Ом
Д806	22	116	650	2600	1,00	872	0,0864

Згідно з формулою (3.21) знайдемо коефіцієнт передачі

$$K_{ДВ} = \frac{1}{C_E} \quad (3.22)$$

Конструктивну постійну крутного моменту двигуна серії СЕ можна визначити, використовуючи паспортні характеристики, наведені у табл.3.6.

$$C_E = \frac{U_{ном} - I_{ном} R_{я}}{\Omega_{ном}} = \frac{220 - 116 \cdot 0,08}{68,03} \approx 3,09 \frac{В \cdot с}{рад}. \quad (3.23)$$

Отже коефіцієнт передачі

$$K_{ДВ} = \frac{1}{C_E} = \frac{1}{3,09} = 0,32 \frac{рад}{В \cdot с}. \quad (3.24)$$

Знайдемо постійну часу за формулою

$$T_{я} = \frac{L_{я}}{R_{я}} \quad (3.25)$$

Індуктивність ланцюга якоря

$$L_{я} = \frac{0,25 \cdot U_{н}}{p_{н} \cdot \omega_{н} \cdot I_{н}} \quad (3.26)$$

Отже індуктивність якоря

$$L_{я} = 1,904 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

За формулою (3.25) розрахуємо:

$$T_{я} = \frac{L_{я}}{R_{я}} = \frac{1,904 \cdot 10^{-3}}{0,08} = 0,024$$

Електромеханічна постійна часу

$$T_M = \frac{J_{я} \omega_{x.x}}{M_{\Pi}} = \frac{J_{я} R_{я}}{(k_e \Phi_{\partial.ном})^2} = \frac{J_{я} R_{я} \omega_{я.ном}^2}{(U_{я.ном} - I_{я.ном} R_{я})^2}, \quad (3.27)$$

Отже T_M дорівнює

$$T_M = \frac{1 \cdot 0,08 \cdot 68,03^2}{(220 - 116 \cdot 0,08)^2} = 0,0083$$

Вставивши всі обчислені значення у формулу (3.21), можна визначити передавальну функцію двигуна постійного струму наступним чином:

$$W_6(p) = \frac{0,32}{(0,024 \cdot 0,083 p^2 + 0,083 p + 1)}$$

3.4. Інформаційне забезпечення та вибір приладів автоматизації

3.4.1. Вибір конвеєрних ваг

На основі створеної структурної схеми автоматизації здійснюється підбір технічних засобів для проектованої системи управління процесом підготовки окатишів до укладання на випалювальну установку. Відповідальний підхід до вибору елементів автоматизації забезпечує стабільну та ефективну роботу системи, сприяє зниженню її вартості, підвищує рівень безпеки для обслуговуючого персоналу та мінімізує негативний вплив на довкілля.

Для правильного вибору конвеєрних ваг для конкретного транспортера необхідно врахувати кілька ключових характеристик. Серед них особливу увагу слід звернути на продуктивність обладнання, ширину стрічки та швидкість її руху. Ігнорування цих параметрів може призвести до некоректного та ненадійного вимірювання маси матеріалу, оскільки обрані ваги можуть не відповідати зазначеним характеристикам.

Крім того, важливо оцінити наявність каналів зв'язку в конвеєрних вагах, що забезпечують передачу даних, наприклад, вихід до контролера. Ще одним значущим фактором є клас точності – характеристика, яка визначає межі допустимих основних і додаткових похибок при вимірюванні.

З огляду на всі перелічені параметри, у табл.3.7 подано дані, що допоможуть обрати оптимальне рішення для конкретних умов експлуатації.

Таблиця 3.7. – Характеристика конвеєрних ваг

№ п/п	Назва фірми-виробника	Продуктивність конвеєра, т/год	Ширина стрічки, мм	Швидкість руху стрічки, м/с	Вихід на контролер	Ціна, грн.	Клас точності, %
1	Rice Lake (BCi)	до 10000	від 450 до 1800	до 5	Divice-Net, Remote I/O, EtherNet IP, ProfiBus DP, 4-20mA, EtherNet TCP/IP, RS-232, RS-485	38900	+0,25
2	ТОЧМАШ (BE-7240)	до 10000	від 500 до 1600	від 0,5 до 6,3	RS-232, RS-422, RS-485	20000	+0,5
3	Esit (BS-2)	до 5000	300-2200	до 3	RS-232 RS-485	21000	+0,5

№ п/п	Назва фірми-виробника	Продуктивність конвеєра, т/год	Ширина стрічки, мм	Швидкість руху стрічки, м/с	Вихід на контролер	Ціна, грн.	Клас точності, %
4	Ваговимірювальні системи (КнВ-4Д-2Р)	від 20 до 2500	до 2000	від 0,2 до 3,5	RS-485	21000	від $\pm 0,15$ до ± 1
	ЕрМак (ВЛ2-2*2)	від 40 до 400	від 600 до 3000	від 0,005 до 6	RS-232 RS-485 EtherNet 10T Mod-bus	22000	$\pm 0,5$ ± 1

На основі представленої таблиці, а також беручи до уваги технічні параметри конвеєрів моделей ОБ-7-1 та КП-2-7, можна здійснити вибір відповідних конвеєрних ваг, які відповідають зазначеним вимогам.

Для конвеєра ОБ-7-1 оптимальним вибором стануть ваги для конвеєрів від компанії "Ваговимірювальні системи" моделі КнВ-4Д-2Р. Вони відрізняються помірною вартістю, забезпечують підключення до контролера, мають необхідний рівень точності та повністю відповідають технічним параметрам контролера.

Для конвеєра КП-2-7 найбільш придатними є ваги марки "ЕрМак" моделі ВЛ2-2*2. Ця модель розроблена для конвеєрів із продуктивністю до 400 т/год і швидкістю в діапазоні від 0,017 до 0,107 м/с. Крім того, ваги оснащені виходами для підключення контролерів через RS-232, RS-485, EtherNet 10T, Mod-bus, та забезпечують необхідну точність вимірювань.

Ваги для конвеєрів використовуються для вимірювання ваги матеріалів, що переміщуються стрічковими транспортувальними системами в ході перевезення. Ці пристрої широко впроваджуються в різноманітних промислових сферах.

Конвеєрні ваги використовуються для визначення змінної інтенсивності потоку матеріалу, що подається безперервно. Вагові датчики, інтегровані у ці системи, дозволяють вимірювати масу матеріалу, що знаходиться на конкретному відрізку конвеєрної стрічки.

За допомогою сенсора швидкості визначається швидкість пересування стрічки. Отримані дані з цього сенсора, разом із результатами вимірювання інших параметрів, дозволяють визначити поточний рівень продуктивності.

Інтегруючи значення продуктивності за певний проміжок часу, розраховують загальну величину подачі матеріалу.

Переваги конвеєрних ваг фірми “ЕрМак”

- Використання компонентної бази провідних світових виробників електроніки;
- Можливість роботи в широкому діапазоні напруг живлення від 100 до 264 В;
- Енергозалежна пам'ять, яка зберігає результати вимірювань навіть без використання додаткових джерел енергії, таких як батареї чи акумулятори;
- Інтегрована мнемосхема, яка демонструє як поточний робочий стан, так і аварійні ситуації;
- Наявність системи захисту від стрибків напруги в електромережі;
- Постійний автоматичний контроль роботи обладнання з функцією виявлення та усунення можливих збоїв електронної системи в режимі реального часу.

Переваги конвеєрних ваг фірми “Ваговимірювальні системи”

- Легкість та комфорт в обслуговуванні, що забезпечує мінімізацію витрат часу та ресурсів;
- Можливість інтеграції в конвеєрні системи будь-яких конфігурацій без необхідності значних модифікацій конструкції;
- Наявність енергонезалежної пам'яті, яка дозволяє зберігати результати вимірювань навіть без застосування додаткових джерел живлення;
- Функція передачі даних до комп'ютера, що надає змогу:
 - автоматично вести журнал змін параметрів;
 - здійснювати моніторинг роботи конвеєра, де встановлено ваги;
 - створювати та друкувати звіти за певний період або зміну;
- Реалізована можливість бездротової передачі інформації з ваг конвеєра до персонального комп'ютера;
- Використання стандартних ролюкоопор для спрощення монтажу;

- Робота в широкому діапазоні температур (від $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$), що забезпечує надійність навіть у складних умовах;
- Використання високоякісних тензометричних датчиків паралелограмного типу виробництва Uticell (Іспанія), що гарантує точність вимірювань.

Функціональні можливості конвеєрних ваг компанії «Ваговимірювальні системи»:

- Ведення обліку матеріалу, який транспортується стрічкою конвеєра;
- Виконання функцій дозування матеріалів для точного розподілу;
- Відображення на індикаторі даних про сумарну масу відвантаженого матеріалу, поточну продуктивність та швидкість руху стрічки;
- Передача поточних значень продуктивності чи лінійної густини через сигнал постійного струму 4–20 мА;
- Можливість передачі параметрів через інтерфейс RS485 для інтеграції у системи автоматизації;
- Індикація повідомлень про помилки та несправності на дисплеї вагового терміналу.

3.4.2. Вибір датчика швидкості

Підбір датчика швидкості для двигуна, що приводить у рух візок випалювальної машини, є важливим етапом налаштування обладнання. Одним із варіантів такого датчика є тахогенератор. Цей прилад виконує функцію вимірювального генератора, здатного генерувати постійну або змінну напругу. Його головне завдання — перетворення поточного значення частоти обертання валу двигуна на електричний сигнал, який може бути використаний для контролю або регулювання швидкості обертання.

Сила сигналу (електрорушійна сила, ЕРС) безпосередньо залежить від частоти обертання. Згенерований електричний сигнал передається або на спеціально калібрований вольтметр (тахометр) для візуального контролю,

або на вхід автоматичних систем, які аналізують частоту обертання. Принцип роботи тахогенератора ґрунтується на співвідношенні між кутовою швидкістю обертання ротора генератора та його ЕРС за умови стабільності магнітного потоку збудження. Існують тахогенератори двох основних типів: змінного струму (які включають синхронні та асинхронні) і постійного струму.

Використання тахогенераторів постійного струму в різноманітних системах керування зумовлене тим, що більшість автоматичних регуляторів потребують вхідного сигналу у вигляді постійної напруги. Тахометри, які мають рівномірно поділені шкали, фактично є вольтметрами магнітоелектричного типу, що вимірюють постійну напругу. Ця напруга прямо пропорційна частоті обертання.

Щоб вибрати тахогенератор, необхідно врахувати швидкість обертання двигуна. Важливо підібрати пристрій так, щоб навіть за максимальної частоти обертання якоря двигуна забезпечувався запас по механічній міцності тахогенератора (граничній швидкості обертання).

Тобто потрібно щоб дотримувалася наступна умова:

$$n_{ТГ} \geq n_{ДВ} = 650 \text{ об / хв}$$

де $n_{ДВ}$ – номінальна частота обертання валу двигуна; $n_{ТГ}$ – частота обертання тахогенератора

Тахогенератор має відповідати низці ключових вимог, серед яких виділяються наступні: забезпечення мінімальної похибки у відтворенні заданої функціональної залежності, що передбачає мінімальне відхилення вихідного сигналу від ідеальної лінійної характеристики; збереження стабільності фази вихідної ЕРС при варіаціях кутової швидкості ротора; а також досягнення максимальної крутизни вихідної характеристики. Крім того, специфічні вимоги до пристрою визначаються умовами його експлуатації. Виходячи з цих параметрів, обираємо відповідний тип тахогенератора, який найкраще відповідає поставленим задачам.

Таблиця 3.8. Основні технічні параметри тахогенератора з постійним струмом

Параметри тахогенератора ПТ-22	
Номінальна частота обертання	$n_{TT}=800 \text{ об/хв}$
Номінальний струм	$I=0,2 \text{ А}$
Номінальна напруга	$U=230 \text{ В}$
Струм збудження	$I=0,35 \text{ А}$
Опір якорного ланцюга	$R_{\text{я}}=70,7 \text{ Ом}$
Опір обмотки збудження	$R_{\text{оз}}=127 \text{ Ом}$
Ціна	$1968,34 \text{ грн}$
Параметри тахогенератора ТМГ-30	
Номінальна частота обертання	$n_{TT}=4000 \text{ об/хв}$
Номінальний струм	$I=130 \text{ мА}$
Номінальна напруга	$U=110 \text{ В}$
Опір навантаження	$R=7,23 \text{ кОм}$
Ціна	$2350,44 \text{ грн}$

Розрахуємо величину напруги, яку генерує тахогенератор за умови, що частота обертання двигуна дорівнює номінальному значенню:

$$U_{TT} = U_{TTn} \frac{n_{ДВ}}{n_{TTn}} \quad (3.28)$$

За формулою (3.28) маємо:

$$U_{TT} = 230 \cdot \frac{650}{800} = 186,9 \text{ В}$$

Припустимо, що для системи зворотного зв'язку по струму на заданій частоті обертання необхідно отримати вихідну напругу датчика швидкості близько 10 В. Для досягнення цього застосовується напругороздільний пристрій. Під час розрахунку опору ділянки слід враховувати такі аспекти:

- При досягненні номінальної швидкості, падіння напруги на резисторі $R_{\partial 2}$ має становити близько $U_{\partial 2}$, що дорівнює приблизно 10 В.
- Загальний опір, який забезпечують подільники напруги, повинен відповідати вимогам електричної схеми для стабільної роботи пристрою.

$$R_{\partial} = \frac{U_{TT}}{I_{TTном}} \quad (3.29)$$

За формулою (3.29) маємо

$$R_{\partial} = \frac{186,9}{0,2} = 934,5 \text{ Ом}$$

4) Складові частини дільника обчислюють поетапно, застосовуючи таке математичне вираження

$$R_{\partial 1} = \frac{R_{\partial} \cdot U_{\partial 2}}{U_{ТГ}} \quad (3.30)$$

За формулою (3.30) маємо

$$R_{\partial 1} = \frac{934,5 \cdot 10}{186,9} = 50 \text{ Ом}$$

$$R_{\partial 2} = R_{\partial} - R_{\partial 1} \quad (3.31)$$

За формулою (3.31) маємо

$$R_{\partial 2} = 934,5 - 50 = 884,5 \text{ Ом}$$

Розрахуємо величину струму, який протікає в електричному колі тахогенератора, за умови, що двигун ДВ806 працює на номінальній частоті обертання.

Частота обертання валу двигуна

$$n_{ДВ} = 650 \text{ об / хв}$$

Значення струму в ланцюзі тахогенератора:

$$I_{ТГ} = \frac{U_{ТГ}}{R_{\partial 1} + R_{\partial 2}} \quad (3.32)$$

За формулою (3.32) маємо

$$I_{ТГ} = \frac{186,9}{50 + 884,5} = 0,2 \leq I$$

Проведені обчислення дозволяють дійти висновку, що тахогенератор моделі ПТ-22 є оптимальним вибором для використання з двигуном ДВ806.

3.4.3. Вибір датчика рівня

Радіолокаційний сенсор рівня використовується для постійного безконтактного контролю рівня заповнення об'ємних резервуарів. Він

ефективно працює як самостійний пристрій, так і як елемент автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУ ТП). Дані про рівень заповнення передаються через вихідний роз'єм у вигляді пропорційного сигналу, який може бути представленим у формі струму або цифрового коду.

Радарний датчик РДУ-Х2 є безконтактним радіолокаційним пристроєм, що характеризується універсальністю у використанні. Він підходить для моніторингу різних типів матеріалів і забезпечує ефективну роботу в найрізноманітніших умовах усередині резервуарів або ємностей. Цей датчик дозволяє контролювати рівень рідин, сипучих матеріалів, твердих речовин, шлакоподібних мас, а також сумішей різних фракцій.

- вода, кислоти, лужні розчини, бетонні суміші;
- порошки гіпсу, фосфатів, цементу, вугілля, азбесту, вапна;
- пісок, галька, щебені, великі фракції конгломератів руд, вугілля;
- розплавлений і застиглий метал, шлаки й металобрухт;
- хлібопродукти, зерно, шроти, борошно, комбікорм, пластівці.

Рекомендовано використовувати датчики РДУ навіть за умов присутності пилу, туману або випарів у ємностях, запиленості поверхонь чи наявності всередині резервуарів обладнання для перемішування, такого як мішалки.

Розміщення РДУ можливе на відкритих майданчиках, не захищених від впливу погодних факторів. Однак, для запобігання корозії корпусу під дією атмосферних опадів, таких як дощ чи сніг, рекомендується забезпечити додатковий захист. Це можна зробити, встановивши пристрій під навісом або покривши його спеціальними матеріалами, наприклад, плівкою, фольгою тощо.

Якщо датчик використовується за температур, що перевищують або не досягають обговорених меж, забезпечення заданої точності вимірювання рівня не гарантується.

У разі експлуатації пристрою в умовах агресивних середовищ, щоб уникнути корозії корпусу, доцільно обгорнути його поліетиленовою плівкою, тканиною або іншим відповідним матеріалом.

Таблиця 3.9 – Технічна характеристика датчиків рівня РДУ-Х2 та РДУ-Х8

Технічні дані	Значення параметра	
	РДУ-Х2	РДУ-Х8
Діапазон виміру рівня, м	0-10; 0-25	0-25; 0-35
1	2	3
Межа допускає основний абсолютної погрішності виміру рівня рідких середовищ по цифровому виходу, мм	±100	±5
Межа допускає основний наведеної погрішності виміру рівня рідких середовищ по струмовому виходу, %		±0,1
Межа допускає основний наведеної погрішності виміру рівня сипучих середовищ по струмовому виходу, %		±1,0
Зона нечутливості	1,0	0,5
Вихідний сигнал: - цифровий - струму	RS-485 (RS-232) 0-5; 0-20; 4-20	RS-485 (RS-232) 4-20
Параметри живлення: - напруга постійного струму, В - змінного струму (від окремого джерела живлення), В - частота змінного струму, Гц	19,24-28,8 1874-242 50±1	9-36 1874-242 50±1
Ціна	11345,27	12200

Конструкція приладу

Основним елементом РДУ є рупорна антена. На її поверхні монтується ППУ та спеціальна підставка, до якої прикріплюється друкована плата. Поверх підставки розміщується циліндричний ковпак. У середині рупора встановлюється фторопластова лінза, яка фіксується за допомогою кріпильного фланця. Цей фланець також використовується для надійного закріплення РДУ у робочому положенні. Для підключення РДУ використовується кабель, оснащений роз'ємом типу ОНЦ.

Вихідний сигнал можна контролювати, передаючи дані через інтерфейс RS-485 по шостому та сьомому екранованим проводам. На персональний комп'ютер передається зображення роботи аналізатора спектра (в комплекті надається перетворювач інтерфейсів RS485/RS232). Такий

підхід дозволяє отримати більш детальну інформацію, що сприяє точнішому налаштуванню приладу на даху. Як результат, забезпечується зменшення похибки під час виконання вимірювань.

Двоканальний індикатор-регулятор-самопис "МЕБИУС-2" дозволяє: відображати вихідний сигнал у вигляді струму, лінійно перетворювати його в цифровий формат і графічне зображення, забезпечувати сигналізацію критичних і попереджувальних значень, а також має релейний вихід для підключення зовнішніх виконавчих пристроїв або систем оповіщення.

Використання персональної електронно-обчислювальної машини дає змогу створити вимірювальну систему, що базується на спеціально розробленому програмному забезпеченні, яке має зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для користувача.

Основні технічні характеристики рівнемірів з ПЕОМ

Діапазон вимірюваних відстаней: $R=0,5 - 20$ м.

Похілка виміру рівня:

- з зовнішнім комп'ютером: $R=+1,5$ см.

- у режимі витратоміра: $R=+0,1$ см.

Максимальна швидкість виміру відстані: 30мм/с.

Кількість одночасно контрольованих об'єктів: до 16

У датчика передбачено графічний індикатор у формі ємності, на якій відображені межі допустимих рівнів за допомогою червоних ліній. Також є цифровий дисплей, що показує результати вимірювань, кольоровий квадратний індикатор, який сигналізує про готовність пристрою до роботи, та табло, на якому відображається час виконання останнього виміру.

Особливі поля налаштувань дають можливість визначити верхню та нижню межі для графічного індикатора-ємності. Такий індикатор може відображати рівень наповнення резервуара або залишковий простір до його верхньої межі. Режим функціонування індикатора визначається залежно від введених значень у зазначених межах вимірювання.

3.4.4. Вибір програмованого логічного контролеру

Критерії вибору промислових контролерів

Програмовані логічні контролери (ПЛК) знайшли широке використання в різноманітних сферах промислового виробництва, де вони забезпечують ефективну автоматизацію та контроль технологічних процесів.

Різнноманіття програмованих логічних контролерів (ПЛК), представлених на ринку засобів автоматизації, створює для розробників автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУТП) складність у виборі. Це обумовлено необхідністю врахування економічної доцільності, а також визначення оптимального типу контролера та його виробника.

На початкових етапах розвитку програмованих логічних контролерів (ПЛК) між ними існували значні відмінності в таких аспектах, як якість виготовлення елементів (технологія), функціональність (включаючи базові та спеціалізовані можливості), продуктивність, архітектура локальної шини управління і передачі даних, системне програмне забезпечення, інструментальні комплекси для створення прикладних програм, а також засоби для діагностики. Проте сьогодні спостерігається тенденція до уніфікації цих характеристик, що призводить до зменшення відмінностей між різними моделями ПЛК.

Пропонуються різноманітні підходи до визначення основних критеріїв для оцінювання вибору програмованого логічного контролера (ПЛК):

- технічні характеристики;
- експлуатаційні характеристики;
- споживчі властивості.

Програмовані логічні контролери в різних конфігураціях оцінюють за такими параметрами, як швидкодія, ефективність роботи, обсяг доступної

пам'яті для програм, кількість вхідних і вихідних каналів, а також за їх функціональними можливостями.

Аналіз програмованих логічних контролерів (ПЛК) за їх технічними та експлуатаційними параметрами, а також споживчими властивостями є логічним підходом, але його не можна вважати повністю вичерпним. Зокрема, такий підхід не враховує комунікаційного потенціалу, ролі в структурі автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУТП) та інших важливих особливостей.

Пропонуються такі вимоги, яким можуть відповідати програмовані логічні контролери (ПЛК):

- відповідність функціонально-технологічній структурі об'єкта управління;
- забезпечення оптимального балансу між вартістю та продуктивністю;
- наявність широкого асортименту спеціалізованих модулів (наприклад, мережевих, для зважування, управління рухом тощо);
- здатність до створення систем резервування та забезпечення протиаварійного захисту.

Таблиця 3.10 – Властивості та параметри програмованих логічних контролерів

Назва фірми виробника	Час виконання (бітові команди)	Модулі	Виконувані функції	Зв'язок	Ціна, грн.
1	2	3	4	5	6
Schneider Electric (Modicon M340)	0,18 ... 0,26 мкс	На 64 каналів	Логічні, тимчасові, рахункові, арифметичні із словами одинарної і подвійної довжини, у форматі з плаваючою комі, робота з таблицями, ПІД-регулятора	USB порт для програмування і підключення людино-машинного інтерфейсу 2 додаткові порти на вибір: Ethernet, CANopen, Modbus	25495
Schneider Electric (Modicon Micro ПЛК TSX37-05)	0,3...0,15 мкс	більше 40 різних спеціалізованих модулів, включаючи швидкі лічильники, модулі виміру і регулювання,	Введення, обробку і формування дискретних і аналогових сигналів, PID - регулювання, позиціонування,	Порт RS-485; протоколи Uni-Telway master/slave, Modbus slave, ASCII.	22230

		модуль безпеки, входи / виходи на 24 В постійного струму або 220 В змінного струму.	організацію діалогу з оператором, скорочення часу реакції облаштування управління на зовнішні дії		
Schneider Electric (Modicon Premium - TSX 57)	0,17 ... 0,24 мкс	Аналогові входи/виходи 12 каналів (модулі 4,8 чи 16 каналів)	Великий каталог прикладних модулів (безпека, обробка рефлексів, лічильники, позиційне управління, рух)	Модулі Ethernet TCP/IP (з інтегрованим Web-сервером чи без нього, Fipway або Modbus Plus	35000

ПЛК (програмовані логічні контролери) застосовуються на рівні окремих цехів, а також на локальному рівні автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУТП). Використання контролерів на цеховому рівні в умовах централізованих АСУТП має відповідати ключовим вимогам, таким як:

- Локальна або промислова шина для обміну інформацією між контролером і розподіленим (віддаленим) УСО, наприклад, Modbus Plus або PROFIBUS, із мінімальною швидкістю передачі даних 1 Мбіт/с.
- Індустріальна магістраль для зв'язку між контролером і автоматизованим робочим місцем диспетчера.
- Загальна кількість змінних, які обробляє один ПЛК, перевищує 280 для дискретних і 112 для аналогових сигналів.
- Реалізація зворотного зв'язку у режимі реального часу.
- Функції синхронізації часу для забезпечення точності роботи системи.
- Можливість обробки переривань для оптимізації роботи системи.
- Наявність контурів регулювання для підтримання необхідних параметрів.
- Функціонал архівації даних для збереження історії параметрів і подій.
- Можливість резервування системи для забезпечення надійності (опційно).
- Підтримка програмування без зупинки системи (on-line).

Оптимальними з цієї точки зору є контролери, які використовують шину VME або локальну шину для передачі даних зі вбудованими УСО. До

таких належать, зокрема, контролери серій SIMATIC S5 - 115F, SIMATIC S7 – 400 від Siemens, а також моделі Premium і Quantum, що випускаються Schneider Electric.

Програмувальний логічний контролер Microфірми Schneider Electric

Програмовані логічні контролери MICRO створені спеціально для задоволення потреб виробників комплектного обладнання, станків та агрегатів (OEM). Ці пристрої здатні виконувати широкий спектр завдань, включаючи прийом, обробку та генерацію аналогових і дискретних сигналів, реалізацію PID-регулювання, функції позиціонування, налагодження взаємодії з оператором, а також оптимізацію часу реакції системи управління на зовнішні впливи тощо.

Контролери MICRO можуть бути використані для створення автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУТП) із кількістю входів і виходів у межах 200–300. Завдяки їхнім розширеним мережевим можливостям стає можливим впровадження стандартних мережових рішень, що базуються на різноманітних комунікаційних мережах. Це забезпечує широкий вибір функціональних характеристик і варіантів вартості, відповідно до потреб конкретного проекту.

Використання контролерів MICRO сприяє значному зменшенню витрат на автоматизацію завдяки оптимізації витрат часу та ресурсів на розробку, налаштування й діагностику алгоритмів управління (застосування інструментів PL7 MICRO), скороченню витрат на монтажні роботи (система TELEFAST) та підвищенню ефективності експлуатації системи управління (оболонка PL7ProDyn). Для технологів і програмістів це відкриває доступ до потужних інструментів створення додатків із використанням спеціалізованих мов програмування, які рекомендовані стандартом IEC 1131-3 для роботи у цій сфері.

Контролер TSX Micro ідеально підходить для використання в компактних системах, що потребують мобільності, або у випадках, коли обмежений простір вимагає мінімального розміру обладнання. Цей пристрій

також демонструє високу надійність у складних умовах довкілля, що робить його оптимальним вибором для різних задач.

Таблиця 3.11.- Технічна характеристика ModiconMicro ПЛК TSX37–05

Тип ПЛК	TSX 37 05 028DR1
Дискретні входи/виходи, кількість	8 входів и 8 виходів.
Аналогові входи/виходи, кількість	2 напівформатних модулі; 8 вх., 12 бит (+ 10 В, 0–10 В), (0–20 мА, 4–20 мА); 4 диф. універсальних входу (4–20 мА, термопара, термоопір); 4 вих., 11 бит + знак (+ 10 В, 0–20 мА, 4–20 мА).
Імпульсні входи-вбудовані, кількість, тип	2 x 500 Гц на дискретних входах 2 напівформатних модуля; 1 або 2 канала, 40 кГц; 2 x 500 кГц; Рахунок прямий, зворотній, реверсивний
Структура програми	Однозадачна (циклічна чи періодична); багатозадачна (циклічна чи періодичне основне завдання, періодичне швидке завдання); завдання обробка події (переривання) - до 8 завдань.
Структура пам'яті	9 К слів захищеної пам'яті RAM.
Напруга живлення	110/240 В пер. струму (вбудоване джерело живлення, 24 В, для датчиків).

Оновлена базова комплектація Micro передбачає наявність джерела живлення (24 В постійного струму або 220 В змінного струму), центрального процесорного модуля з пам'яттю, невеликого дисплея для діагностування, а також різноманітних комунікаційних портів і плат розширення.

Для задоволення різноманітних потреб користувачів, пристрій пропонує 5 модульних варіантів конфігурації. Кожен із них забезпечує різні рівні інтеграції, такі як підтримка введення/виведення, лічильників, а також можливість використання PCMCIA-карт для зв'язку, що підвищує відкритість і гнучкість системи.

Модулі можуть мати розмір, який відповідає одному слоту або половині слоту, і підтримують різну кількість точок підключення (8, 16, 32, 64). Усі моделі модулів дискретного введення та виведення сумісні й можуть

працювати разом у межах однієї конфігурації контролерів. Системи Micro можна легко інтегрувати з іншими пристроями та обладнанням Schneider Electric, такими як перетворювачі частоти Altivar або операторські термінали Magelis, що дозволяє створювати універсальні, прості та ефективні рішення для автоматизації.

Архітектура PLC TSX Micro

Micro можна встановлювати без потреби в додаткових дорогих чи громіздких пристроях, таких як обмежувачі перенапруги, акумуляторні батареї, захисні елементи для виходів або джерела живлення.

Компактність TSX Micro забезпечується завдяки застосуванню змінних або зовнішніх клемних колодок. Інтеграція системи швидкого монтажу Telefast 2 надає змогу виконувати з'єднання зручним, оперативним і надійним способом, що водночас об'єднує функції захисту, розподілу електроживлення та адаптації каналів.

Модулі AS - і Master створені для оптимізації підключення і зниження загальних витрат на систему. Завдяки використанню великої кількості пристроїв Micro, потреба в кабелях значно скорочується, а підключення обладнання виконується швидше, що дозволяє мінімізувати час монтажу системи.

Мережеві рішення для PLC TSX Micro

Реалізація системи на основі TSX Micro із залученням Ethernet відкриває широкі можливості для користувачів. Використання протоколу TCP/IP Modbus Ethernet забезпечує гнучке та універсальне мережеве рішення, що задовольняє потреби як системних інтеграторів, так і кінцевих споживачів. Інтеграція з Ethernet дозволяє безперешкодно з'єднувати датчики, пристрої керування (такі як перетворювачі частоти), вимірювальні прилади та засоби візуалізації, усуваючи обмеження, характерні для закритих систем.

Micro, оснащений модулем зв'язку на 100 МГц, забезпечує широкий спектр можливостей для доступу до різноманітних застосунків та миттєвого

реагування. Підключення через Ethernet гарантує швидкість налаштування та встановлення програмного забезпечення. Завдяки відсутності потреби у додаткових інтерфейсах, пристрій підтримує функцію локального підключення, що є важливим для налаштування та коригування програм.

Підключення Micro до ПК для діагностики, налаштування або завантаження програмного забезпечення можливе без необхідності встановлення додаткових драйверів чи утиліт. Це здійснюється через стандартний модем, із застосуванням інтегрованого порту RS-232 зі швидкістю до 56 Kbps, працюючи за протоколом PPP у режимі TCP/IP.

Після налаштування базових параметрів Ethernet-модуль забезпечує повноцінний доступ до інтерфейсів для обслуговування, налаштування та діагностики. Для цього достатньо скористатися стандартним веб-браузером, який входить до складу операційної системи Windows.

Таким чином, можна стверджувати, що контролер Schneider Electric (Modicon Micro PLC TSX37-05) є найбільш раціональним варіантом серед запропонованих пристроїв.

У цьому розділі була розроблена структурна схема автоматизованої системи управління висотою шару окатишів на випалювальній установці. Детально описані функціональні можливості системи регулювання рівня шару окатишів, а також автоматизованої системи управління швидкістю роботи двигуна.

Для впровадження системи автоматичного регулювання рівня окатишів застосовується програмований логічний контролер ModiconMicro ПЛК TSX37-05. Це рішення сприяє зниженню витрат на автоматизацію за рахунок зменшення часу і зусиль, необхідних для розробки, налаштування та тестування алгоритмів керування.

Для створення системи автоматизованого контролю швидкості обертання двигуна застосовується ПІД-регулятор. Він дозволяє підтримувати задану швидкість руху виконавчого механізму (наприклад, двигуна),

незважаючи на наявність постійного або поступово змінного навантаження, що впливає на його роботу.

Запропонована автоматизована система для управління технологічним процесом ефективно виконає всі завдання, пов'язані з автоматизацією, забезпечуючи оптимальне рішення для досягнення поставлених цілей.

4 Розрахунки та експериментальні матеріали, що підтверджують працездатність виробу

4.1 Імітаційне моделювання двигуна візка випалювальної машини

Під час розробки автоматичних пристроїв часто виникає потреба підтримувати стабільну швидкість обертання валу двигуна, яка залишатиметься незмінною незалежно від прикладеного навантаження.

Швидкість обертання валу двигуна визначається не лише рівнем поданої напруги, але й різноманітними зовнішніми чинниками, які можуть впливати на роботу пристрою. До таких факторів належать коливання сили тертя, зміни навантаження, температурні умови, якість мастила та інші випадкові обставини. Відтак, завдання підтримання заданої швидкості обертання валу зводиться до розробки такого режиму подачі напруги на двигун, який дозволяє досягти стабільної швидкості обертання, незалежно від дії зовнішніх впливів та випадкових змін у системі.

Розв'язання цього завдання передбачає розробку та впровадження регулятора типу ПД для контролю швидкості.

ПД-контролер забезпечує підтримання заданої швидкості виконавчого механізму, наприклад, двигуна, незалежно від впливу постійних або поступово змінюваних навантажень.

Пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор (ПД-регулятор) є автоматичним пристроєм, що забезпечує керування за рахунок трьох складових: пропорційної, інтегральної та диференціальної. Кожна з цих частин має власний коефіцієнт підсилення: (K_p) для пропорційної, (K_i/p) для інтегральної та ($K_d p$) для диференціальної.

Пропорційний компонент функціонує шляхом множення помилкового сигналу $e(t)$ на коефіцієнт K_p , формуючи вихідний сигнал u_p .

$$y_n(t) = K_n \cdot \varepsilon(t) \quad (4.1)$$

Інтегральна ланка виконує функцію інтегрування вхідного сигналу $e(t)$ за певний проміжок часу, при цьому результат множиться на коефіцієнт K_u , що забезпечує формування вихідного сигналу y_u .

$$y_u(t) = K_u \cdot \int_0^t \varepsilon(\tau) d\tau \quad (4.2)$$

Диференціальна ланка виконує операцію диференціювання сигналу помилки $e(t)$ за часом, множить отриманий результат на коефіцієнт K_d , а потім формує вихідний сигнал y_d .

$$y_d(t) = K_d \cdot \frac{d\varepsilon(t)}{dt} \quad (4.3)$$

Суматор ПД-регулятора виконує об'єднання сигналів $y_n(t)$, $y_u(t)$ та $y_d(t)$, формуючи результат у вигляді вихідного сигналу $U(t)$.

$$U(t) = y_n(t) + y_u(t) + y_d(t) \quad (4.4)$$

Розглянемо метод настроювання ПД-регулятора в Simulink:

Інструментальний пакет Nonlinear Control Design Blockset (NCD Blockset) надає користувачам можливість застосовувати зручний графічний інтерфейс для налаштування характеристик динамічних систем, що забезпечують задану якість перехідних процесів. Для досягнення цієї мети використовується оптимізаційний підхід, який мінімізує штрафну функцію, що враховує порушення встановлених динамічних обмежень. Завдяки цьому інструменту стає можливим налаштування параметрів нелінійних моделей Simulink. Як налаштовувані параметри можуть використовуватися різноманітні змінні, серед яких скалярні значення, векторні величини та матриці. У процесі оптимізації враховуються параметричні невизначеності математичних моделей, що дозволяє розробляти робастні алгоритми управління.

Виконання завдань динамічних обмежень відбувається у візуалізованому режимі. Використовуючи ці обмеження, інструмент NCD-Blockset автоматично формує задачу скінченновимірної оптимізації. Мета

полягає в тому, щоб забезпечити відповідність точки екстремуму в просторі налаштовуваних параметрів усім вимогам, висунутим до якості процесу. Для вирішення цієї задачі застосовується спеціалізована методика квадратичного програмування, яка є частиною інструментарію Optimization Toolbox. Під час оптимізації на екрані в реальному часі відображається графік контрольованого процесу разом із поточними значеннями мінімізованої функції. Після завершення оптимізаційного процесу його результати автоматично зберігаються в робочому середовищі.

Розглянемо основні принципи налаштування локальної системи автоматичного керування, що забезпечує роботу двигунів візків випалювальної установки.

У середовищі Simulink створимо модель об'єкта управління, орієнтуючись на представлену схему (рис. 4.1). Для цього розмістимо у робочій області наступні елементи: блок Constant (доступний у бібліотеці Sources), блок Sum (знаходиться у бібліотеці Math Operations), блок Transfer Fcn (з бібліотеки Continuous), а також блок PID Controller, який можна знайти в розділі Simulink Extras / Additional Linear.

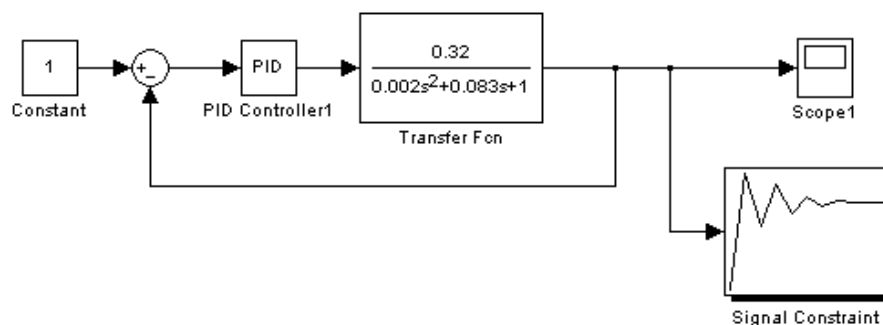


Рисунок 4.1 – Модель САК двигуна візків випалювальної машини

Налаштування моделі двигуна виконаємо шляхом коригування параметра Denominator у блоці TransferFcn. При цьому задамо йому значення у вигляді вектора $[0,002 \ 0,083 \ 1]$. Додатково змінимо параметр NumeratorCoefficient, встановивши для нього коефіцієнт $[0.32]$, що проілюстровано на рис.4.2.

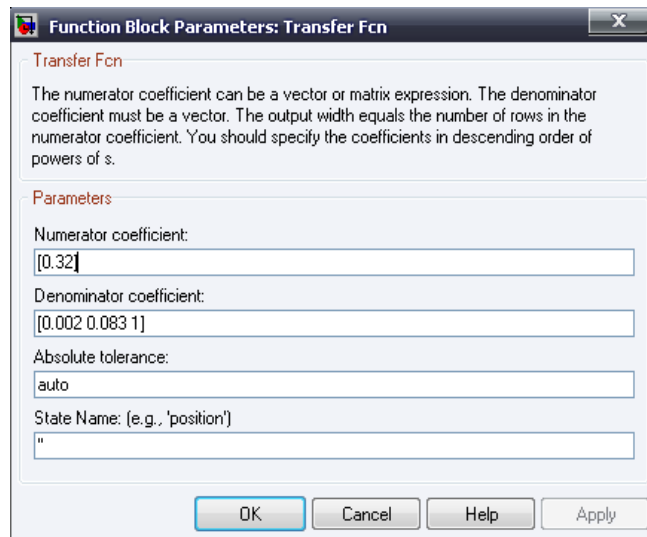


Рисунок 4.2 – Налаштування блоку TransferFcn

У середовищі Matlab у командному рядку задаємо змінні наступним чином: $K_p=1$; $K_i=1$; $K_d=0$. Після цього переходимо до налаштування параметрів блоку PID Controller (див. рисунок 4.3). У поле параметра Proportional вводимо значення змінної K_p , у поле Integral – змінну K_i , а в поле Derivative – значення K_d .

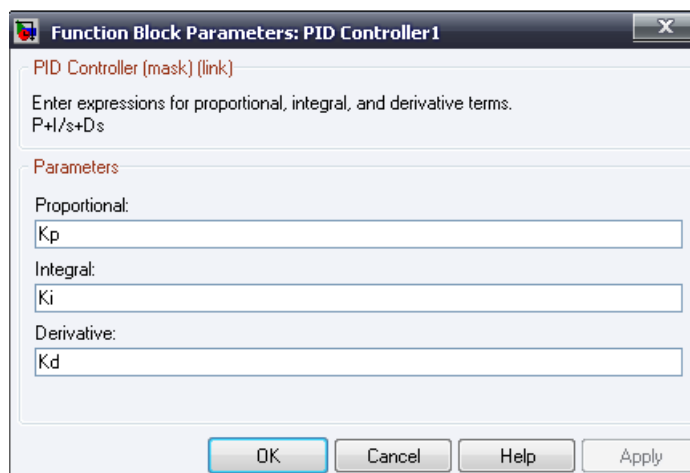


Рисунок – 4.3 Налаштування блоку PID Controller

У результаті було розроблено модель управління двигуном візків випалювальної машини за допомогою Simulink, що є локальною системою управління. Це дозволяє перейти до етапу визначення обмежень, які застосовуються до вихідного сигналу системи (блок Transfer Fcn).

Для цього потрібно двічі клацнути на елементі SignalConstraint, після чого відкриється відповідне вікно (рис. 4.3). На наступному етапі

встановлюються необхідні межі для коридору, враховуючи вимоги до виконання завдання (див. рис. 4.4).

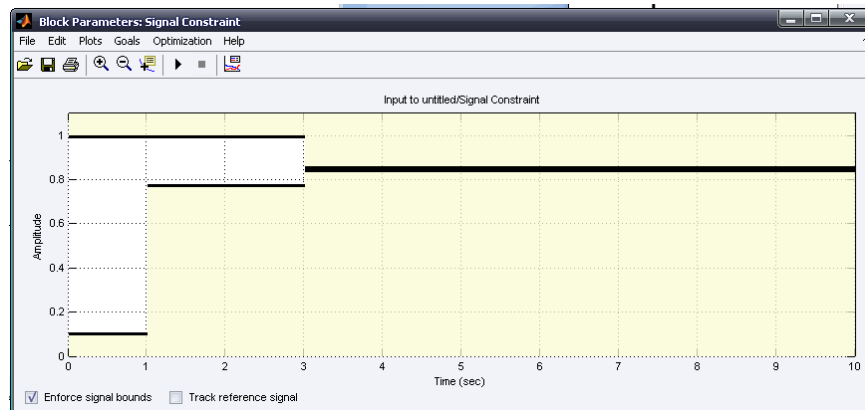


Рисунок 4.3 – Налаштування блоку SignalConstraint

Уявімо, що необхідно розробити систему керування із зворотним зв'язком для двигуна, який приводить у рух візки випалювальної установки. Даний двигун описується передатною функцією

$$W_6(p) = \frac{0,32}{(0,024 \cdot 0,083 p^2 + 0,083 p + 1)}$$

Сформулюємо вимогу до замкненої системи: час перехідного процесу, тобто вхід у зону $\pm 1\%$ від усталеного значення, має становити не більше 6 секунд. Як регулятор зворотного зв'язку обрано ПД-регулятор, передатна функція якого має вигляд

$$R(p) = K_p + K_i \cdot \frac{1}{p} + K_d \cdot p$$

Задача полягає у виборі таких значень коефіцієнтів, які б відповідали заданим критеріям якості перехідного процесу.

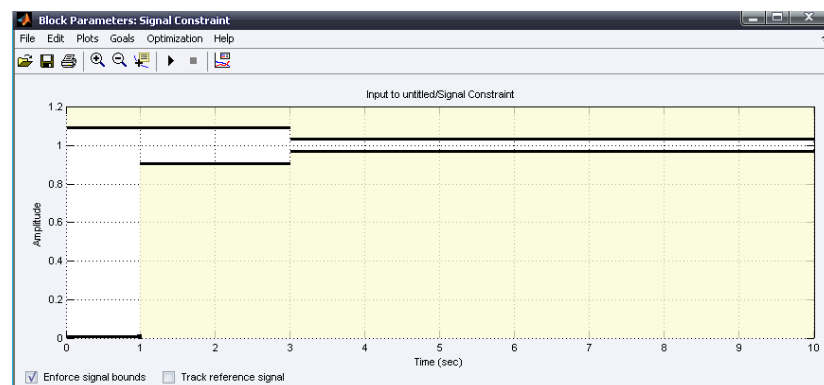


Рисунок 4.4 – Налаштування блоку SignalConstraint відповідно до заданої умови

Оберемо пункт Tuned Parameters у меню Optimization. Це відкриє нове вікно, де в полі Tunable parameters (рис. 4.5) слід зазначити назви змінних, які потребують налаштування: K_p , K_i , K_d .

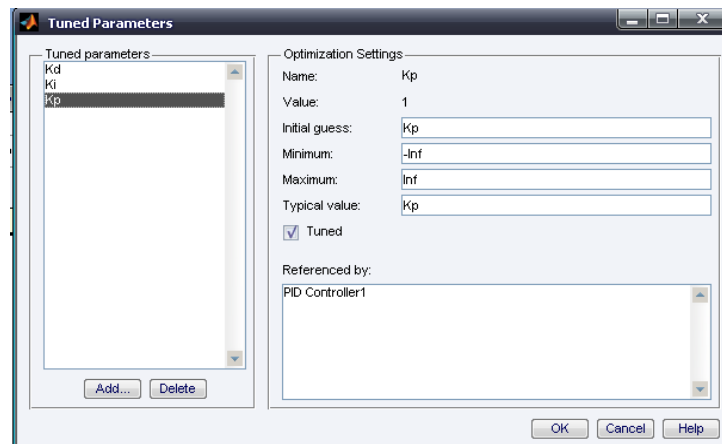


Рисунок 4.5 – Налаштування TunedParameters

Тепер можна розпочинати процес оптимізації. Натискаємо кнопку Start і спостерігаємо за перебігом процесу. На кожному етапі в спеціальному вікні демонструються графіки сигналів, які відповідають початковим значенням параметрів (зазначені синім кольором) та поточним параметрам (позначені чорним кольором) налаштування (рис. 4.6). У командному рядку MATLAB надається детальна інформація про прогрес виконання оптимізації.

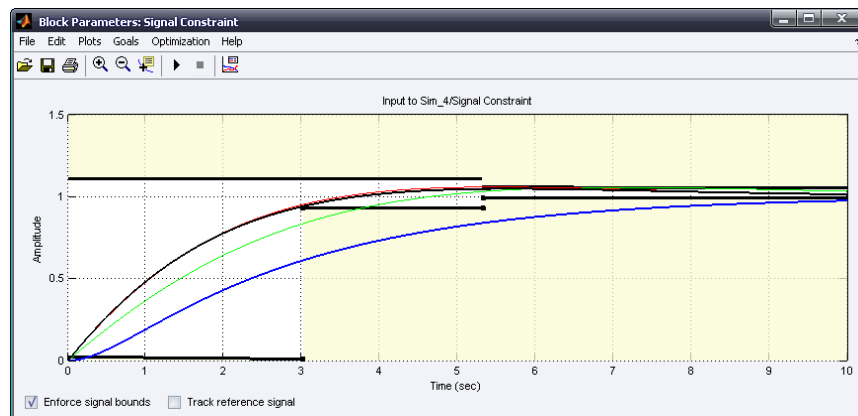


Рисунок 4.6 – Графік оптимізації

Після завершення оптимізації, налаштовані оптимальні параметри змінних, які відповідають чорній кривій, зберігаються у робочому середовищі MATLAB. У цьому прикладі значення параметрів такі: $K_p = 5,6928$; $K_d = 9,2930$; $K_i = 2,9440$.

4.2 Імітаційне моделювання системи завантаження окатишів на випалювальну машину та контроль висоти шару окатишів

Багатошарові нейронні мережі демонструють високу ефективність у вирішенні завдань, пов'язаних з управлінням динамічними процесами, що протікають у складних системах. Вони слугують основою для розробки різноманітних нелінійних регуляторів, які відрізняються за принципами функціонування і застосовуються для оптимізації навчання та управління такими системами.

Прикладами засобів регулювання для керування складними системами можуть бути:

- регулятори, що використовують алгоритми прогнозування;
- регулятори, побудовані на моделі авторегресії із застосуванням ковзного середнього значення;
- регулятори, орієнтовані на використання еталонної моделі для досягнення заданих параметрів.

Процес проектування регуляторів включає два ключових етапи: визначення характеристик керованої системи та створення закону управління.

На першому етапі формується математична модель керованого об'єкта, яка представляється у вигляді нейронної мережі. Ця модель слугує основою для подальшого етапу розробки, де виконується синтез регулятора.

Хоча процедура ідентифікації залишається незмінною для різних структур багатошарових нейронних мереж, методи, що застосовуються на етапі створення закону управління, можуть суттєво відрізнитися в залежності від конкретної архітектури мережі.

У процесі керування із прогнозуванням модель системи використовується для передбачення її подальшої динаміки, а оптимізаційний алгоритм визначає таке управління, яке дозволяє зменшити розбіжність між очікуваними результатами та фактичними змінами на виході системи.

При використанні моделі авторегресії з ковзаючим середнім, регулятор являє собою відносно просту схему, що реконструює поведінку керованого процесу.

У разі управління, заснованого на еталонній моделі, регулятор налаштовується таким чином, щоб відстежувати динаміку еталонного процесу, при цьому модель керованої системи виконує важливу роль у коригуванні параметрів регулятора.

У середовищі MATLAB, у рамках пакету Neural Network Toolbox, представлено три типи регуляторів: NN Predictive Controller, який працює за принципом передбачення, NARMA-L2 Controller, що базується на моделі авторегресії з ковзаючим середнім, та Model Reference Controller, який використовує еталонну модель. NARMA-L2 Controller застосовує нейронну мережу для опису нелінійної моделі керованого об'єкта з метою прогнозування його подальшої динаміки. Окрім цього, регулятор формує сигнал управління, спрямований на оптимізацію роботи об'єкта в межах визначеного часового проміжку.

Описано основні характеристики пакету та алгоритм створення нейрорегулятора на основі моделі авторегресії з ковзаючим середнім (NARMA) – L2 Controller. Також наведено результати комп'ютерного моделювання нейронної системи регулювання висоти шару окатишів на обпалювальній установці (рис. 4.7).

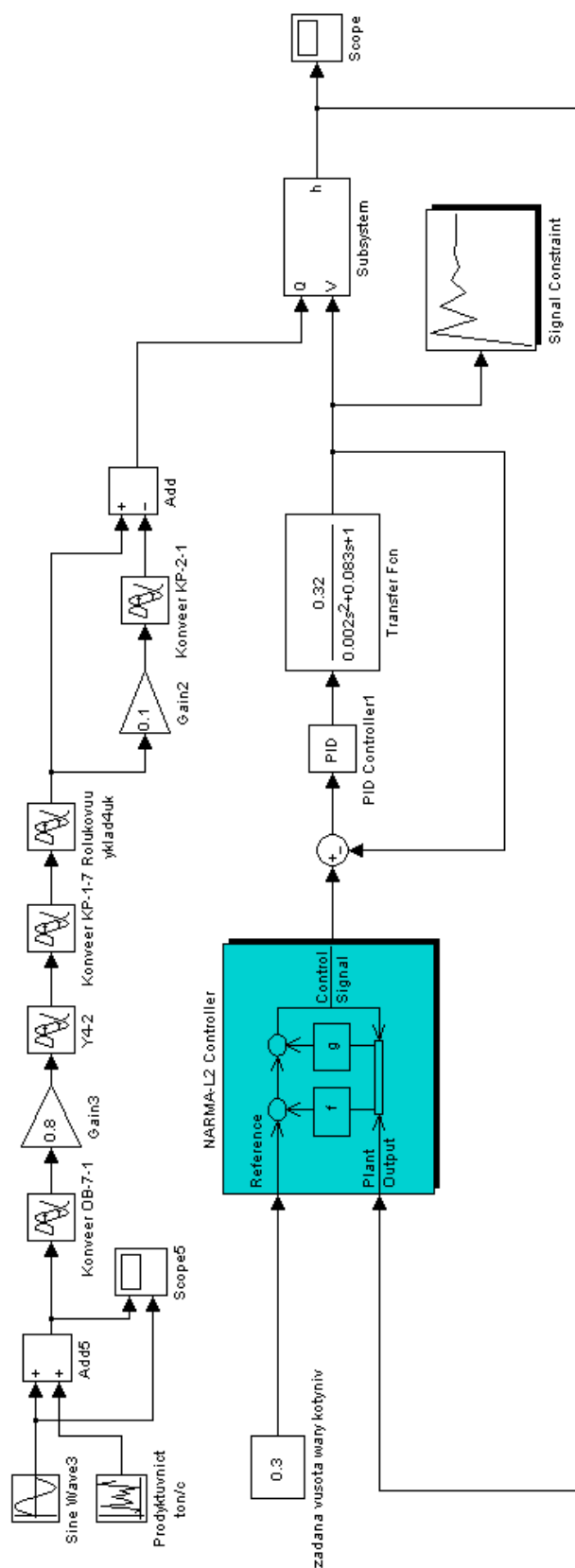


Рисунок 4.7 – Модель імітації процесу завантаження окатишів на випалювальну установку з одночасним регулюванням висоти шару

Синтез нейроконтролера розпочинається з активації модуля NARMA-L2 Controller. При цьому відкривається вікно Plant Identification NARMA-L2 (рис. 4.8). Це вікно є універсальним інструментом, який дозволяє створювати нейронні моделі для різноманітних динамічних систем, описаних за допомогою моделі SIMULINK.

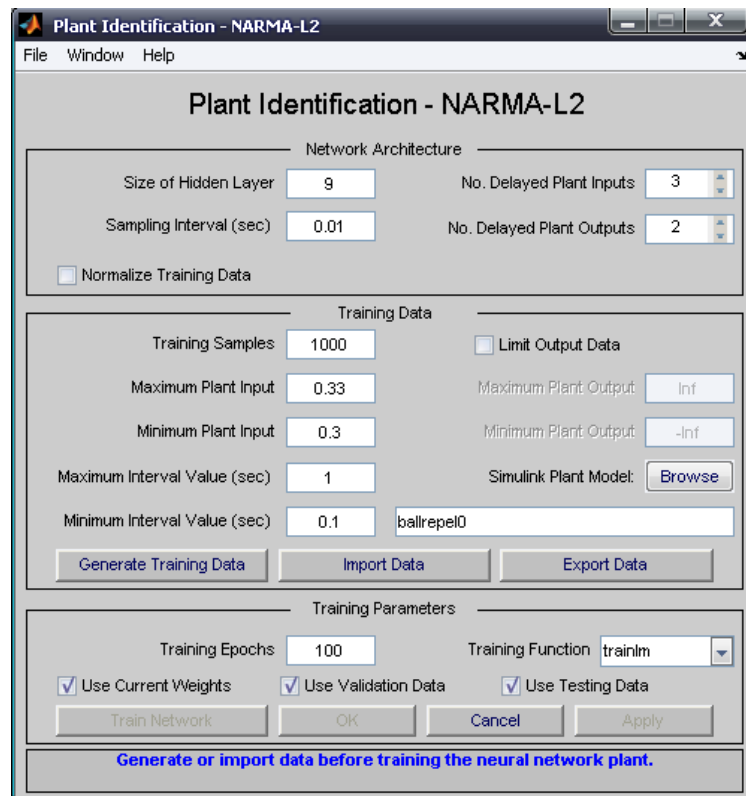


Рисунок 4.8 – Вікно ідентифікації управляючого об'єкту

Процедура ідентифікації вимагає завдання наступних параметрів.

На рис.4.7 представлено структурну схему нейромережевої системи, призначеної для стабілізації висоти шару на випалювальній машині. Ця модель була розроблена за допомогою програмного середовища SIMULINK. У складі схеми знаходяться: об'єкт керування, що включає локальну систему автоматичного керування (САК) двигуном випалювальної машини, методику налаштування якої було детально розглянуто в попередньому розділі, контролер типу NARMA-L2, модуль для визначення бажаної висоти шару, а також блок для побудови графічних залежностей.

У схемі завантаження окатишів передбачені елементи затримки, що моделюють роботу конвеєрів. У ній також використовується блок

UniformRandomNumber, який задає параметри продуктивності подачі сирих окатишів. Для моделювання змін продуктивності у вигляді синусоїдального сигналу застосовано блок SineWave3. Крім того, у схемі є блок Subsystem (рис. 4.9), який описує залежність товщини шару окатишів на випалювальній машині від швидкості руху візків.

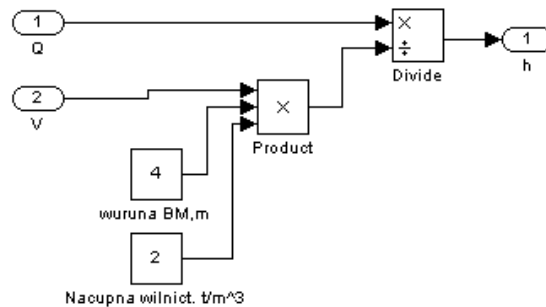


Рисунок 4.9 - Блок Subsystem

Параметри архітектури :

Size of Hidden Layer (N) – кількість нейронів, яка визначає розмір прихованого шару в моделі. Цей параметр впливає на здатність мережі виявляти складні залежності в даних.

Sampling Interval (Δt) – часовий інтервал, що вказує періодичність збору даних у секундах. Він визначає частоту знімання значень і може впливати на точність моделювання.

Number of Delayed Plant Inputs (N) – кількість вхідних змінних з врахуванням затримки. Цей параметр задає, скільки попередніх значень враховує модель при обробці поточного стану.

Number of Delayed Plant Outputs (N) – число врахованих вихідних сигналів із запізненням. Цей параметр відображає, скільки попередніх результатів моделі використовується для прогнозування.

Проведіть нормалізацію навчальних даних. Застосуйте процедуру приведення значень до заданого інтервалу $[0; 1]$ у контрольних вікнах.

Параметри навчаючої послідовності :

Навчальні зразки (NB) — це обсяг вибірки для навчання, який визначається кількістю точок, у яких проводиться збір даних.

Максимальне значення сигналу на вході (Maximum Plant Input, 9_{max}) – це найвищий рівень вхідного сигналу, який може бути прийнятий. Мінімальне значення сигналу на вході (Minimum Plant Input, 9_{min}) – це найнижчий рівень вхідного сигналу, доступний для обробки. Максимальна тривалість інтервалу ідентифікації (Maximum Interval Value, t_{max}), виражена в секундах, задає найбільшу тривалість ідентифікаційного періоду.

Мінімальна тривалість інтервалу ідентифікації (Minimum Interval Value, t_{min}), також у секундах, визначає найкоротший можливий інтервал для виконання ідентифікації.

Контроль обсягу вихідних даних. Це вікно управління, яке дає змогу обмежувати кількість даних, що виводяться. Зверніть увагу, що лише при його активації стають доступними два наступні текстові редактори:

Maximum Plant Output. Максимальне значення вихідного сигналу;

Minimum Plant Output. Мінімальне значення вихідного сигналу;

Simulink Plant Model — це завдання, яке створюється в середовищі Simulink і передбачає визначення вхідних та вихідних портів. Ці порти застосовуються для побудови нейромережевої моделі, яка використовується для керування заданою системою.

Параметри навчання :

Training Epochs - кількість циклів навчання;

Training function - завдання повчальної функції;

Вікно контролю під назвою Use Current Weights надає можливість підтвердити застосування актуальних значень вагових коефіцієнтів нейронної мережі, які використовуються в поточній моделі.

Для реалізації практичного підходу до завдання стеження застосовується модифікована NARMA-модель, у якій окремо виділено компонент управління. Така модель регулятора, відома під назвою NARMA-L2, описується у наступній формі

$$y(k+d) = f[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), u(k-1), \dots, u(k-m+1)] + g[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), u(k-1), \dots, u(k-m+1)]u(k).$$

Перевага цього підходу полягає у можливості безпосереднього розрахунку актуального управління за умови, що задано бажану траєкторію y_r , історичні дані управління, а також попередні та поточні значення вихідного сигналу $[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1)]$.

Однак використання цього співвідношення для практичного впровадження регулятора виявляється досить складним, адже керуючий сигнал $u(k)$ пов'язаний із поточним значенням вихідного параметра $y(k)$. У зв'язку з цим пропонується його модифікація наступним чином:

Параметр передбачення повинен задовольняти умові $d \geq 2$.

На рис.4.10 представлена структура регулятора NARMA-L2, реалізована у вигляді двошарової нейронної мережі. Особливу увагу слід приділити областям мережі, які відповідають за апроксимацію нелінійних операторів g та f , що подані через вихідні сигнали u . Вхідні дані регулятора включають сигнали $y(t+1)$, $u(t+1)$, що реалізовані через зворотний зв'язок, а також еталонний сигнал $y_r(t+2)$.

Затримувальні блоки (ЛЗ) виконують функцію запам'ятовування послідовностей, що стосуються вхідних та вихідних сигналів, які потім використовуються у двошарових нейронних мережах. Ці мережі створюють оцінки нелінійних операторів і формують керуючий сигнал згідно з відповідною формулою, зазначеною раніше.

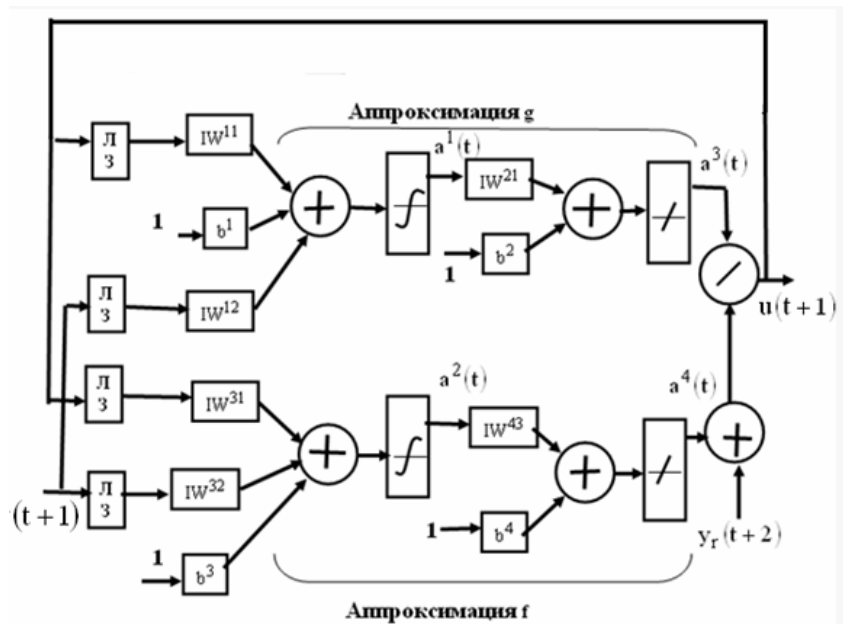


Рисунок 4.10 - Структура регулятора NARMA-L2 у вигляді двошарової нейронної мережі

Запуск процедури Generate Training Data активує програму створення навчальної послідовності, яка працює протягом 100 секунд. У цей період система генерує навчальні дані, використовуючи серію випадкових ступінчастих сигналів, які впливають на модель керованого процесу в середовищі Simulink. На екрані в режимі реального часу виводяться графіки вхідних і вихідних сигналів об'єкта управління. Після завершення процесу формування навчальної послідовності користувачу надається вибір: або прийняти отримані дані (опція Accept Data), або відмовитися від них (опція Reject Data). У разі прийняття даних програма автоматично повертається до оновленого інтерфейсу, як показано на рис.4.11.

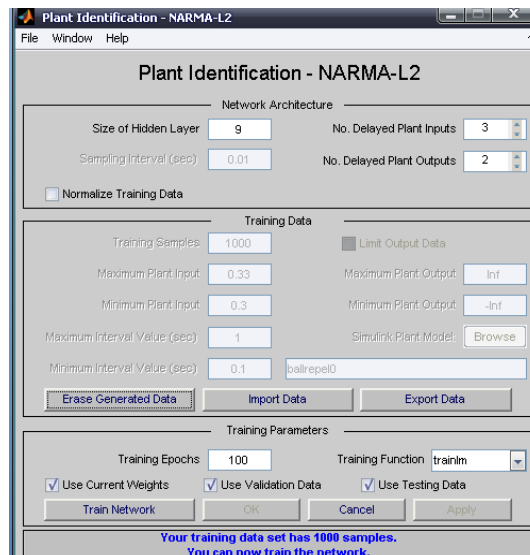


Рисунок 4.11 - Вікно ідентифікації управляючого об'єкту після генерації навчальної послідовності

Після завершення процесу ідентифікації деякі вікна стають недоступними, а замість кнопки "Generate Training Data" з'являється кнопка "Erase Generated Data", яка дає змогу видалити створені раніше дані.

У вікні фрейма з'являється повідомлення: "Навчальна послідовність містить 1000 вимірів. Можна розпочинати тренування нейронної мережі". Для запуску цього процесу необхідно скористатися кнопкою Train Network (запустити навчання мережі). Після активації розпочнеться тренування нейромережевої моделі. По завершенню навчання результати будуть представлені у вигляді графіків (рис.4.12, а і б).

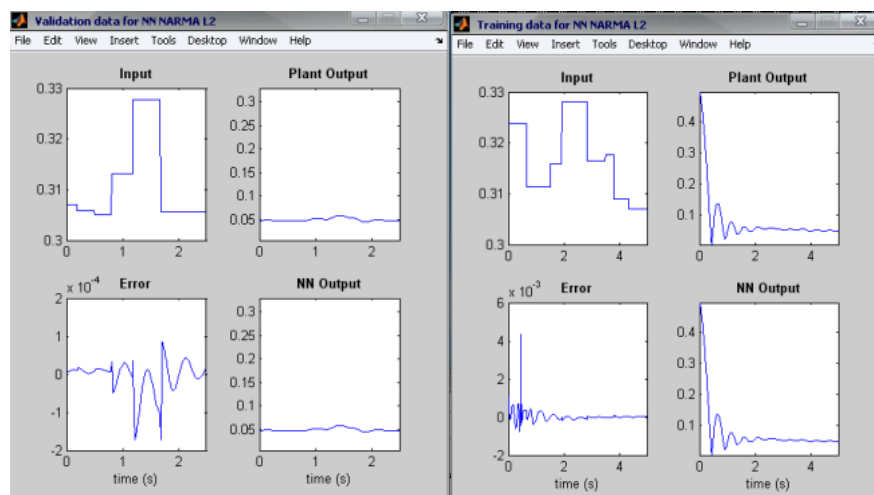


Рисунок 4.12 – а)- результати навчання; б)- результати тестування

Актуальний статус відображається у вікні Plant Identification повідомленням "Навчання завершено". Користувач має можливість створити нові дані, завантажити їх із зовнішнього джерела, продовжити навчальний процес або зберегти результати, скориставшись кнопками "OK" чи "Apply". У підсумку, налаштування нейромережевої моделі, що відповідає за управління процесом, будуть інтегровані у блок NN NARMA-L2-Controller у середовищі Simulink.

Розпочати процес моделювання можна, обравши в меню Simulation пункт Start. У ході виконання моделювання на екран виводяться графічні зображення, які демонструють вхідні та вихідні параметри керованого процесу (рис. 4.13).

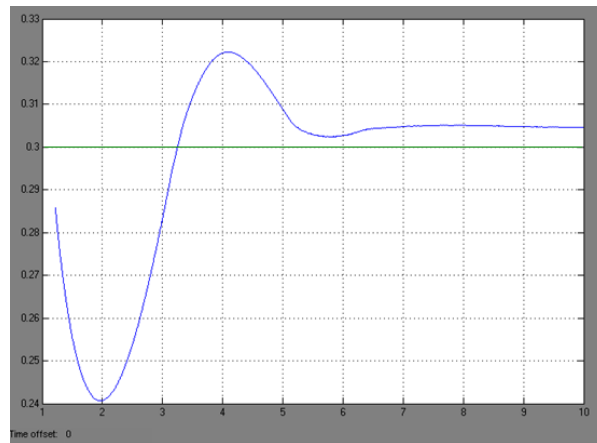


Рисунок 4.13 – Графіки входу і виходу управляючого процесу

На основі аналізу отриманих результатів можна зробити висновок, що реакція системи управління на постійний управляючий сигнал є цілком задовільною. Спершу система демонструє коливання, які швидко затухають. Уже через 7 секунд вихідне значення досягає стабільного рівня, що дорівнює 0,305. Різниця між вхідним сигналом і вихідним значенням становить:

$$\varepsilon(t) = h_{\text{зад}}(t) - h_{\text{вих}}(t) = 0,3 - 0,305 = -0,005$$

Отже, нейронну мережу, що реалізує регулятор NARMA-L2, можливо застосувати для регулювання рівня висоти шару окатишів на машині, призначений для їх випалу.

Розглянемо можливість регулятора NN Predictive Controller

Ідентифікація керованого процесу є важливим етапом моделювання. На схемі підсистеми ідентифікації, що наведена на (рис. 4.15), зображено її структуру. Підсистема містить модель процесу у формі нейронної мережі, яку потрібно навчити в автономному режимі. Основне завдання полягає в тому, щоб звести до мінімуму різницю між реакціями реального процесу та відповідями моделі. Помилка визначається як різниця між виходами процесу y_p і моделі y_m , позначена як $e = y_p - y_m$, для заданої послідовності пробних сигналів u .

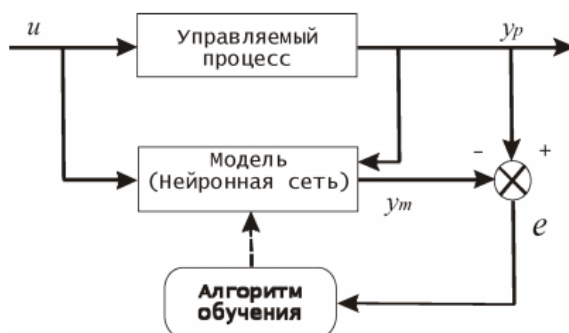


Рисунок 4.15 Схема підсистеми ідентифікації

Структурна схема, зображена на рис.4.16, демонструє процес управління на основі передбачення. У складі регулятора передбачено нейромережеву модель керованого об'єкта та блок оптимізації. Завдання блоку оптимізації полягає у визначенні значень u' , які мінімізують функцію критерію якості управління. Згенерований оптимальний сигнал передається для подальшого впливу на процес, забезпечуючи його ефективне регулювання.

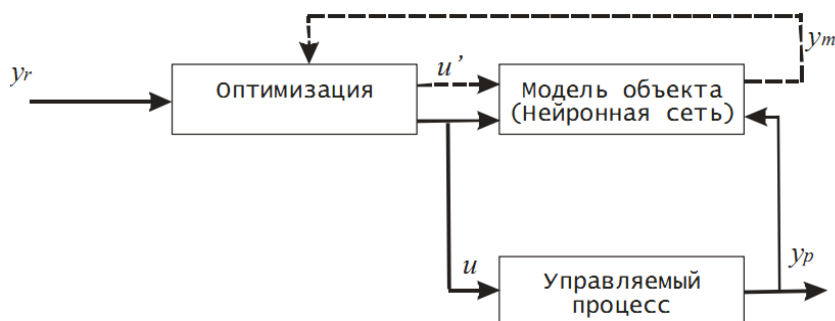


Рисунок 4.16 - Процес управління з передбаченням

Регулятор із нейронною мережею для керування процесами має дворівневу структуру нейронів і застосовує затримувальні лінії, щоб зберігати попередні значення сигналів на вході та виході системи. Це дозволяє прогнозувати майбутній стан вихідного сигналу.

Параметри мережі налаштовуються автоматично за допомогою методики групового навчання на основі даних, отриманих під час тестування реального об'єкта.

Для тренування нейронної мережі можна застосовувати будь-який із доступних алгоритмів навчання, що використовуються в роботі з нейронними мережами.

Принцип управління з прогнозуванням. Управління з прогнозуванням базується на концепції динамічного горизонту. У цьому підході нейронна мережа, що моделює поведінку об'єкта керування, прогнозує його реакцію на заданому часовому інтервалі в майбутньому. Ці прогнози використовуються алгоритмом чисельної оптимізації для визначення керуючого сигналу, який зводить до мінімуму обраний критерій ефективності управління.

$$J = \sum_{j=N_1}^{N_2} (y_r(t+j) - y_m(t+j))^2 + \rho \sum_{j=1}^{N_u} (u'(t+j-1) - u'(t+j-2))^2$$

Константи N_1 , N_2 і N_u задають діапазон, у межах якого розраховуються похибка стеження та потужність керуючого сигналу. Змінна u' представляє пробний керуючий сигнал, u_r – бажану реакцію, а u_m – реальну відповідь моделі процесу, що підлягає керуванню. Параметр ρ визначає, наскільки істотний вплив потужності управління на критерій ефективності.

Настроювання блоку NNPredictiveController

Після активації блоку NNPredictiveController з'явиться вікно (рис. 4.17)

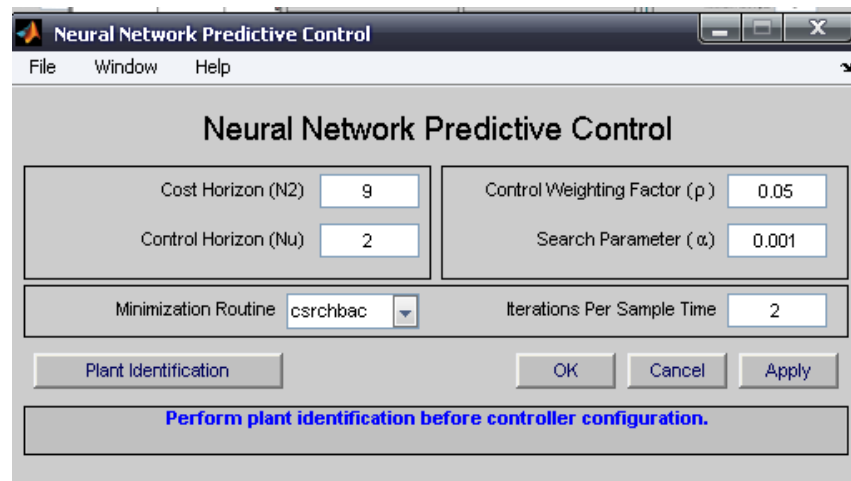


Рисунок 4.17 – Візуальне представлення інтерфейсу користувача для нейромережевої системи прогнозованого управління.

Це вікно слугує елементом графічного інтерфейсу для користувача. Перед тим як налаштувати параметри контролера, слід розробити модель керованого процесу. Іншими словами, спочатку потрібно провести ідентифікацію процесу, який підлягає керуванню, і створити його модель на основі нейронної мережі. Для цього використовується спеціалізована процедура Plant Identification (рис. 4.18).

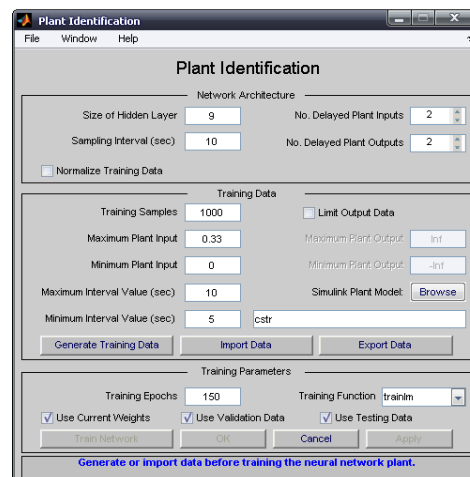


Рисунок 4.18–Вікно процедури ідентифікації

Процес ідентифікації дає змогу створити нейронну мережу, здатну моделювати динамічні властивості керованого об'єкта. У разі, якщо планується застосовувати модель для налаштування контролера, її необхідно сформувати заздалегідь, до початку етапу розрахунків параметрів контролера.

Подальше налаштування здійснюється аналогічно до процедури регулятора NN NARMA - L2 - Controller, де вибираються всі необхідні параметри.

Якщо обрати функцію Generate Training Data, програма автоматично запустить генерацію навчальної послідовності на відрізок довжиною 1000. На екрані буде відображено графіки, які демонструють вхідні та вихідні сигнали об'єкта управління (рис. 4.19).

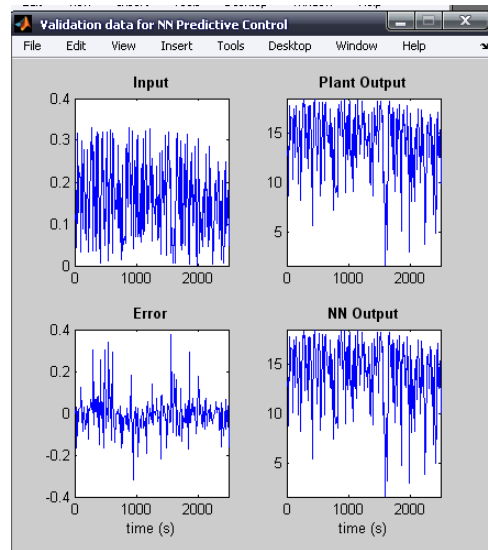
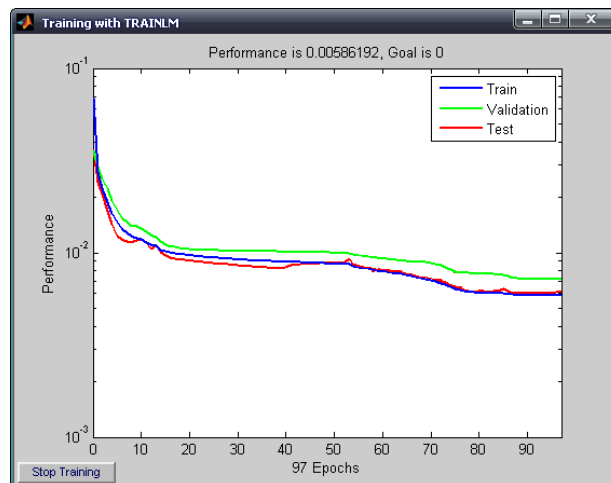


Рисунок 4.19 - Графіки вхідного і вихідного сигналів об'єкту



Ілюстрація 4.20 демонструє інтерфейс вікна, призначеного для моніторингу та управління процесом навчання нейронної мережі нейрорегулятора, відомого як NNPredictiveController.

Після завершення навчання нейрорегулятора, обравши команду Start у розділі меню Simulation, можна розпочати процес моделювання. У ході цього

моделювання на екран виводяться графічні залежності, які відображають вхідні та вихідні параметри керованого процесу (рис.4.21).

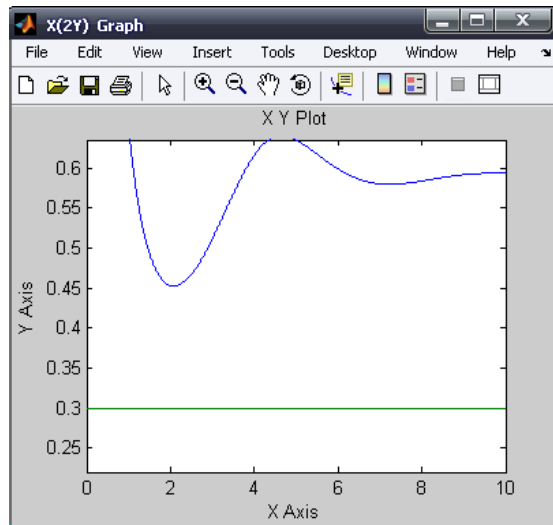


Рисунок 4.21 - Графіки входу і виходу управляючого процесу

На основі аналізу зібраних даних встановлено, що реакція системи управління на стабільний управляючий сигнал демонструє низьку якість. Спочатку спостерігається коливальний процес із швидким затуханням, а через 10 секунд вихідна величина стабілізується на рівні 0,6. При цьому відхилення між вхідним і вихідним параметрами становить:

$$\varepsilon(t) = h_{\text{зад}}(t) - h_{\text{вих}}(t) = 0,3 - 0,6 = -0,3$$

Порівнюючи ефективність двох регуляторів — NNPredictiveController і NARMA-L2-Controller — можна дійти висновку, що для контролю висоти шару окатишів на випалювальній машині найбільш оптимальним є використання NARMA-L2-Controller. Цей регулятор демонструє кращі результати в управлінні процесом, забезпечуючи високу точність та стабільність у роботі системи.

5 Опис організації робіт, що пов'язані із застосуванням автоматизованої системи керування завантаженням окатишів

5.1 Програмне забезпечення системи управління висотою шару окатишів для контролера Modicon TSX Micro

Програмне забезпечення PLC TSX Micro PL7 підтримує програмування на п'яти різних мовах, що забезпечує гнучкість у роботі. Інтуїтивно зрозуміле меню з попередньо заданими параметрами значно полегшує налаштування різноманітних прикладних модулів. У процесі налагодження чи технічного обслуговування PL7 надає можливість змінювати налаштування точок, що дозволяє виявляти невідомі значення або знаходити помилки в програмі.

PL7, універсальне програмне середовище для роботи з Micro і Premium контролерами, забезпечує виняткову свободу у виборі оптимального рішення для ваших потреб. Завдяки його функціональності, прикладні програми можна легко переносити між платформами, що дозволяє їхнє використання як на одній, так і на іншій системі.

PL7, універсальне програмне середовище для роботи з Micro і Premium контролерами, забезпечує виняткову свободу у виборі оптимального рішення для ваших потреб. Завдяки його функціональності, прикладні програми можна легко переносити між платформами, що дозволяє їхнє використання як на одній, так і на іншій системі.

Окрім зазначених вдосконалень, програмне забезпечення PL7 Pro включає такі можливості:

- Організація проєкту для ПЛК у вигляді деревоподібної структури, яка розподіляється на функціональні модулі для зручності роботи.

- Імпорт і експорт функціональних модулів із можливістю автоматичного перепризначення змінних у визначеному діапазоні під час імпорту.

- Інтегрована бібліотека діагностичних функціональних блоків (DFB), спеціально створених для реалізації діагностичних функцій додатків. Події автоматично записуються в діагностичний буфер ПЛК Premium.

- Покращений редактор екранів виконання із розширеними можливостями. Наприклад, можна створювати вікна для відображення даних із діагностичного буфера ПЛК Premium.

- Ключові оновлення програмного забезпечення, які спрямовані на підвищення загальної ефективності та продуктивності роботи системи.

Конфігурація апаратного забезпечення

Конфігураційний редактор надає зручний інтерфейс для візуального налаштування та управління різними елементами, які застосовуються в програмованих логічних контролерах Micro.

- Процесор, співпроцесор
- Завдання
- Спеціалізовані модулі введення-виведення
- Пам'ять

Коли користувач клацає на незаповненій позиції, відкривається діалогове вікно (рис. 5.1), в якому представлено перелік доступних модулів для введення та виведення, згрупованих за категоріями. Після розташування різних модулів на відповідних місцях, доступ до їх параметрів здійснюється через вибір конкретного модуля.

Переходимо до вкладки Configuration у розділі ApplicationBrowser, після чого переходимо до секції HardwareConfiguration для налаштування параметрів контролера.

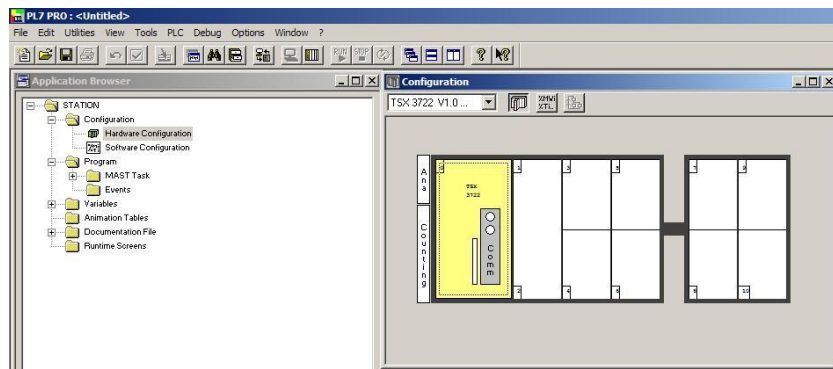


Рисунок 5.1 - Редактор конфігурацій Configuration

Додаємо модуль TSXDMZ 28TDK (рис. 5.2)

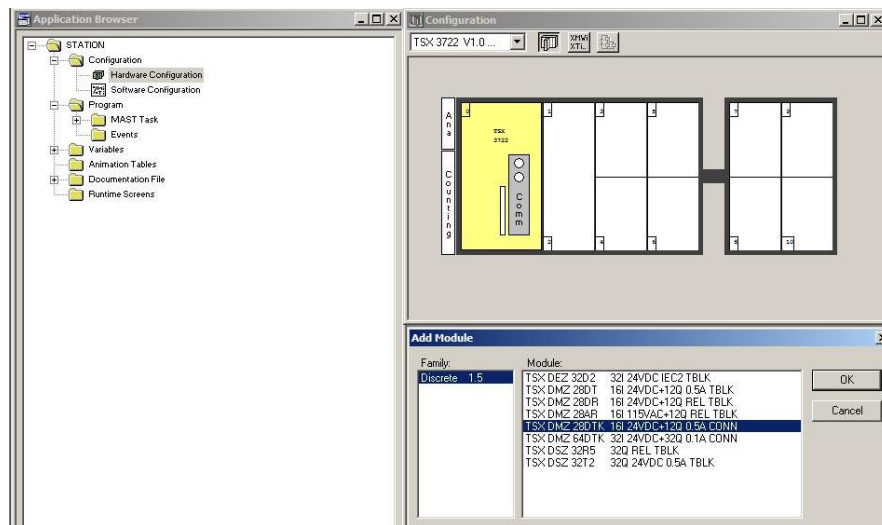


Рисунок 5.2 – Вибір модулю TSXDMZ 28TDK

Також додаємо модуль TSXASZ 401 (рис. 5.3)

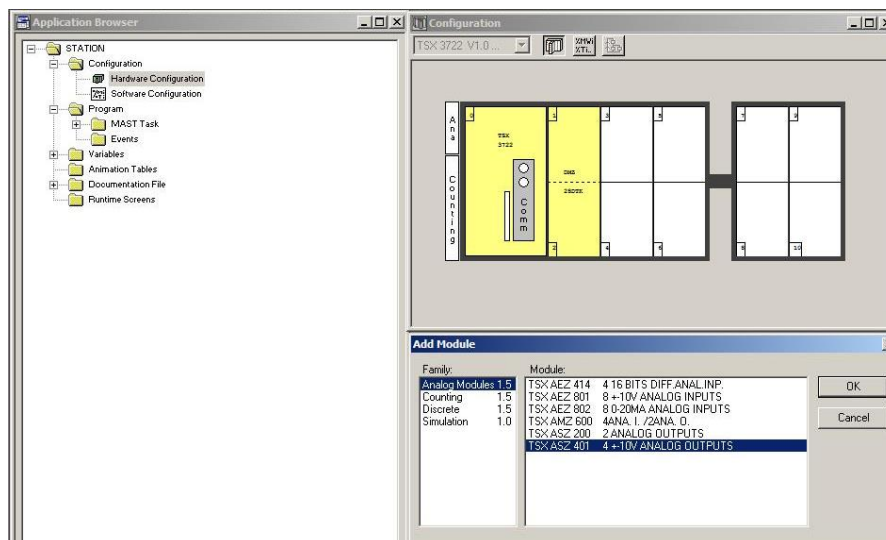


Рисунок 5.3 - Вибір модулю TSXASZ 401

Після підключення всіх необхідних модулів, інтерфейс програми набуває вигляду, показаного на рисунку 5.4.

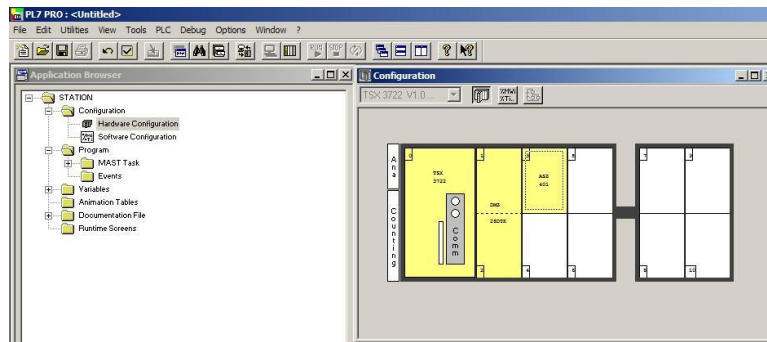


Рисунок 5.4–Вікно програми після конфігурації контролеру

Далі запускаємо програму в середовищі RuntimeScreens. Цей інструмент, інтегрований у версії 3.0 PL7-PRO та PL7-PRODYN, створено для полегшення управління автоматизованими процесами. Він дає можливість операторам ефективно здійснювати контроль і внесення коректив у хід технологічного процесу. У разі виникнення будь-яких несправностей, оператор може оперативно виявити та усунути проблему. RuntimeScreens також дозволяє проектувальнику створювати інтерфейси, які наочно демонструють стан технологічного процесу, функціонування ключових компонентів та механізмів системи.

За допомогою цього інструменту можна чітко спостерігати, як здійснюється завантаження окатишів на випалювальну установку (рис. 5.5).

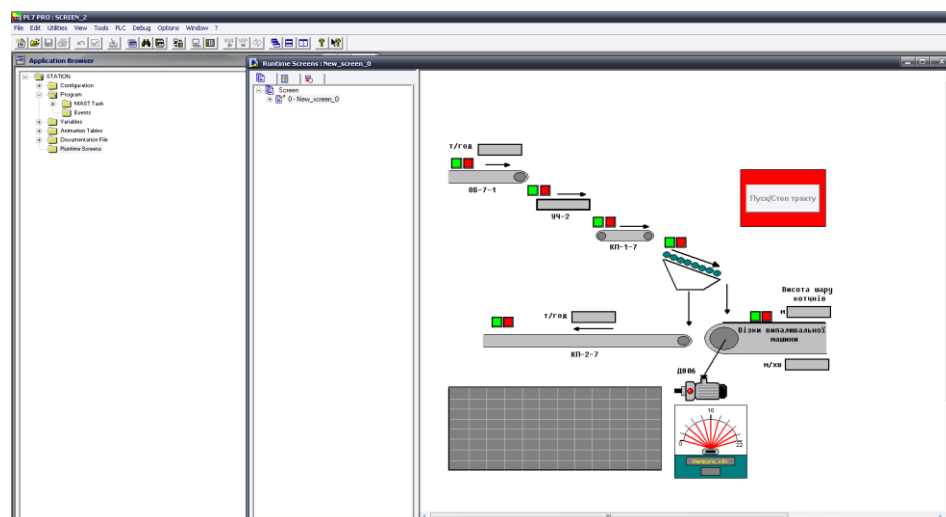


Рисунок 5.5 - Програма для завантаження окатишів на випалювальну машину має екран, який відображається у RuntimeScreens.

Для розробки графічної схеми рекомендується використовувати бібліотеку (рис. 5.6), яка надає можливість вибору всіх необхідних компонентів.

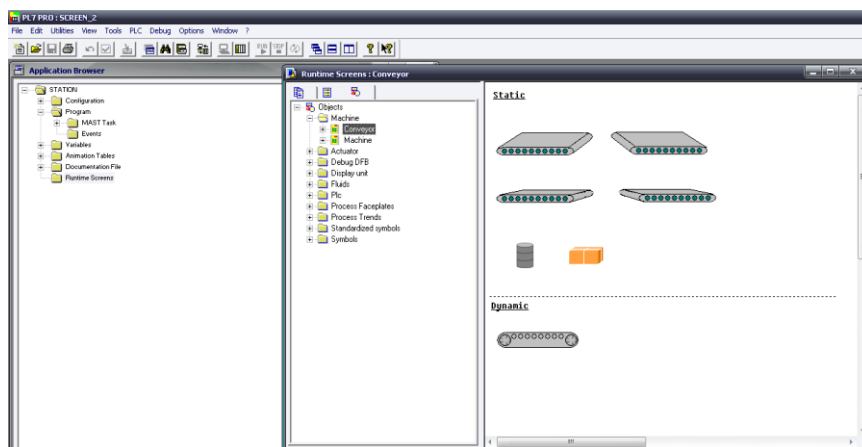


Рисунок 5.6 – Вибір елементів з бібліотеки

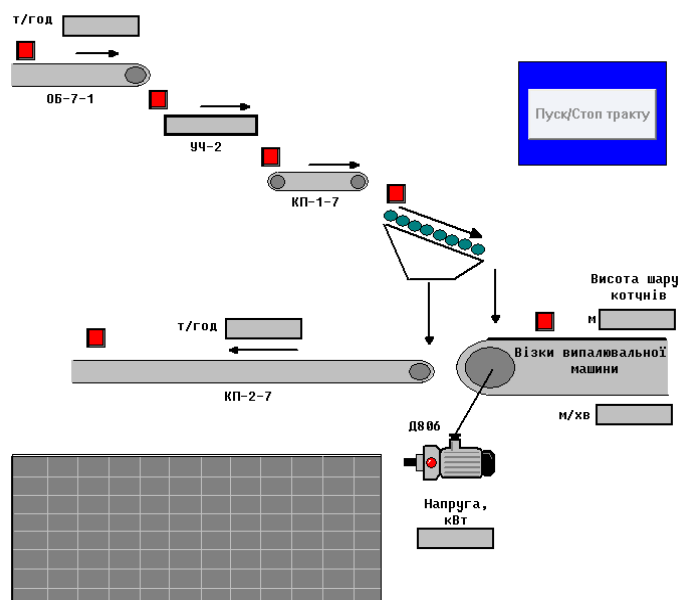


Рисунок 5.7 – Розроблена графічна схема, яка демонструє процес завантаження окатишів на випалювальну установку.

Налаштування елементів схеми

Після того, як елементи розташовані у бажаному місці, потрібно внести корективи до їхніх атрибутів. Для цього можна скористатися кнопкою Properties або вибрати відповідний пункт у меню. Перед цим обов'язково слід виділити елемент, з яким планується робота.

1. Кнопка “Пуск/Стоп тракту”

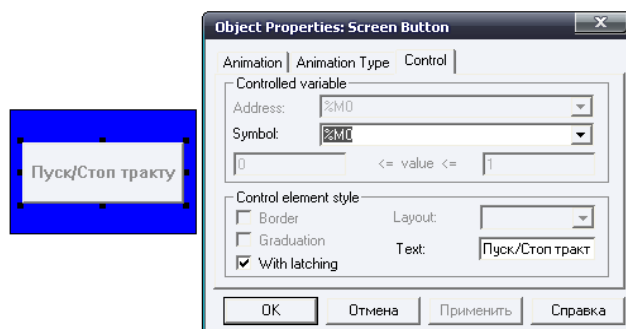


Рисунок 5.8 – Налаштування кнопки “Пуск/Стоп тракту”

2. Налаштування пристрою, що відповідає за індикацію роботи конвеєрних систем і випалювальної установки.

Кількість індикаторів має бути дві, оскільки кожен з них відповідатиме одному зі станів пристрою: увімкнення або вимкнення.



Рисунок 5.9 – Індикатори ввімкнено та вимкнено

Елемент червоного кольору відповідно для режиму “ВИКЛ” bit=0.

Для зеленого кольору відповідно для режиму “ВКЛ” Зазначені налаштування здійснюються індивідуально для кожного елемента, представленого на графічній схемі (рис. 5.10).

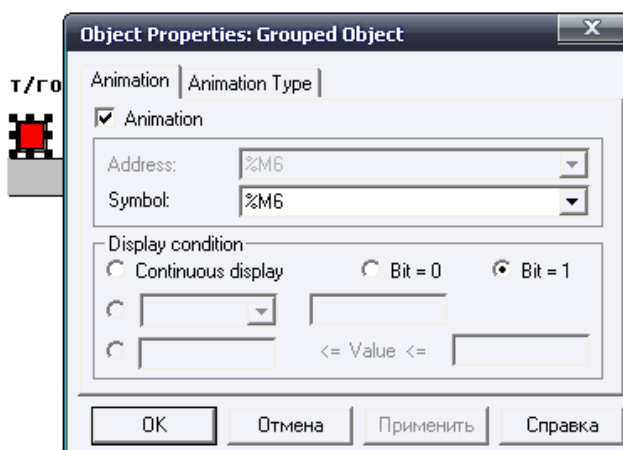


Рисунок 3.10 - Налаштування пристрою, що виконує функцію індикації роботи конвеєрних систем і випалювального обладнання.

3. Налаштування елемента для відображення значення з датчиків

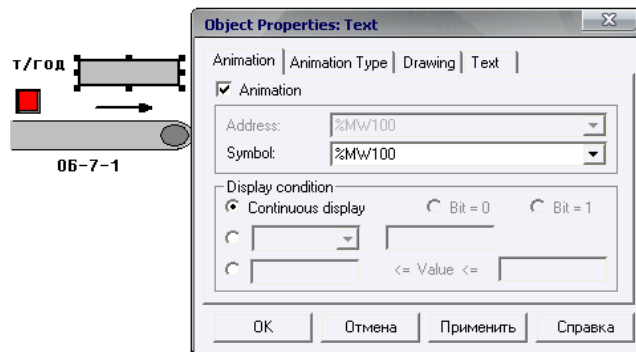


Рисунок 3.11 - Конфігурація компонента для демонстрації даних, отриманих із сенсорів.

Налаштування проводиться індивідуально для кожного елемента, що входить до основної схеми (рис. 5.5).

4. Налаштування елементу керування

Налаштування проводиться індивідуально для кожного елемента, що входить до основної схеми (рис. 5.5).

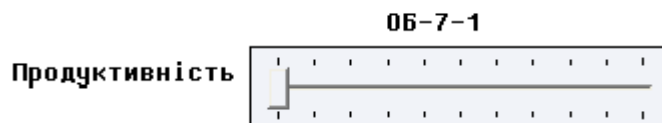


Рисунок 5.12 – Елемент повзунок

На рис. 5.13 зображені властивості повзунка:

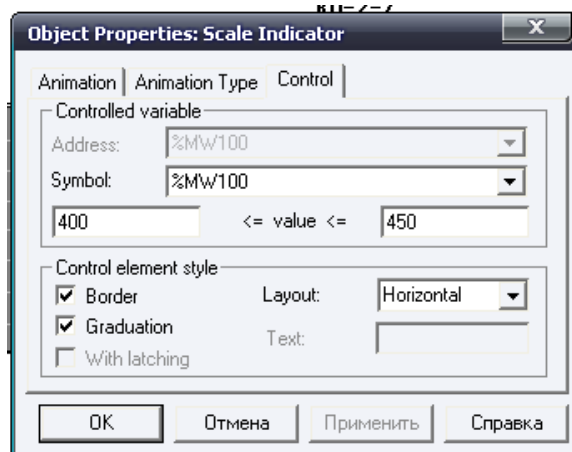


Рисунок 5.13 – Налаштування повзунка

У властивостях цього компонента слід зазначити об'єкт, управління яким здійснюватиметься за допомогою заданого повзунка.

Після завершення редагування та налаштування всіх компонентів схеми, необхідно створити програму на мові LD, яка забезпечить її правильне функціонування.

На мові сходових діаграм (LD) програма представлена у вигляді схеми, яка нагадує релейно-контакторну структуру. Вона включає умовні графічні позначення елементів, таких як реле та контактори, які розташовані у визначених місцях і з'єднані між собою певним чином. Елементи схеми розміщуються між двома шинами живлення. Виконання програми на LD відбувається послідовно: спочатку обробляється один ланцюг за іншим, а всередині кожного ланцюга – у напрямку зверху вниз і зліва направо.

Для полегшення програмування контакторна схема поділена на 11 вертикальних стовпців і 7 горизонтальних рядків. Кожен ланцюг може бути позначений унікальною міткою та доповнений пояснювальним коментарем, довжина якого не перевищує 222 символи. Перші 10 стовпців називають тестовою зоною. У них можна розміщувати нормально замкнуті та нормально розімкнуті контакти, елементи для визначення змін сигналів, а також функціональні модулі, такі як таймери, лічильники тощо. Останній стовпець відомий як зона виконання. Тут допускається розміщення прямого й зворотного катушок, катушок для включення або вимкнення, а також елементів для виклику підпрограм та інших функціональних компонентів.

Редактор мови LD пропонує кілька зручних інструментів для створення схем:

- **Графічна палітра елементів**, яка включає різноманітні умовні позначення, такі як контакти, детектори фронтів, катушки, компаратори, функціональні блоки та блоки операцій.
- **Гнучкість у відображенні об'єктів мови**: елементи можуть бути представлені як у символьному, так і в адресному форматі
- **Зручність у використанні палітри**: необхідний елемент вибирається з доступного списку графічних об'єктів і розміщується у потрібному місці робочого поля.

- Функція автоматичного прокладання ліній, що мінімізує кількість маніпуляцій, які виконує користувач під час створення схеми.

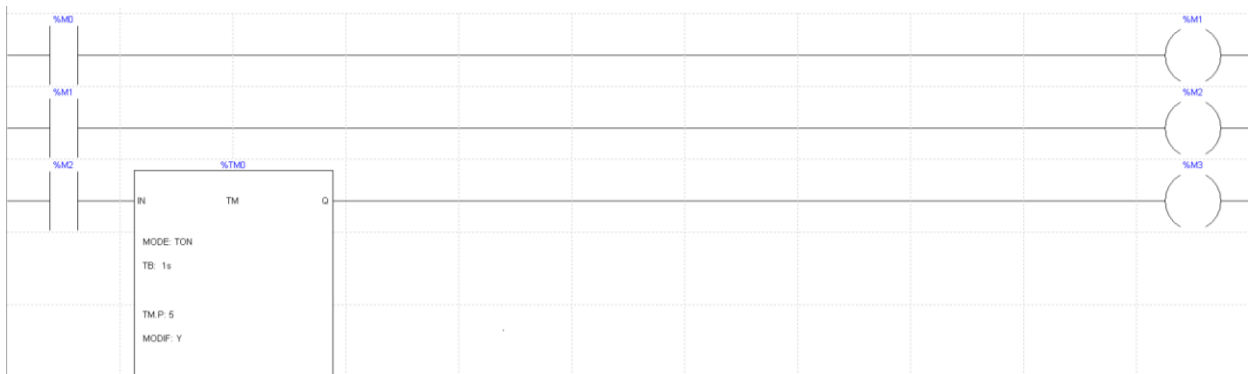


Рисунок 5.14 – Частина тексту програми на мові LD

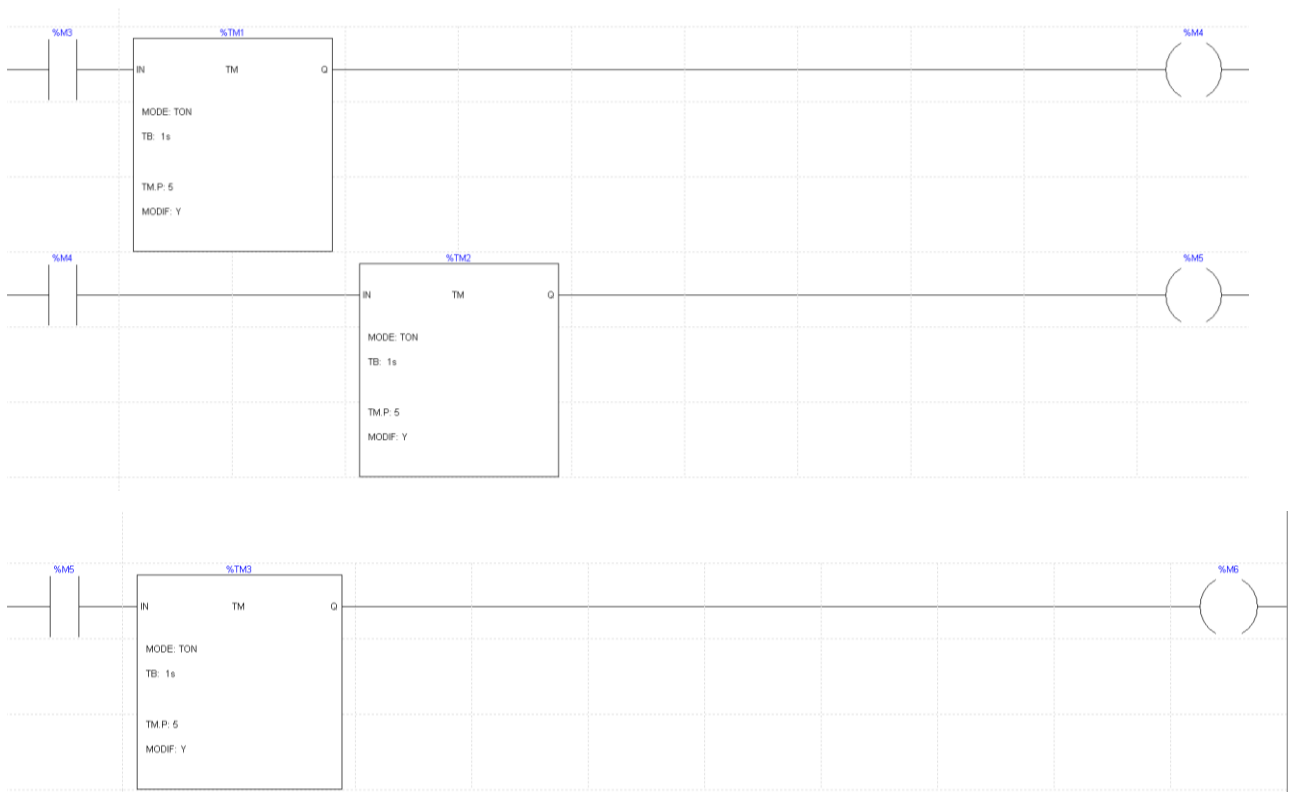
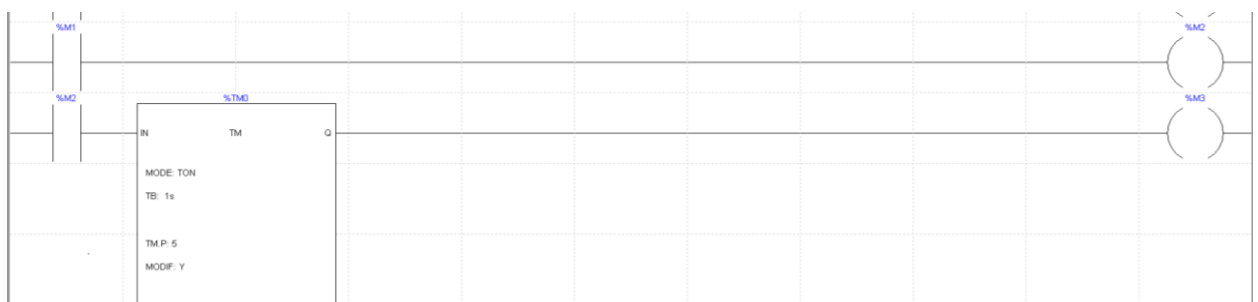


Рисунок 5.15 – Продовження програми написаної на мові LD

Давайте детальніше проаналізуємо, як функціонує конкретний елемент програми.



Якщо контакт %M1 замикається, що відповідає встановленню біта в стан 1, то активується котушка %M2. Після цього відбувається замикання контакту, пов'язаного з котушкою %M2. Проте котушка %M3 активується лише через заданий інтервал часу, для чого в схемі передбачений функціональний блок таймера.

В редакторі LD таймер має наступний вигляд (рис. 5.16)

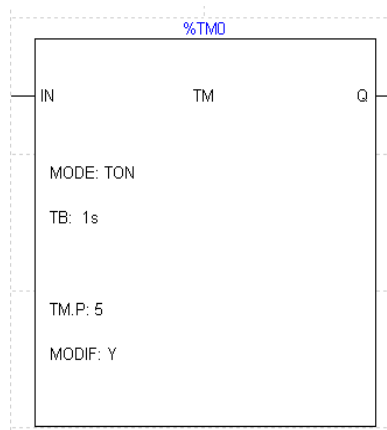


Рисунок 5.16 – Елемент таймер

Функціональний блок “таймер” має наступні параметри:

- **TB** – це часова база, яка може мати значення: 1 хвилина, 1 секунда, 100 мілісекунд або 10 мілісекунд. Водночас існує обмеження: кількість таймерів із часовою базою 10 мс не може перевищувати 16 одиниць.
- **%TMD.V** – атрибут, що відображає поточний стан таймера. Його можна лише зчитувати, без можливості програмного встановлення.
- **%TMD.P** – параметр уставки таймера, що визначає його тривалість. Розрахунок тривалості виконується за формулою: %TMD.P, помножене на значення часової бази (TB).
- **MODIF** – параметр, який визначає, чи можна змінювати %TMD.P під час роботи контролера. Значення "Y" дозволяє редагування, а "N" – блокує цю функцію, незалежно від того, чи зміну здійснюють вручну чи програмно.

Налаштування параметрів таймерів, таких як MODE, TP, %TMD.P, MODIF, виконується за допомогою редактора змінних Variables (рис.5.17). Для цього у вікні Application Browser необхідно знайти і клацнути мишею на пункті Variables, після чого вибрати рядок Predefined FB. Після відкриття

вікна Variables слід обрати тип змінних TM і встановити прапорець у полі Parameters. Далі у полі Mode вибирається потрібний тип таймера, у полі TB задається часова база, а значення уставки вводиться у поле Preset.

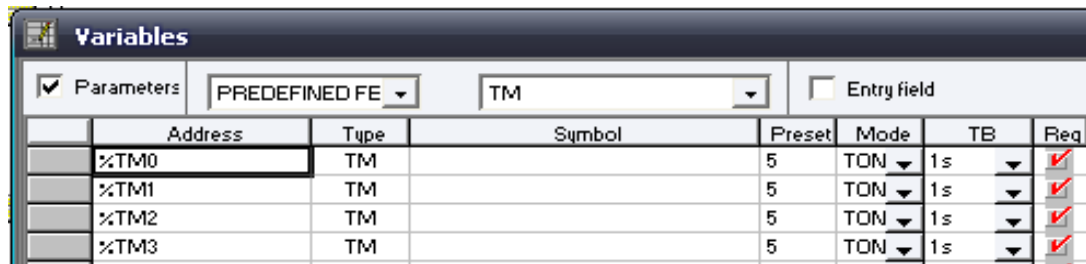


Рисунок 5.17 - Вікно редактора змінних *Variables*

Після завершення написання коду програми та налаштування її параметрів, ви можете розпочати виконання. Для цього необхідно знайти на панелі відповідну кнопку, позначену як RUN, і натиснути її.

5.2 Алгоритм запуску тракту подачі окатишів на випалювальну машину

Початок роботи випалювальної машини можливий лише за умови повної готовності всіх її систем і механізмів. На рис.5.18 представлено блок-схему алгоритму, що описує процес запуску тракту транспортування окатишів до випалювальної машини.

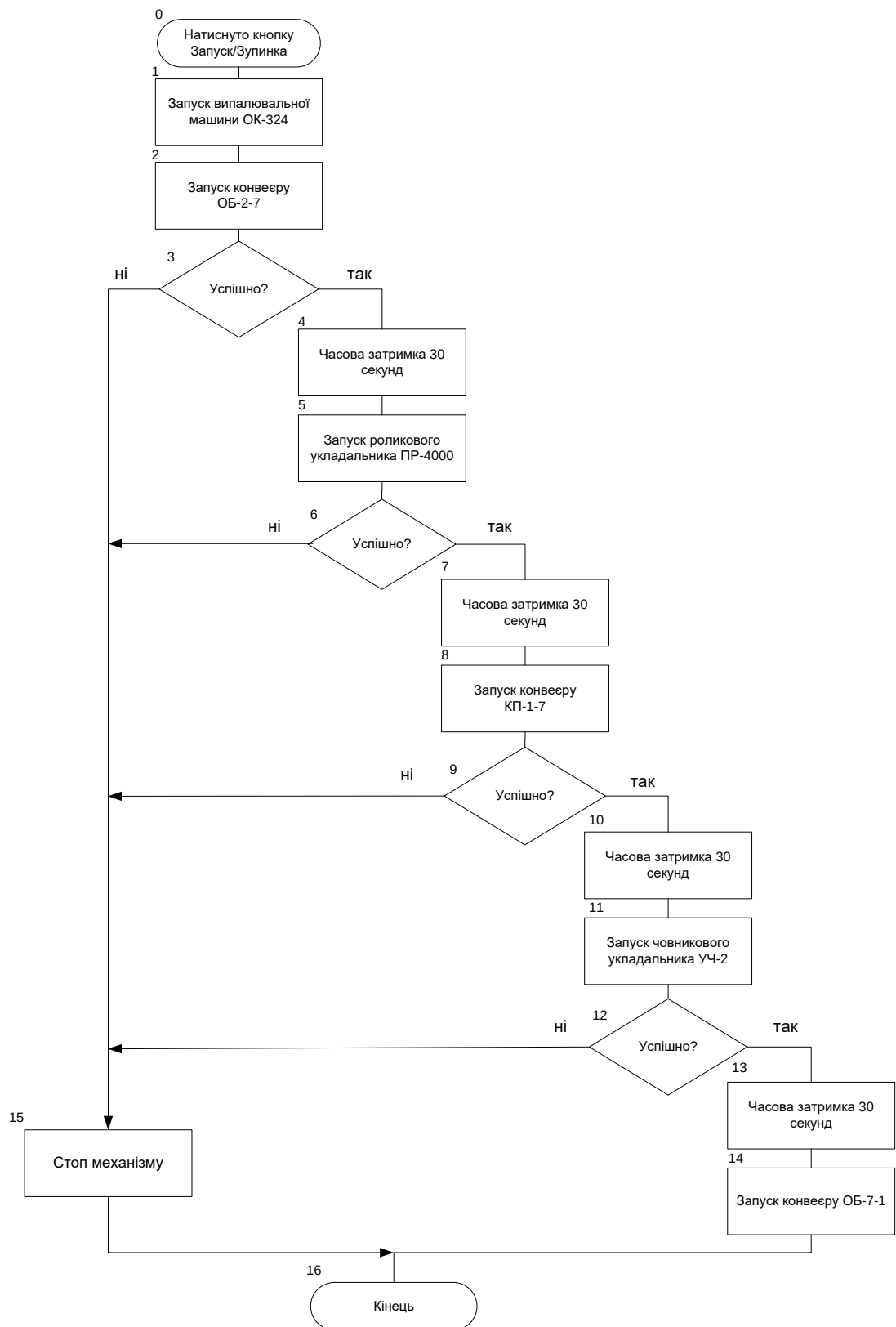


Рисунок 5.18 – Процедура запуску системи транспортування окатишів до випалювального устаткування.

Опис блок схеми

Номера блоків	Пояснення
0	Натиснуто кнопку запуск/зупинка тракту подачі окатишів
1	Запуск випалювальної машини
2	Запуск конвеєру ОБ-2-7
3,6,9,12	Перевірка успішності запуску обладнання
4,7,10,13	Сигналізація перед ввімкненням обладнання
5	Запуск роликового укладальника ПР-4000
8	Запуск конвеєру КП-1-7
11	Запуск човникового укладальника УЧ-2
14	Запуск конвеєру ОБ-7-1
15	Зупинка механізму

Після завершення ремонтних робіт, що включають повну або часткову заміну футерування, проводиться процес її сушіння. Цей етап необхідний, щоб уникнути пошкодження футерувального шару під впливом високих температур. Перед сушінням обпалювальні візки заповнюють обпаленими окатишами шаром завтовшки 300 мм, що дозволяє запобігти їх перегріву.

Перед запуском обпалювальної машини необхідно провести холодні випробування ключових вузлів і обладнання. Цей процес включає перевірку таких елементів, як:

- приводу випалювальної машини;
- укладальників сирих окатишів та постілі;
- трактів видалення випалених окатишів та просипу;
- ТДУ і газоповітряних трактів;
- регулюючої арматури;
- систем КІП і автоматизації;
- систем водяного охолодження і мастила; про систем блокування устаткування.

Після того як випалювальна машина досягне встановленого робочого температурного режиму, необхідно активувати систему автоматичного управління технологічним процесом.

ВИСНОВКИ

Метою даної випускної кваліфікаційної роботи стала розробка автоматизованої системи контролю та регулювання завантаження окатишів у випалювальну машину, що експлуатується у виробничих умовах фабрики з огрудкування гірничо-збагачувального комбінату.

У дослідженні проведено аналіз наявних систем автоматизації. Розроблено структурну схему та створено імітаційну модель для автоматичного регулювання висоти шару окатишів на візках випалювальної машини, що функціонує на базі нейронної мережі. Проведено моделювання роботи цієї системи, а також виконано порівняльний аналіз двох різних нейронних мереж із подальшим дослідженням отриманих результатів.

У результаті проведеного дослідження можна зробити наступні висновки:

Проведення досліджень роботи системи автоматичного управління двигуном випалювальної машини з використанням інструментального пакета Nonlinear Control Design Blockset (NCD-Blockset) дало змогу визначити, що налаштовані коефіцієнти ПД-регулятора (відповідають за пропорційну, інтегральну та диференціальну складові) забезпечують відповідність заданим критеріям якості перехідного процесу. Зокрема, час стабілізації системи, визначений як момент входу в зону похибки $\pm 1\%$ від встановленого значення, становить менше 7 секунд.

Інтеграція нейронних мереж у систему автоматизованого управління сприяє ефективному регулюванню й стабілізації висоти шару окатишів на випалювальній машині. Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що система управління демонструє задовільну реакцію на постійний сигнал керування. На початковому етапі спостерігається коливальна динаміка, яка досить швидко згасає, і вже через 7 секунд параметр стабілізується на рівні 0,305. Різниця між заданим і фактичним значеннями становить:

$$\varepsilon(t) = h_{\text{зад}}(t) - h_{\text{вих}}(t) = 0,3 - 0,305 = -0,005$$

Таким чином, нейронну мережу, яка реалізує регулятор типу NARMA-L2, можливо ефективно застосовувати для регулювання висоти шару окатишів на випалювальній машині.

Аналіз і моделювання автоматизованої системи керування завантаження окатишів здійснювалися із використанням програмного середовища Matlab. У рамках кваліфікаційної роботи розроблено комплекс матеріалів, що включає як теоретичне обґрунтування, так і детальний опис практичної реалізації виконаних завдань.

ЛІТЕРАТУРА

Додаток А. Охорона праці