

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення автоматизованої системи керування екструдером для
виготовлення коркових виробів

Виконав(ла): студент(ка) IV курсу, групи КТ-41

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-

інтегровані технології

(шифр і назва спеціальності)

Мізера А.А

Керівник

(підпис)

Митник М.М

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Голотенко О.С

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Голотенко О.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

«___» _____ 2026 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(шифр і назва спеціальності)

Студенту Мізері Аліні Анатоліївні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Автоматизована система керування екструдером для виготовлення пластикової коркової продукції

Керівник роботи Митник Микола Мирославович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «31» березня 2025 року № 4/7-239

2. Термін подання студентом завершеної роботи 25 червня 2026р.

3. Вихідні дані до роботи

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

Аналітична частина

Проектна частина

Спеціальна частина

Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Титульний слайд

Актуальність роботи

Завдання роботи

Основна частина

Висновки

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності,			
основи охорони праці			

6. Консультанти розділів роботи

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи	20.05.2025	
2.	Підбір джерел по темі роботи	22.05.2026-24.05.2026	
3.	Опрацювання публікацій та збір даних по темі роботи	24.05.2026-27.05.2026	
4.	Виконання роботи згідно мети	27.05.2026-29.05.2026	
5.	Оформлення першого та другого розділів	29.05.2026-31.05.2026	
6.	Оформлення третього розділу	31.05.2026-11.06.2026	
7.	Оформлення четвертого розділу	11.06.2026-13.06.2026	
8.	Підготовка презентації	14.06.2026-15.06.2026	
9.	Підготовка доповіді	16.06.2026-17.06.2026	
10.	Оформлення кваліфікаційної роботи	18.06.2026-19.06.2026	
11.	Нормоконтроль	19.06.2026-20.06.2026	
12.	Перевірка на плагіат	25.06.2026	
13.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	25.06.2026	
14.	Захист кваліфікаційної роботи		

Студент

(підпис)

Мізера А.А

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Митник М.М

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	4
ВСТУП.....	5
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	7
1.1 Будова та принцип роботи екструдера.....	7
1.2 Технологія коекструзії багатошарових полімерних плівок	13
2. ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	19
2.1 Розробка системи керування процесом екструзії полімерів.....	19
2.2 Керування екструзією із застосуванням модуля нечіткої логіки	31
2.3. Дослідження впливу технологічних параметрів на процес екструзії дискового типу.....	35
3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	45
3.1 Налаштування параметрів керування для оптимізації роботи системи керування.....	45
БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	54
ВИСНОВКИ.....	63
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	64

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з пояснювальної записки та графічної частини (ілюстративний матеріал – слайди).

Об'єм графічної частини дипломної роботи становить _____.

Об'єм пояснювальної записки складає ____ друкованих сторінок формату А4.

В роботі використано ____ літературних джерел.

В роботі розроблено системи автоматизованого керування процесом екструзії полімерних матеріалів на базі програмованого логічного контролера Mitsubishi FX3G. Проведено аналіз технологічного процесу екструзії та визначено основні контрольовані параметри, до яких належать рівень сировини в бункері, швидкість обертання шнеку, температурні режими зон екструзії, температура розплаву полімеру, товщина готового виробу та передача технологічних даних на дисплей і персональний комп'ютер.

. У дослідженні детально розглянуто питання автоматизованого керування температурними режимами екструзійної установки. Підтримання встановлених температур у функціональних зонах екструдера реалізовано за допомогою пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора та широтно-імпульсного способу формування керуючих сигналів. Виконано аналіз принципів роботи нагрівальних і охолоджувальних пристроїв, що сприяє підвищенню стабільності технологічного процесу, покращенню характеристик продукції та зменшенню впливу зовнішніх збурень на якість виробництва.

Ключові слова: Екструзія полімерів, якість розплаву, моніторинг процесів, моделювання, енергоспоживання, система керування, Нечітка логіка

ВСТУП

Екструзія є одним із фундаментальних методів виробництва в полімерній промисловості та використовується для виготовлення великої кількості товарів у різних галузях промисловості.

Процес екструзії полімерів відзначається складністю через тісний взаємозв'язок між його технологічними параметрами, що впливає на якість продукції. Хоча за останні десятиліття в дослідженнях і промислових застосуваннях було запропоновано та випробувано низку підходів до керування процесом екструзії, проблема забезпечення стабільної якості продукції залишається актуальною. У сучасних екструдерах для переробки полімерів широко використовуються програмовані логічні контролери, для управління основними технологічними процесами а також підтримання швидкості шнека та температурного режиму в заданих межах.

Основною задачею контролера, крім керування екструдером, є забезпечення необхідної якості розплаву полімера. Вихідна якість розплаву, яка включає його термічну однорідність та стабільність у часі, є одним із ключових параметрів процесу екструзії полімерів, тому в основі алгоритмів керування лежить безпосередній аналіз стану потоку. Зважаючи на обмежену кількість таких алгоритмів розроблення нових підходів до керування, що враховують реальну якість розплаву є актуальною. Перспективним в цій області є використання нелінійних методів а також технологій штучного інтелекту для прогнозування базових параметрів налаштування контролерів, що дозволить скоротити час налаштування і невиробничих простоїв. У роботі розроблено систему автоматизованого керування процесом екструзії полімерних матеріалів із використанням програмованого логічного контролера Mitsubishi FX3G. Проведено дослідження технологічного процесу екструзії, за результатами якого визначено основні керовані параметри системи. До них належать рівень сировини в бункерній зоні, швидкість обертання шнека, температурні режими окремих зон екструзійного обладнання, температура полімерного розплаву,

товщина готового виробу, а також організація передачі технологічних даних до пристроїв людино-машинного інтерфейсу (HMI) та SCADA систему.

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Будова та принцип роботи екструдера

Основна функція екструзійної машини для пластику полягає в перетворенні твердих пластикових гранул на розплавлену пластикову масу, яку потім можна використовувати для створення виробів будь-якої форми та розміру. Існують різні категорії продуктів, які виготовляються методом екструзії - труби, листи та плівки, видувні та різні литі форми.

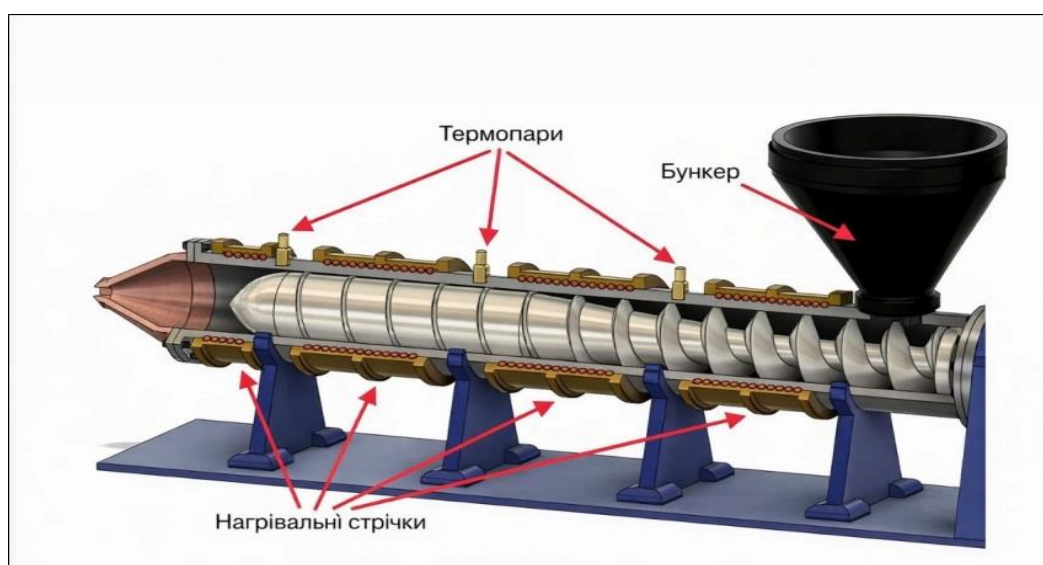


Рисунок 1.1 – Машина для екструзії пластику

Екструзійна машина для пластику, див. рисунок 1.1, зазвичай складається з бункера, який містить пластикові гранули, циліндра, в який встановлено шнековий конвеєр, кілька плоских нагрівальних елементів, системи охолодження та кількох датчиків температури або термопар. Розмір машини залежить від застосування та зазвичай коливається від невеликих екструдерів до машин, у яких циліндр має довжину кілька метрів. Датчик температури/термопара, зображений на рисунку, як правило розташовують усередині стінки циліндра приблизно на відстані 15мм від його зовнішньої поверхні. Циліндр екструдера розділений на температурні зони, які містять незалежні ділянки нагрівання та або охолодження. Система охолодження може

бути повітряна або водяна. Усередині циліндра знаходиться шнековий конвеєр. Шнек зазвичай поділяється на три зони: зону подачі, зону стиснення та зону дозування. Глибина каналу шнека, яка визначається як відстань між циліндричною головкою шнека та краєм різьби, змінюється залежно від зони.

Пластикові гранули подаються гравітаційно через отвір у бункері до зони подачі шнека конвеєра. Глибина каналу в зоні подачі є постійною та найглибшою по всьому шнеку. Ділянка циліндра, що відповідає зоні подачі шнека, нагрівається, тому гранули починають плавитися, перебуваючи в зоні подачі. Шнек обертається та проштовхує плавлені гранули вперед до зони стиснення. У зоні стиснення відбувається більший нагрів, і глибина каналу поступово зменшується, що змушує гранули сплавлятися в розплавлену пластикову масу. В зоні дозування пластик повністю розплавлений. У цій зоні глибина каналу є сталою, проте меншою порівняно із зоною подачі, що сприяє зростанню тиску матеріалу та покращенню його гомогенізації. У цій ділянці розплавлений пластик змішується, утворюючи рівномірну темперовану масу.

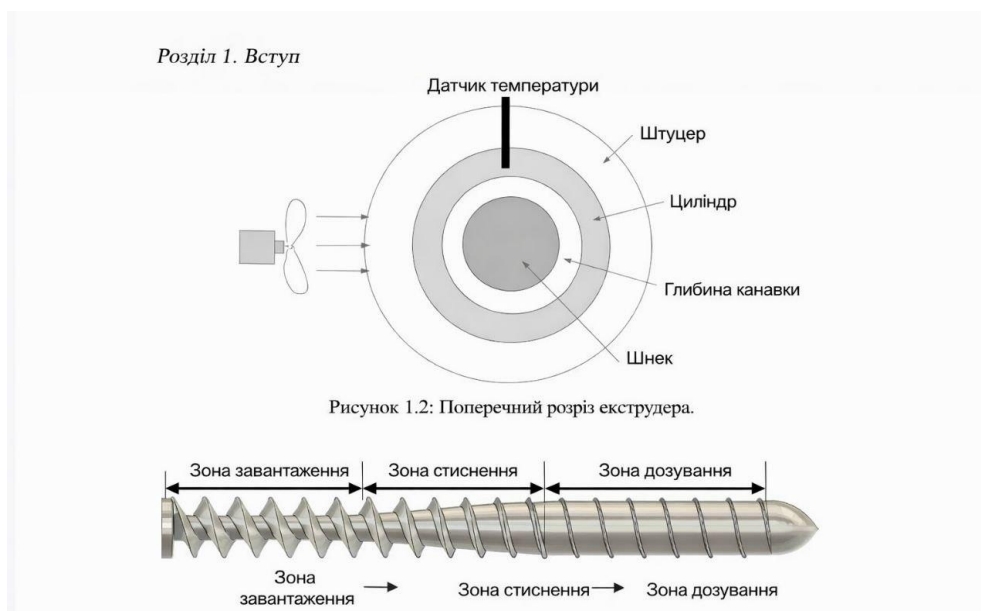


Рисунок 1.2 – Шнековий конвеєр

Залежно від типу застосування або виробу, що має бути виготовлений, необхідна температура пластику, у зоні сопла, становить від 160°C до 300°C. Для підтримання оптимальної температури процесу в цій зоні необхідно здійснювати

охолодження пластикової маси. Охолодження здійснюється за допомогою повітря або води причому повітряне охолодження є нескладним та вимагає мінімум компонентів, отже, воно дешевше, але менш ефективне.

Для повітряного охолодження використовують відцентровий вентилятор. Навколишнє повітря всмоктується у вхід вентилятора, яке потім вдувається в ізольованих кожух, що оточує циліндр. Для посилення ефекту охолодження на корпусі циліндра встановлені радіатори або ребра охолодження, які збільшують поверхню охолодження. Вихідний отвір для виходу повітря після поглинання тепла з циліндра розміщується зверху кожуха. Відповідний температурний профіль дуже важливий для створення ідеальної консистенції та в'язкості пластику на виході з сопла. Різні типи пластику вимагають різного температурного діапазону. З метою повної пластифікації та отримання однорідного розплаву у процесі екструзії полімерний матеріал нагрівають до вищих температур. Це знижує ризик крихкості кінцевого продукту, яка може бути спричинена неоднорідністю полімерного матеріалу, що, у свою чергу, виникає через те, що перед інжекцією або екструзією не пластична маса не була рівномірно розплавленою. У сучасних автоматизованих системах керування екструзійними установками кожна зона може функціонувати в режимі нагрівання, комбінованого нагрівання та охолодження або виключно охолодження залежно від технологічних вимог процесу. Діючі комплекси автоматичного регулювання дозволяють реалізувати керування як нагрівальними, так і охолоджувальними елементами екструдера. Незважаючи на це, підсистема охолодження потребує додаткової оптимізації з метою підвищення якості регулювання, зменшення енергоспоживання та забезпечення стабільності технологічного процесу.

Продуктивність вентилятора можна змінювати, за допомогою імпульсного керуючого сигналу, який подається на частотний перетворювач або твердотільне реле. Потім цю характеристику було лінійно апроксимовано, і контролер налаштовано відповідно.

Сучасні технології пакувальних матеріалів передбачають створення при чому цей ринок пакувальних матеріалів зростає на 3,3% щороку, [1].

Багатошарові гнучкі упаковки виготовляються методом коекструзії як одним з найперспективнішим методом виробництва багатошарових матеріалів, головним чином завдяки своїй економічній ефективності та технологічності, оскільки багатошаровий продукт виготовляється за один етап.

Розвиток технології коекструзії відбувається в напрямку збільшення кількості шарів зі зменшенням товщини кожного шару, щоб суттєво не змінювати загальну товщину плівки. Вже створено обладнання для виготовлення плівок з 17 та 21 шаром, яке забезпечує мінімальну товщину окремих шарів до 1 мкм, при ширині плівки 1200 мм та загальній товщині 100-1000 мкм. Ця технологія коекструзії називається технологією наношарів. Зараз досліджується можливість створення 2048-шарових плівок [2].

Можна відзначити таку тенденцію: великі виробники полімерних матеріалів, такі як BASF, LANXESS, Du Pont або UBE, не тільки розробляють та модифікують полімери і покращують їх споживчі властивостей, а також, водночас розширюють технологічні можливості невеликих підприємств, що виробляють багатошарові матеріали методом коекструзії. Це означає, що завдяки використанню нових матеріалів у багатошарових структурах та технологіях коекструзії розробляються нові зразки обладнання для виготовлення полімерних плівок.

Сучасне коекструзійне виробництво гнучких багатошарових пакувальних полімерних матеріалів є масовим, а в деяких випадках може бути дрібносерійним або одиничним. В роботі проаналізовано технології екструзії та коекструзії для забезпечення виробничих процесів.

Технологічний процес виготовлення багатошарових полімерних матеріалів методом коекструзії складається з таких основних етапів:

- екструзія полімерних розплавів;

- формування багатошарової трубки та стабілізація початкового діаметра;

орієнтація у поздовжньому та поперечному напрямках із стабілізацією діаметра другого плівкового рукава;

термофіксація та контроль усадки плівки в напрямках поздовжньому та поперечному, стабілізація кінцевого діаметра;

охолодження трубчастого або плоского багат шарового полімерного матеріалу;

намотування багат шарового полімерного матеріалу.

У цьому технологічному процесі (рис.1.3) транспортування сировини здійснюється вакуумним агрегатом. Для підготовки зовнішнього (А) та внутрішнього (Е) шарів багат шарової плівки процес змішування компонентів (поліаміду марки РА6 (РА6/66), антиблокувальних, ковзних добавок) здійснюється на станції приготування рецептури. Станція складається з приймальних бункерів для завантаження кожного компонента, гравіметричного дозуючого блоку, змішувального бункера та накопичувального бункера для завантаження в транспортну систему.

Готова суміш подається в бункер, який оснащений системою зважування. При вимірюванні фактичного виходу сировини з цього бункера, гравіметрична система може контролювати вихід екструдера. Відносна похибка дозування розплаву для кожного шару не перевищує $\pm 1,5\%$.

Екструдер забезпечує плавлення, змішування основних полімерів з добавками, створює тиск, забезпечує стиснення полімерного матеріалу, таким чином з напівкристалічного полімеру переходить в аморфний стан. Створення аморфної полімерної маси є важливим етапом технологічного процесу методу екструзійного роздування плівки.

Для забезпечення процесів вторинного формування необхідна переважно аморфна структура полімеру, тоді як присутність кристалічних ділянок у гранулах поліаміду перешкоджає рівномірному плавленню та негативно впливає на якість кінцевої плівки. Екструдер повинен забезпечувати стабільну продуктивність і тиск, мінімізуючи при цьому деградацію полімеру.

Коекструзійна матриця має чотири блоки. На первинному етапі, потоки розплаву розподіляються від кожного екструдера до другого блоку. На вторинному етапі потік розділяється та готується для спіральних розподільників розплаву. Третій технологічний блок – це спіральні розподільники розплаву, де кожен шар формується окремо, а четвертий – це блок спільного потоку шарів та формування трубчастої багатошарової ПЕТ-преформи. Матриця має пристрій для регулювання різниці товщин готової багатошарової першої трубки.

Для охолодження багатошарової трубки використовується система водомасляного охолодження. Вазелінове масло подається всередину трубки, зовні трубка охолоджується водою. Регулюючи рівень масла та води, оператор забезпечує необхідний діаметр первинного плівкового рукава.

Перші тягнучі ролики встановлені у ванні з холодною водою. Швидкість їх обертання автоматично встановлюється гравіметричною системою керування, щоб забезпечити необхідну товщину первинного плівкового рукава при збереженні вихідного тиску екструдера.

Після швидкого охолодження трубки фіксується необхідна аморфна структура первинного рукава. Трубка перетворюється на плоску стрічку, згинається та подається через систему додаткових роликів до інфрачервоного нагрівального блоку, де матеріал нагрівається до температури високоеластичного стану. Потім трубку видувають у поперечному напрямку і одночасно розтягують у напрямку машини за допомогою тягнучих роликів, що забезпечує двовісну орієнтацію плівки. В процесі орієнтації, коли макромолекули знаходяться у високоеластичному стані, відбувається їх вирівнювання у напрямках розтягування.

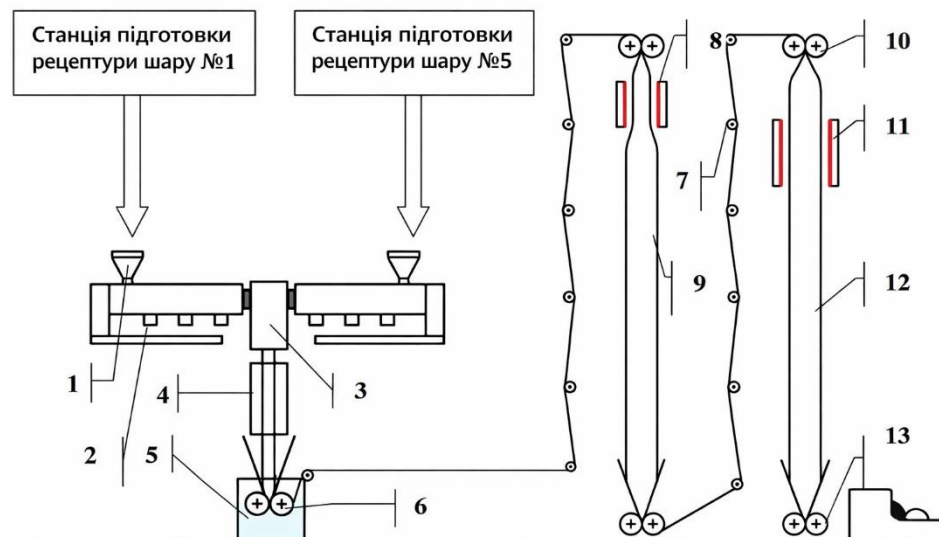


Рисунок.1.3 – Функціональна схема типового процесу виготовлення багатошарової термоусадочної трубчастої плівки методом коекструзії

1 – завантажувальний бункер для гравіметричного дозування; 2 – екструдер; 3 – коекструзійна матриця; 4 – вузол формування розмірів; 5 – охолоджувальна ванна; 6 – перша тягнуча пара валків; 7 – додаткові валки; 8 – вузол для нагрівання першої трубки; 9 – вузол для видування трубки та формування плівки; 10 – четверта тягнуча пара валів; 11 – вузол для нагрівання та термофіксації плівки; 12 - вузол контролю термофіксації плівки; 13 – намотувальний пристрій.

1.2 Технологія коекструзії багатошарових полімерних плівок

Продукт: Коекструзійна трубчаста п'ятишарова термоусадочна бар'єрна плівка.

Структура плівки: А / В / С / D / Е, ширина трубок: 60-300 мм, діаметр рулону макс. 410 мм, товщина плівки 25-60 мікрон, варіація товщини $\pm 7\%$, але якщо похибка 7% складає більше 5 мікрон, то забезпечується відхилення не більше ± 5 мікрон. Продуктивність: макс. 80 кг/год, максимальна швидкість 200 м/хв.

Кожен шар розроблений відповідно до своєї функціональності та зазвичай складається з кількох матеріалів. Підготовка суміші для кожного шару може здійснюватися двома способами.

За спрощеним методом, підготовка та змішування всіх компонентів (перед подачею їх у гравіметричний бункер екструдера) здійснюється в барабанному змішувачі або обертовій ємності, де кожен компонент вручну зважується та заповнюється, або автоматизованим методом коли автоматична станція використовується для завантаження, дозування (зважування), змішування та подачі в екструдер кожного компонента, що використовується в рецептурі шару.

У випадку якщо виготовляється плівка певного кольору, на етапі проектування визначають, які шари будуть забарвлені і саме для них вкрай важливо передбачити автоматичне дозування барвників. Це вирішує низку питань, пов'язаних з виготовленням кольорових плівок. Перш за все, вирішується проблема контролю кольору в режимі реального часу, якщо відхилення кольору пов'язані з нестабільністю маткової суміші.

Коли відбувається перехід на кольорову основу, при виробництві мінімальних обсягів плівки з так званим «ексклюзивним» кольором, важко передбачити та точно розрахувати, скільки кольорової суміші потрібно приготувати для невеликої партії продукції, особливо коли маса продукції порівнянна з об'ємом змішувального бункера, це зазвичай призводить до втрат кольорової сировини або недовиконання необхідного обсягу партії продукції. Для вирішення проблеми дозування барвника використовують дозуючу систему.

Для аналізу роботи змішувальної станції було розглянуто два періоди її експлуатації за однакових технологічних умов. У першому випадку обладнання працювало стабільно, без відмов і зауважень з боку операторів. У другому випадку фіксувалися регулярні попереджувальні сигнали та порушення роботи системи дозування. Це дало можливість порівняти показники процесу за нормального та проблемного режимів роботи обладнання.

Основною причиною періодичних аварійних сигналів у змішувальній станції були порушення роботи системи подачі стисненого повітря. Зокрема,

спостерігалися коливання тиску в межах 5–7 атм з інтервалом повторення від 3 до 6 годин, що негативно впливало на стабільність функціонування пневматичного обладнання та могло призводити до помилкових спрацювань системи сигналізації. При проектуванні треба враховувати такі нестабільні параметри, оскільки вони можуть призвести до спрацювання системи діагностики змішувального обладнання, однак суттєвого впливу на сам процес екструзії не спостерігалось – плівка виготовлялася без зупинок і відповідала вимогам якості.

Водночас слід зазначити, що основні вузли коекструзійної лінії не потребують підвищеного тиску стисненого повітря (7–8 атм), тоді як дозувальна система потребує стабільного та достатнього рівня тиску, що чітко регламентується в інструкції з експлуатації відповідного обладнання.

Робота станції дозування рецептур полягає в тому, що дозування здійснюється шляхом керування швидкістю відкриття заслінки за допомогою пневматичного циліндра, час реакції заслінки становить менше 0,1 секунди. Станція оснащена датчиком тиску повітря, який налаштований на граничне значення сигналізації 7 атм.

Для аналізу стабільності змішування використовується така методика: з бункера завантаження екструдера об'ємом 8 літрів (≈ 7 кг сировини), де знаходиться склад суміші відбирається 2 проби. Пробовідбірник виконано у формі металевої склянки з ручкою, довжиною близько 0,5 м. Загальна вага зразків P_{Σ} становить від 24 г до 28 г, після чого зразок аналізують за компонентами та розраховують їх відсотковий вміст.

Методика оцінки, наведена в [5], дозволяє визначати стабільність змішування за рівномірністю розподілу одного або двох ключових компонентів характеризується такими основними недоліками:

- може бути три або більше ключових компонентів із вмістом від 1% до 10%;
- кожен компонент може мати різні властивості, що впливають на стабільність його дозування, рівномірність розподілу, електризація матеріалу, гранулометричні показники тощо;

відхилення можуть виникати через помилки в лічильнику одного з ключових компонентів, тоді як інші вузли обліку працювали стабільно;

Тому, важливим аспектом у роботі системи є контроль накопиченої похибки дозування, оскільки це дозволить оцінити вплив процесу дозування, на інші технологічні параметри та якісні характеристики кінцевого продукту.

Слід зазначити, що для швидкої оцінки використовується експрес метод, заснований на аналізі одного компонента.

Для розробки комплексної методології моніторингу багатокомпонентної суміші розраховують відхилення в кожній вибірці від заданого значення з урахуванням відхилень усіх використаних компонентів, тобто сумарне відхилення. Такий підхід спрямований на спрощення контролю виробничих партій і мінімізацію утворення відходів під час виготовлення кольорових сумішей.

Для умов однотипного виробництва при дозуванні барвника доцільніше використовувати систему безперервного контролю маси кожного компонента, ніж систему з одним ваговим бункером. Такий підхід забезпечує вищу точність дозування за рахунок простішої та компактнішої конструкції обладнання. Крім того, подача барвника здійснюється безпосередньо поблизу зони завантаження екструдера, що дає змогу ефективніше контролювати колір готового виробу та оперативно коригувати його відхилення.

Використання способу змішування, показаного на рис. 1.4а, не забезпечує належного контролю впливу гранулометричного складу компонентів на якість суміші. У зв'язку з цим при зміні розподілу частинок за розмірами виникає необхідність коригування часу змішування та об'єму дози. Особливо це актуально при зміні характеристик вхідної сировини, зокрема її насипної щільності.

Причиною є нестабільність фізичних властивостей сучасних суперконцентратів і добавок, що постачаються різними виробниками. Вони можуть відрізнятися за гранулометричним складом, типом пігментів, рецептурою та технологією виготовлення. Крім того, щільність

суперконцентрату нерідко перевищує щільність базового полімеру через значний вміст мінеральних наповнювачів, що також впливає на рівномірність дозування та якість змішування.

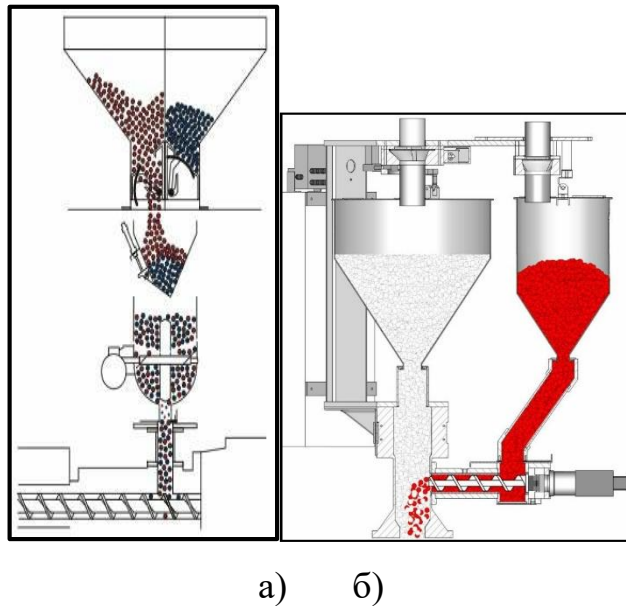


Рисунок.1.4 – Варіанти схем автоматичних станцій приготування рецептів, а – гравіметричний принцип приготування рецептів (з використанням бункера для зважування та змішування), б – гравіметричне дозування шляхом безперервного моніторингу зміни ваги.

Тому не завжди можливо отримати однорідну суміш гранул у змішувальному бункері. За вмісту барвника в межах 0,5–5,0 % забезпечення рівномірного забарвлення полімерної композиції є складним технологічним завданням. Це пояснюється тим, що незначна кількість барвника повинна бути рівномірно розподілена по всьому об'єму основного матеріалу. При використанні гравіметричного способу дозування навіть незначні похибки подачі компонентів або недостатня ефективність змішування можуть призводити до локальних відхилень концентрації барвника, що негативно впливає на однорідність кольору готової продукції. Такий метод найкраще придатний, для дозування барвника 15-40% (рис. 1.4а) оскільки, по-перше, якість суміші в цьому випадку може бути задовільною, а по-друге, для забезпечення

високої продуктивності дозування, що працює за принципом зміни ваги, необхідно забезпечити відповідний об'єм бункерів. Якщо необхідно охопити весь діапазон можливого дозування барвника від 0,5% до 30%, можна піти на ускладнення конструкції системи дозування, але забезпечити стабільність відтворення кольору. Тому для дозування барвників кращим є другий метод (рис. 1.46).

2. ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1 Розробка системи керування процесом екструзії полімерів

Екструзія полімерів зараз є складним процесом, особливо через пов'язану природу параметрів процесу, а також дуже високу чутливість до їх коливань. Хоча останні кілька десятиліть було запропоновано низку різних підходів до контролю екструзії, все ще є деякі проблеми з досягненням стабільної якості продукції. Сучасні екструдери для переробки полімерів оснащені ПІД-контролерами, головним чином для контролю швидкості шнека і температури барабана в заданих межах. Ці контролери традиційно використовуються як основні засоби керування процесом для досягнення необхідної якості розплаву. Хоча стабільність виходу розплаву, тобто його термічна однорідність і сталість витрати та властивостей у часі, є одним із ключових показників у процесі екструзії полімерів, кількість ефективних методів керування цим параметром є обмеженою. Вони спрямовані на регулювання процесу та моніторинг якості потоку розплаву на виході. Перспективними засобами підвищення точності контролю якості розплаву є застосування нелінійних методів аналізу, включно з алгоритмами штучного інтелекту. З цією метою необхідно проаналізувати існуючі алгоритми та підходи до екструзії полімерів і їх недоліки та розробити удосконалені алгоритми керування технологічним процесом. Однією з характерних тенденцій сучасного виробництва є поступова заміна традиційних конструкційних матеріалів, таких як метал, скло та деревина, на полімерні матеріали з високими питомими механічними характеристиками. Завдяки значному зниженню маси конструкцій, полімерні матеріали мають ряд інших переваг, таких як легкість формування складних форм, висока стійкість до впливу агресивного середовища, ударів, висока прозорість, можливість повторної переробки, низька вартість порівняно з іншими матеріалами. Тому полімерні матеріали широко використовуються в транспортній галузі, будівництві, медицині, електротехніці, електроніці та в побуті. Серед технологій

переробки виробів з полімерних матеріалів екструзія застосовується у масовому виробництві, тому вдосконалення алгоритмів керування і моніторингу процесом є важливим з точки зору, покращення якості продукції та зниження собівартості одиниці виробу. Крім того, це дозволяє мінімізувати енергоспоживання та покращити економічні та екологічні показники. Тому, для забезпечення стабільної якості продукції необхідно використовувати сучасні автоматизовані методи керування та удосконалювати алгоритми керування.

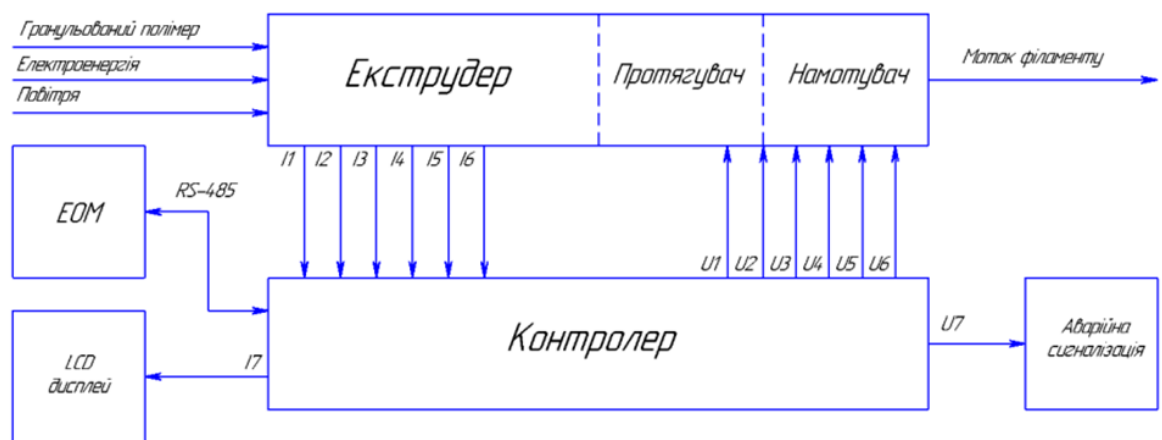


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи керування.

В нашому випадку вхідними сигналами контролера (I1-I6), є параметри які дозволяють контролювати основні параметри технологічного процесу екструзії, а саме:

- I1 – рівень завантажувальної сировини у вхідному бункері;
- I2 – швидкість електроприводу екструзійного шнеку, який визначає продуктивність установки;
- I3 – значення температури нагрівача першої зони екструзії (зона низької температури, пластична деформація);
- I4 – значення температури нагрівача в другій зоні екструзії (зона плавлення);
- I5 – значення температури розплавленого полімеру в контурі дозування;
- I6 – параметр контролю товщини полімерного матеріалу;

I7 – порт передавання даних для виводу на термінальні пристрої (за необхідності). Ця інформація може бути передана до пристроїв HMI та SCADA системи для віддаленого моніторингу та керування.

В результаті аналізу вхідних сигналів система керування виробляє керуючий вплив, який впливає на об'єкт керування за рахунок вихідних сигналів, а саме:

U1 – Частота керування електродвигуном головного шнеку екструдера;

U2 – Вихідний сигнал регулювання температури екструдера в першій зоні (пластична деформація);

U3 - Вихідний сигнал регулювання температури екструдера в другій зоні (плавлення);

U4 - Вихідний сигнал регулювання температури екструдера в третій зоні (температура розплаву);

U5 – Частота обертання електроприводу протягувача;

U6 – Частота обертання електроприводу охолоджувача

Для реалізації системи керування згідно аналізу структурної схеми видно, що контролер має мати в своєму складі 6 входів та 6 виходів та порт передачі даних.

У нашому випадку обираємо контролер типу Mitsubishi FX3G (8 цифрових входів та 6 цифрових виходів) з платами розширення FX3U-3A-ADP (2 аналогові входи 1 аналоговий вихід) або іншого типу та FX3G-485-BD (для зв'язку з OEM по протоколу Modbus RTU). Такий тип контролера обрано з точки зору оптимального співвідношення вартості та надійності і зручності програмування в середовищі GX Works3 з використанням мови LD або ST.

Слід відзначити, що в промисловій реалізації системи можна використовувати будь-який інший тип контролера з міркувань співвідношення вартості/надійності, який забезпечить необхідну кількість входів/виходів та зручність програмування.

Отже, система керування повинна забезпечити контроль вхідних сигналів та керування вихідними сигналами, приведеними в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Таблиця вхідних та вихідних параметрів системи контролю

Назва параметру	Тип сигналу	Модуль для під'єднання
I1 (Рівень сировини в бункері)	Дискретний сигнал (24 В DC, Sink/Source), ємнісний або прапорцевий давач рівня	Базовий вхід контролера X1
I2 (Швидкість шнеку)	Аналоговий сигнал струму (4–20 мА), значення з частотного перетворювача	модуль аналогових входів FX2N-4AD
I3 (Температура 1-ї зони)	Аналоговий сигнал від термопар (ТХА/ТЖК), температурний модуль 150–260°C	FX2N-4AD-PT для Pt100 або FX2N-4AD-TC для термопар
I4 (Температура 2-ї зони)	Аналоговий сигнал від термопар (ТХА/ТЖК), температурний модуль 150–260°C	FX2N-4AD-PT для Pt100 або FX2N-4AD-TC для термопар
I5 (Температура розплаву в зоні дозування)	Аналоговий сигнал від високоточної термопар	FX2N-4AD-TC для термопар
I6 (Товщина полімеру)	Аналоговий сигнал струму (4–20 мА), давачі товщини (оптичні, ультразвукові або лазерні)	модуль аналогових входів FX2N-4AD
I7 (Передача даних на дисплей та EOM)	Цифровий мережевий сигнал (RS-485 / Modbus RTU або Ethernet / Modbus TCP)	плата FX3G-485-BD

U1 (Частота двигуна головного шнеку)	Аналоговий сигнал струму (4–20 мА), подається на аналоговий вхід частотного перетворювача (ПЧ) для плавного регулювання частоти обертання від 0 до 50 Гц	Модуль аналогового виходу (ЦАП) FX3U-4DA
U2 (Регулювання температури 1-ї зони)	Дискретний ШІМ-сигнал, дискретний транзисторний вихід ПЛК, який керує твердотільним реле (SSR) за принципом ШІМ (широтно-імпульсна модуляція) для точного PID-регулювання нагріву	транзисторний вихід контролера з ШІМ Y2
U3 (Регулювання температури 2-ї зони)	Дискретний ШІМ-сигнал, дискретний транзисторний вихід ПЛК, який керує твердотільним реле (SSR) за принципом ШІМ (широтно-імпульсна модуляція) для точного PID-регулювання нагріву	транзисторний вихід контролера з ШІМ Y3
U4 (Регулювання температури 3-ї зони)	Дискретний ШІМ-сигнал, дискретний	транзисторний вихід контролера з ШІМ Y4

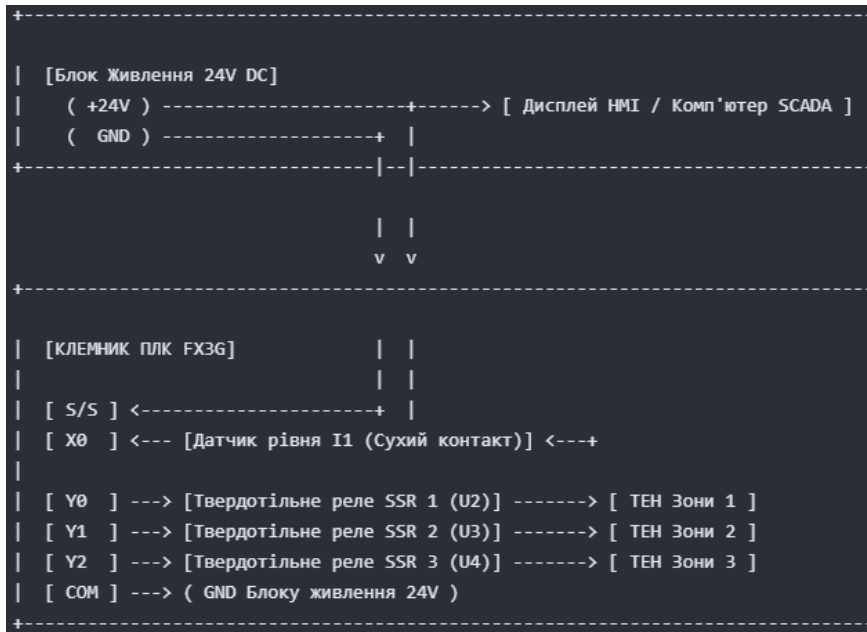
	транзисторний вихід ПЛК, який керує твердотільним реле (SSR) за принципом ШИМ (широтно- імпульсна модуляція) для точного PID- регулювання нагріву	
U5 (Частота двигуна протягувача)	Аналоговий сигнал струму (4–20 мА)	Модуль аналогового виходу (ЦАП) FX3U- 4DA
U6 (Частота двигуна охолоджувача)	Аналоговий сигнал струму (4–20 мА)	Модуль аналогового виходу (ЦАП) FX3U- 4DA

Загальна архітектура системи (Монтаж на DIN-рейці)

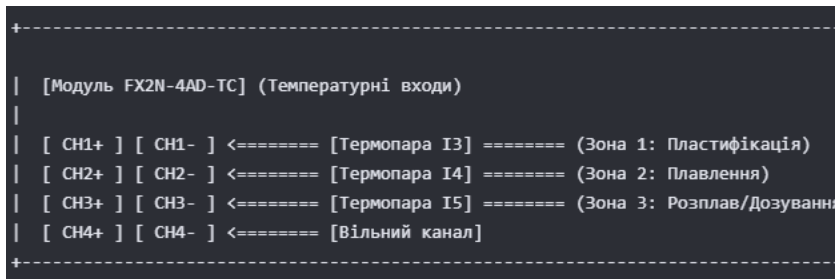
[Блок живлення]	[ПЛК FX3G]	[FX2N-4AD-TC]	[FX2N-4AD]	[FX3U-4DA]
[24V DC / 2A]	=== [Базовий блок]	= [Модуль темп.]	= [Аналог. входи]	== [Аналог .виходи]
Живить давачі	Дискретні I/O	Давачі нагрівачів	Швидкість/Товщина	Частотні ПЧ

Детальна схема електричних підключень:

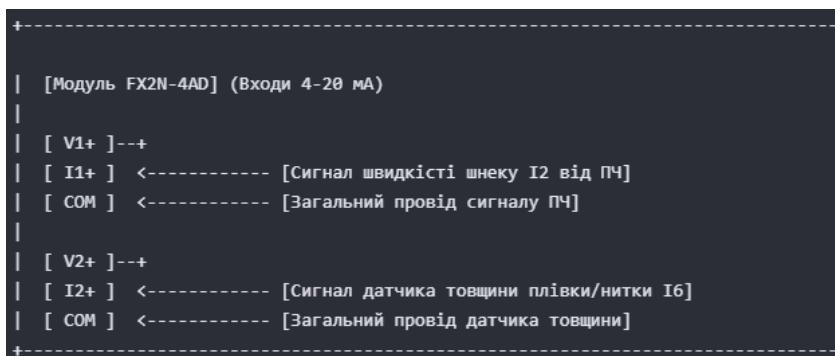
1. Живлення та Дискретні канали (Базовий блок FX3G та Блок живлення)



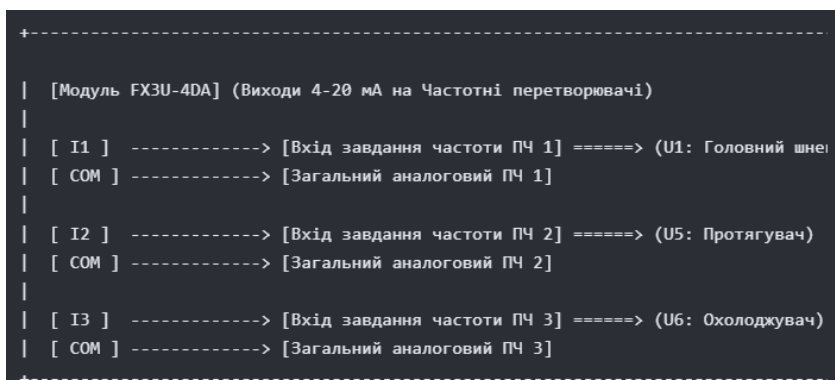
2. Контур контролю температури (Модуль FX2N-4AD-TC)



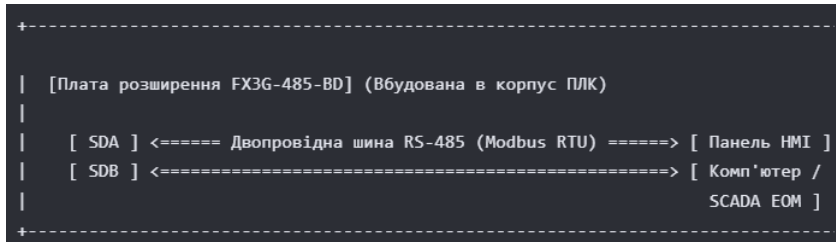
3. Контур аналогових датчиків (Модуль FX2N-4AD)



4. Контур керування приводами (Модуль FX3U-4DA)



5. Інтерфейсний канал зв'язку (I7)



Алгоритм роботи системи керування екструдером будемо реалізовувати на циклічному опитуванні датчиків, розрахунку математичних моделей (зокрема ПІД-регулювання) та видачі керуючих сигналів.

Програма ПЛК Mitsubishi FX3G виконує цей алгоритм у безперервному циклі (час одного сканування $\sim 2\text{--}10$ мс) і ділиться на 5 основних етапів.

Етап 1: Ініціалізація та Безпека (Стартовий запуск)

При переході ПЛК в режим RUN система перевіряє готовність обладнання:

Блокування запуску: Перевіряється поточна температура зон (I3, I4, I5). Поки пластик у циліндрі повністю не розплавиться (температура нижче заданої технологічної норми, наприклад $<180^\circ\text{C}$), **запуск головного шнеку (U1) апаратно заблоковано**. Це захищає вал шнеку від зрізання або заклинювання у твердому полімері.

Перевірка аварій: Перевірка відсутності сигналів "Аварія" від частотних перетворювачів (ПЧ) та справності термопар (перевірка на обрив лінії датчиків I3–I5).

Етап 2: Збір та фільтрація даних (Входи).

ПЛК зчитує аналогові та дискретні канали:

Рівень сировини (I1): Якщо датчик показує "0" (бункер порожній) довше 30 секунд, система видає попереджувальний сигнал (миготіння лампи або зумер) та відправляє повідомлення на I7 (HMI/EOM) про необхідність завантаження.

Зчитування температур (I3, I4, I5): Дані з модуля FX2N-4AD-TC оцифровуються, фільтруються від завад (усереднення за останні 5–10 вимірювань) та переводяться в реальні градуси Цельсія ($^\circ\text{C}$).

Контроль швидкості та товщини (I2, I6): Сигнали 4–20 мА з модуля FX2N-4AD масштабуються у зрозумілі технологічні величини: оберти за хвилину (об/хв) для шнеку та мікрометри (мкм) або міліметри (мм) для товщини плівки/нитки.

Етап 3: Обробка логіки та Регулювання (Ядро алгоритму)

Це головний обчислювальний блок програми ПЛК:

ПІД-регулювання температури (Зони 1, 2, 3):

Програма порівнює поточну температуру (I3, I4, I5) із заданою оператором (Setpoint).

Вбудований у ПЛК алгоритм **PID** (інструкція **APID** у **Mitsubishi**) розраховує необхідну потужність нагріву від 0 до 100%.

Ця потужність трансформується у ШІМ-сигнал (PWM) для дискретних виходів Y0, Y1, Y2. (Наприклад, якщо потрібно 40% потужності, вихід Y0 буде ввімкнений 4 секунди і вимкнений 6 секунд із 10-секундного циклу).

Синхронізація швидкостей приводів:

Оператор задає загальну продуктивність екструдера.

ПЛК розраховує базову швидкість для головного шнеку (U1), протягувача (U5) та охолоджувача (U6).

Автоматичне коригування товщини (Контур зворотного зв'язку):

Якщо датчик товщини (I6) фіксує, що матеріал **занадто товстий**: ПЛК плавно *збільшує* частоту приводу протягувача (U5) за допомогою модуля FX3U-4DA, щоб сировина дужче витягувалася, АБО трохи *зменшує* швидкість головного шнеку (U1).

Якщо матеріал **занадто тонкий**: виконуються зворотні дії (протягувач сповільнюється).

Етап 4: Видача керуючих впливів (Виходи)

ПЛК оновлює стан вихідних модулів:

Сигнали ШІМ подаються на твердотільні реле нагрівачів (Y0–Y2).

Розраховані цифрові значення швидкостей конвертуються в аналоговий струм 4–20 мА в модулі FX3U-4DA і миттєво змінюють оберти двигунів U1, U5, U6.

Етап 5: Диспетчеризація та Комунікація (I7)

В кінці кожного циклу плата FX3G-485-BD оновлює реєстри Modbus:

Всі поточні параметри (температури, швидкості, товщина, статус бункера) відправляються на панель оператора HMI для відображення графіків та індикаторів.

Ті самі дані дублюються через мережу на ЕОМ вищого рівня для архівування (SCADA), щоб керівник виробництва чи технолог бачили історію роботи екструдера.

Сценарій реагування на критичні аварії (Interlock):

Програма постійно аналізує критичні межі. Робота екструдера **негайно зупиняється** (вимикаються приводи U1, U5 та ТЕНи), якщо:

Температура будь-якої зони перевищила критичну межу (загроза горіння та деструкції полімеру / пожежі).

Стався обрив будь-якої термопари (ПЛК бачить максимальне помилкове значення).

Датчик товщини (I6) показує нуль або критичне відхилення довше 5 секунд (ознака обриву рукава/нитки полімеру).

Відповідно до даної концепції було побудовано в системі mermaid алгоритм роботи системи керування, який приведено на рис. 2.1.

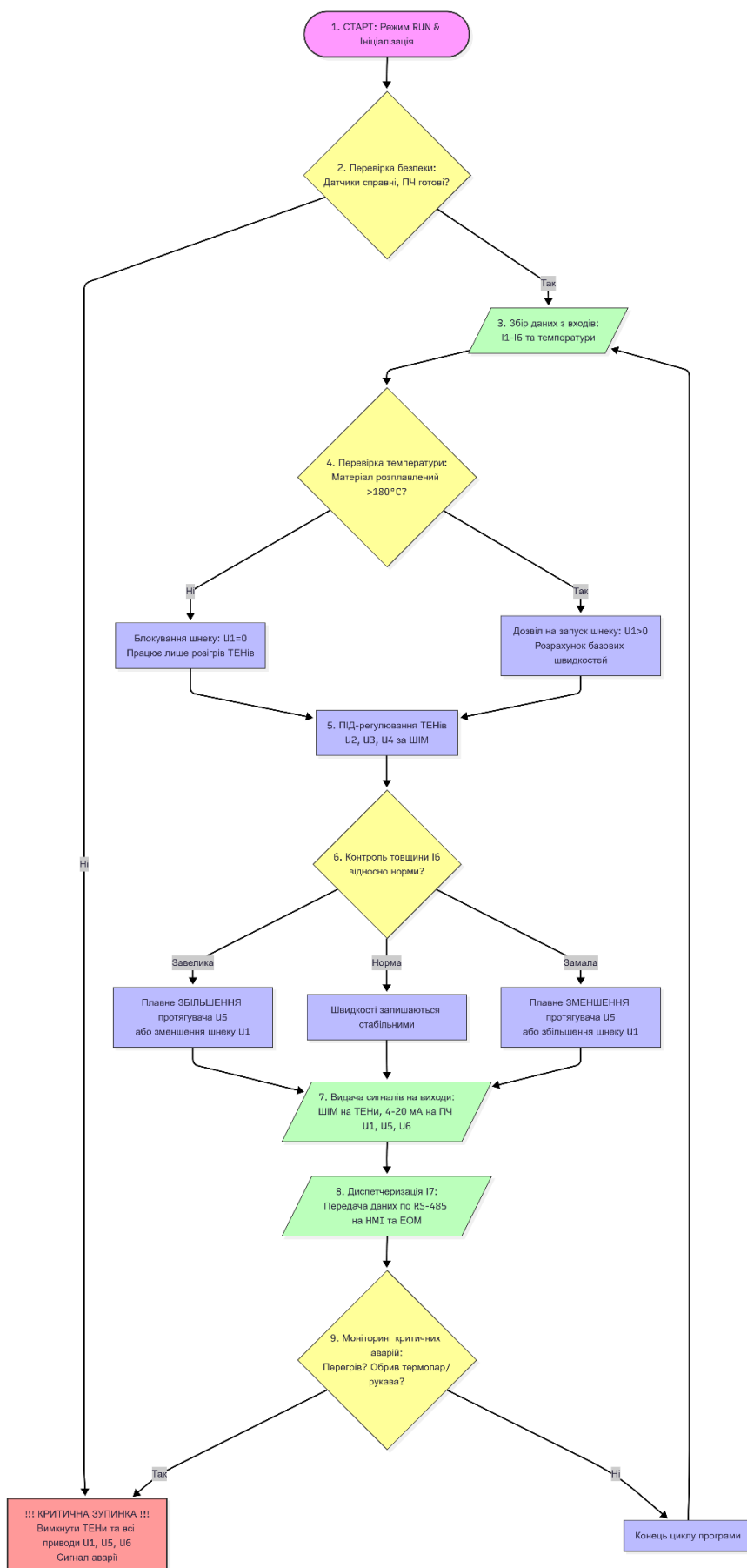


Рисунок 2.1 – Алгоритм роботи системи керування

Підбір давачів та кінцевого обладнання для реалізації прототипу системи керування:

Для контролю температури нагрівачів - термоелектричний перетворювач - MAX6675.

Для контролю рівня грануляту - зонд для гранулятів і порошків BinMaster MCR-200. Вимірює зміну ємності між електродами при контакті з матеріалом.

Для контролю обертів електродвигуна - давач Холла 49E.

Для нагрівання полімеру - кільцевий нагрівач (конструюється під конкретний тип екструдера).

Для обертання шнеку – асинхронний електродвигун IC416 з частотним перетворювачем Schneider Electric Altivar ATV930.

Для обертання протягувача і намотувача - кроковий двигун NEMA 34, момент до 12 Н·м

Для керування кроковим двигуном – драйвер DM860. Робоча напруга: 24–80 В DC, струм: до 7,2 А

Для управління роботою кільцевого нагрівача - реле твердотільного типу - SSR-25DA.

Для регулювання обертів електроприводу охолодження – Schneider Electric Altivar ATV12

Система керування – контролер Mitsubishi FX3G з платами FX2N-4AD-TC, FX2N-4AD, FX3U-4DA та FX3G-485-BD

2.2 Керування екструзією із застосуванням модуля нечіткої логіки

У цьому розділі розглянуто підхід до вдосконалення керування процесом екструзії, що базується на використанні динамічних моделей та методів нечіткої логіки. Це можна розглядати як поєднання методів прогнозування моделі та штучного інтелекту. Для реалізації цієї моделі можна застосувати два варіанти керування на базі контролера, яке показано на рис 2.2 та 2.3.

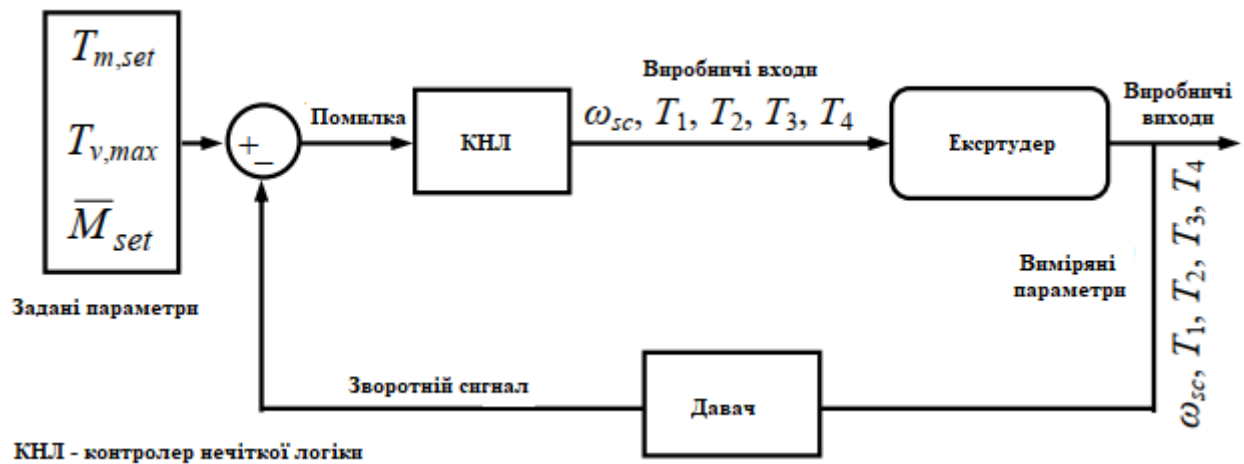


Рисунок. 2.2 – Керування екструзії за допомогою комбінації динамічних моделей процесу та FLC

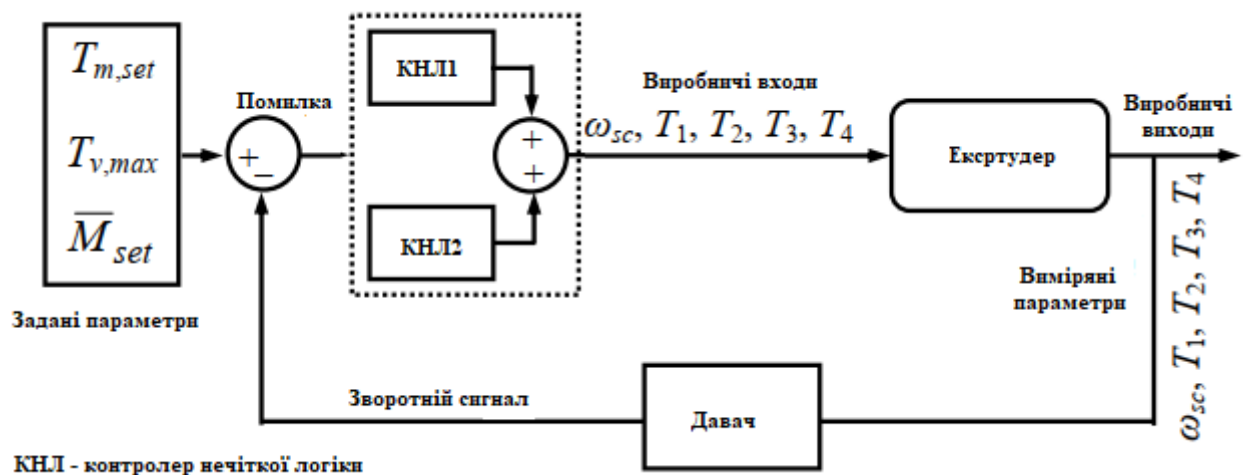


Рисунок. 2.3 – Керування екструзією з комбінацією динамічних моделей процесу та двох FLC

Тут, ω_{sc} – швидкість конвеєра;

T_1 – T_4 – встановлені значення температури різних зон циліндра;

$T_{v,max}$ – це максимально допустима зміна температури розплаву по всьому потоку;

$\bar{M}_{set}$ – встановлена/бажана масова пропускна здатність;

$T_{m,set}$ — встановлена середня температура розплаву по всьому потоку розплаву.

Значення встановлюється на основі розрахунку технологічних параметрів процесу. Фактичні значення цих параметрів можуть визначатись за допомогою динамічних моделей процесу у випадках, коли їх безпосереднє вимірювання фізичними давачами в режимі реального часу не забезпечує необхідної точності. Далі здійснюється розрахунок сигналів похибки:

$E(T_v)$ - похибка зміни температури розплаву;

$E(T_{m,avg})$ - похибка середньої температури розплаву;

$E(M)$ - похибка масової пропускної здатності.

Вони можуть бути розраховані (2.1) - (2.3), і які можна використовувати як вхідні дані для налаштування контролера.

$$E(T_v) = T_{v,act} - T_{v,max} \quad (2.1)$$

$$E(T_{m,avg}) = T_{m,act} - T_{m,set} \quad (2.2)$$

$$E(M) = M_{act} - M_{set} \quad (2.3)$$

$T_{v,act}$ — Фактична різниця температури розплаву по всьому потоку розплаву;

M_{act} — фактична (актуальна) масова пропускна здатність;

$T_{m,act}$ — фактична (актуальна) середня температура розплаву по всьому потоку розплаву;

З метою прогнозування температурного профілю розплаву в зоні фільтрації доцільно застосовувати динамічну модель процесу, запропоновану в дослідженні [5], яка забезпечує оцінювання параметрів потоку по всьому його перерізу. Цю модель можна використовувати для визначення варіації температури розплаву по всьому потоку розплаву у фільтрі. Інші додаткові моделі можуть бути розроблені із застосуванням аналогічного підходу до моделювання, наведеного в роботах [6, 7]. Застосування моделей для розрахунку параметрів технологічного процесу спрощує процес налаштування контролера оскільки не вимагає дослідного визначення цих параметрів.

Наступним кроком є побудова бази нечітких правил «якщо–то», наведених у рівнянні (2.1), шляхом поєднання трьох сигналів похибки або

окремих пар цих сигналів для оцінювання стану процесу. При поєднанні двох сигналів похибки використовується структура з двома ПЛК-регуляторами, вихідні дії яких інтегруються в єдиний керуючий сигнал, що надходить на вхід об'єкта керування (рисунки 2.3).

Використання контролера нечіткої логіки має переваги у порівнянні з ПІД контролером. При заданні логічних умов в контролері нечіткої логіки регулювання параметрів проводиться як і в ПІД контролері. При частковій зміні параметрів об'єкту керування у ПІД контролері необхідно переналаштовувати коефіцієнти, тоді як контролер нечіткої логіки підналаштовується самостійно.

Для отримання сигналу зворотного зв'язку можна використовувати відповідний фізичний або віртуальний датчик, або їх комбінацію. Основним фактором, який впливає на вибір датчика є його точність та здатність надавати широкий спектр інформації про фактичну якість розплаву. Для отримання зворотного зв'язку щодо якості розплаву використовують локальні температурні давачі. Відтак інформація, що надається цими датчиками, обмежена місцем їх фіксації, а також вони погано виявляють швидкі зміни температури розплаву. Тому важливо використовувати високоточні та надійні датчики, які можуть надавати широкий спектр інформації про фактичну якість розплаву з швидким часом відгуку для отримання зворотного зв'язку. Це забезпечить ефективну роботу системи управління і керованого об'єкту. Для прогнозування температурного профілю по всьому потоці розплаву в екструдерній головці можна використати віртуальний давач, запропонований автором [6, 7]. Такий підхід імітує зворотній зв'язок і може застосовуватись на стадії проектування і відналагодження алгоритму керування технологічним процесом без застосування фізичних давачів.

Хоча в цьому запропонованому підході як вхідні було використано лише три входи, за потреби можна додати більше входів. Аналогічно, можна використовувати два або більше ПЛК у разі додавання додаткових входів до контролера.

Запропоновано використовувати нечітку логіку в управлінні екструзією, і рекомендується використовувати інші методи штучного інтелекту, такі як нейронечіткі та нейронні мережі для подальшого розвитку екструзійної галузі. У роботі [8] запропоновано стратегію управління процесом екструзії полімерів з використанням контролера нечіткої логіки та динамічних моделей процесів, та представлені результати моделювання.

2.3. Дослідження впливу технологічних параметрів на процес екструзії дискового типу

Для виробництва полімерних плівок та листів у пакувальній, будівельній, автомобільній та електротехнічній галузях, як альтернатива шнековим, широко використовуються дискові екструдери. Їх також можна використовувати для технологічних операцій компаундування, введення вторинної сировини та змішування полімерів з різними наповнювачами.

Шнековий та дисковий екструдери принципово відрізняються способом транспортування, плавлення та створення тиску всередині матеріалу. Шнековий тип є класичним і масовим, тоді як дисковий використовує ефект "нормальних напружень" для специфічних завдань. Шнековий екструдер: Має хороші показники змішування, але для якісного розподілу добавок потребує збільшення довжини шнека (L/D) або використання спеціальних бар'єрних та змішувальних зон. Дисковий екструдер забезпечує екстремально високу якість гомогенізації. Напруження зсуву між дисками дуже інтенсивні та рівномірні, що дозволяє ідеально змішувати важкі наповнювачі за один прохід на дуже короткій дистанції.

Тому для побудови системи автоматизованого управління дисковим екструдером важливим є розуміння принципу його роботи та методики розрахунку його технологічних параметрів, що дозволить точно та зручно вибрати технологічні параметри процесу екструзії дискового типу на основі кореляції між критерієм якості змішування та величиною накопиченої

деформації. Для досягнення цієї мети необхідно проаналізувати поля швидкостей та зсувні напруження, що виникають під час руху розплаву в робочому зазорі дискового екструдера.

Дисковий екструдер працює наступним чином. Полімер подається у вхідний отвір 1 та транспортується багатопрохідною гвинтовою різьбою, виконаною на бічній поверхні обертового диска 2, у робочий зазор 3, утворений корпусом та диском. Плавлення полімеру та гомогенізація розплаву здійснюється в каналах гвинтової різьби та в зазорі, а отриманий розплав виходить через отвір 4. Основним недоліком дискових екструдерів є низький тиск на виході з пристрою (до 1 МПа), тому цей тип пристроїв ефективно використовується з шестеренними насосами як дозувальними пристроями [10-13]. Дискові екструдери характеризуються високою ефективністю як з точки зору капітальних, так і експлуатаційних витрат, а також широким спектром оброблюваних матеріалів.

У каскадних схемах екструзії дисковий екструдер виконує роль плавильника гомогенізатора. Зона пластифікації шнеком відповідає за плавлення 50-60% матеріалу, а дисковий зазор завершує перехід матеріалу у в'язко-рідкий стан та гомогенізує отриманий розплав [14].

Існуючі методи кількісного опису процесу змішування базуються на статистичному аналізі, що базується на порівнянні загальної дисперсії з фактичним значенням стандартного відхилення концентрації диспергованої речовини [7].

Підходи кількісного оцінювання ефекту змішування, ґрунтуються на визначенні середнього рівня деформації зсуву в одиниці об'єму змішаного матеріалу. Порівняння розрахованих значень деформації зсуву з експериментально визначеними статистичними критеріями якості змішування свідчить про наявність кореляції між цими показниками, що підтверджує можливість використання деформації зсуву як інформативного параметра для оцінювання ефективності процесу змішування полімерних матеріалів [10]. Критерії якості змішування спочатку суттєво залежать від деформації зсуву,

однак згодом спостерігається ефект насичення. Як тільки досягнуто оптимального значення деформації зсуву, подальше збільшення деформації зсуву не впливає на критерії якості. Таким чином, існує певна оптимальна тривалість змішування. Очевидно, що за умови досягнення системою середнього рівня деформації зсуву для даного обладнання формується максимально можлива однорідність суміші, тому подальше збільшення тривалості процесу змішування не забезпечує додаткового покращення [7]. Важливо, що при такому методі оцінки деформації зсуву її оптимальне значення характеризуватиме лише ту систему змішування, для якої була визначена кореляція.

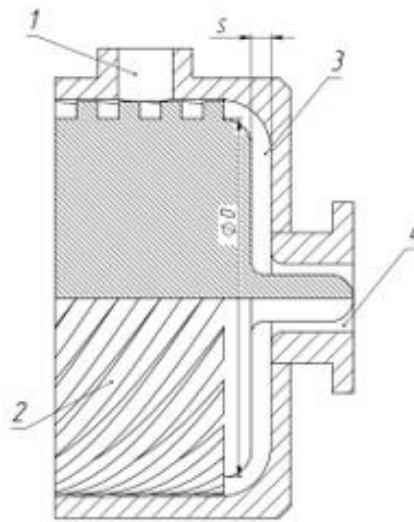


Рисунок 2.4 – Принципова схема дискового екструдера: 1 – вхідний отвір, 2 – різьба, 3 – зазор диска, 4 – вихідний отвір

Загальна (накопичена сумішшю під час процесу змішування) деформація зсуву y^{summ} [7].

$$y^{summ} = \dot{\gamma} * t \quad (2.4)$$

де, $\dot{\gamma}$ – середня швидкість зсуву;

y^{summ} - сумарна деформація зсуву (накопичений ефект зсуву);

t - тривалість перемішування або впливу зсуву.

Дискові екструдери з дозованим вивантаженням мають можливість регулювання таких параметрів, як величина зазору диска та швидкість обертання

робочого органу, що забезпечує широкі можливості для керування ефектом перемішування шляхом зміни як швидкості зсуву, так і його тривалості.

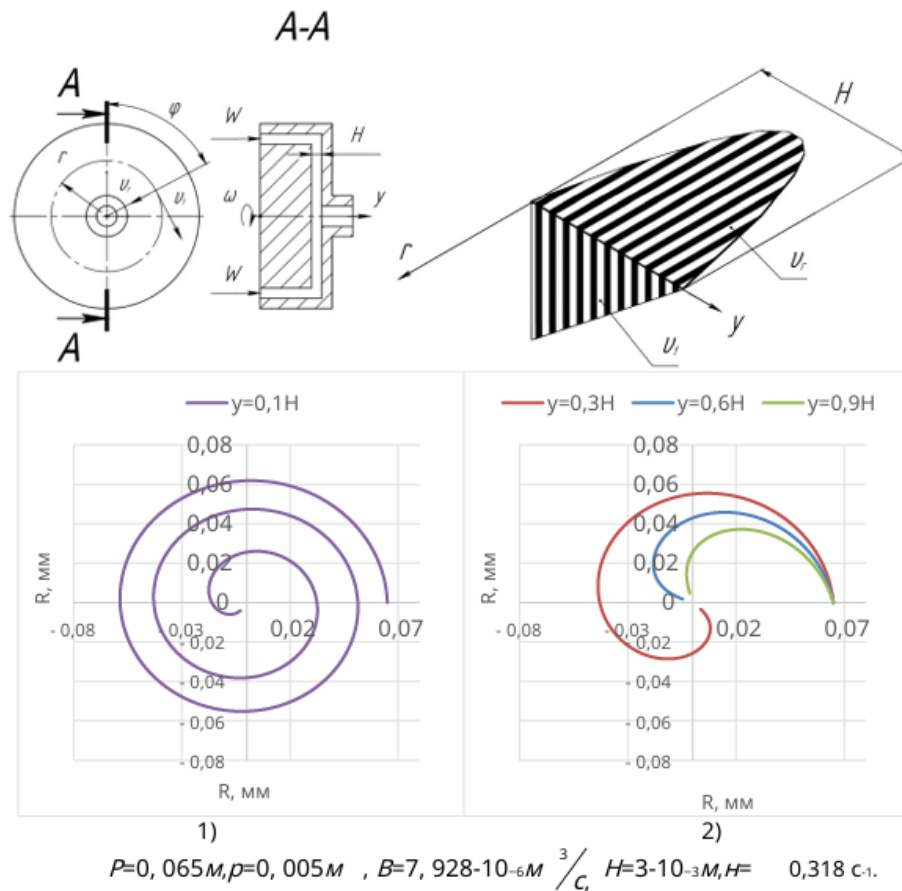
Обов'язковою умовою для оцінювання ефекту змішування дискового екструдера є наявність інформації про розподіл швидкостей у потоці матеріалу.

Характер руху полімеру в зазорі диска є результатом взаємодії двох взаємно перпендикулярних швидкостей: радіальної та тангенціальної. Радіальна складова швидкості має лінійний профіль, а тангенціальна – параболічний.

$$v_t = V_t \frac{y}{H} = 2 \times \pi \times r \times n \times \frac{y}{H} \quad (2.5)$$

$$v_r = \frac{3 \times Q}{\pi \times H^3 \times r} \times y \times (H - y) \quad (2.6)$$

Траєкторія матеріалу в зазорі диска набуває форми, подібної до спіралі Архімеда [10]-[12]. Траєкторія залежить від об'ємної ємності екструдера, та поперечного перерізу утвореного рухомим диском, швидкості обертання диска та величини зазору диска.



a)

б)

Рисунок.2.6 – Траєкторії частинок у щілині черв'ячно-дискового екструдера: а – при $y = 0.1H$; б - при $y = 0.3H$.

Інтегруючи рівняння за тиском у межах від 0 до P_d та за часом у межах від 0 до t , отримаємо:

$$r = \sqrt{R^2 - \frac{6 \times W \times y \times (H - y)}{\pi \times H^3}} \times \Delta t \quad (2.4)$$

Час перебування елемента в зоні, обмеженій радіусами R та r , дорівнює

$$\Delta t = \frac{(R^2 - r^2) \times \pi \times H^3}{6 \times W \times y \times (H - y)} \quad (2.5)$$

Щоб визначити компоненти швидкості зсуву, диференціюємо рівняння швидкості вздовж відповідних координат.

$$y_t = \frac{dv_t}{dy} = \left(V_t \frac{y}{H} \right) \frac{d}{dy} = \frac{2 \times \pi \times r \times n}{H} \quad (2.7)$$

$$y_t = \frac{dv_t}{dy} = \left(\frac{3 \times Q}{\pi \times H^3 \times r} \times y \times (H - y) \right) \frac{d}{dy} = \frac{3 \times Q}{\pi \times H^3 \times r} \times (H - 2 \times y) \quad (2.8)$$

Застосування отриманих рівнянь для компонентів швидкості деформації та часу їх дії дає змогу обчислити загальну накопичену деформацію.

Загальну деформацію зсуву в системі можна знайти за допомогою рівняння:

$$y_{summ} = y_x + y_z = \sum y_{xi} \times \Delta t_i + \sum y_{zi} \times \Delta t_i \quad (2.9)$$

На основі цих рівнянь можна прогнозувати траєкторію руху матеріалу, визначити час перебування матеріалу в зоні диску, а також прогнозувати швидкість зсуву і сумарної накопиченої деформації по всій області дискового зазору.

Отримані результати представлені у вигляді графічних залежностей розподілу параметрів уздовж ширини зазору.

Як емпіричні дані для визначення оптимальних робочих параметрів дискового екструдера було використано номограму для розрахунків. [15]

У таблиці 2.2 наведено дані, отримані шляхом підстановки експериментально визначених параметрів дискового екструдера в описану вище систему рівнянь.

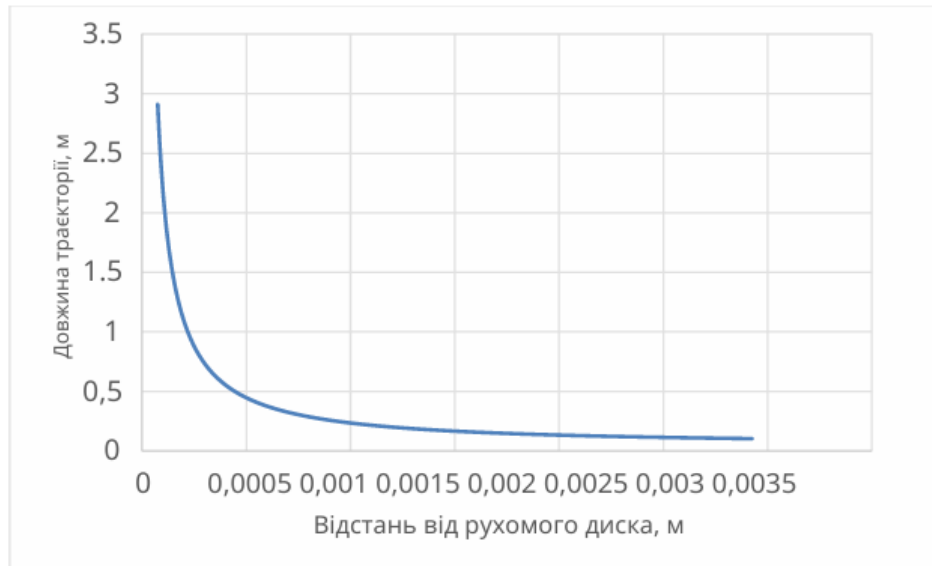


Рисунок 2.7 – Графік залежності довжини траєкторії частинки від відстані до рухомого диска під час її руху у зазорі черв'ячного екструдера при $R=0,065\text{м}$, $r=0,005\text{м}$, $W=7,928 \cdot 10^{-6}\text{м}^3/\text{с}$, $H=3 \cdot 10^{-3}\text{м}$, $n=0,318\text{с}^{-1}$

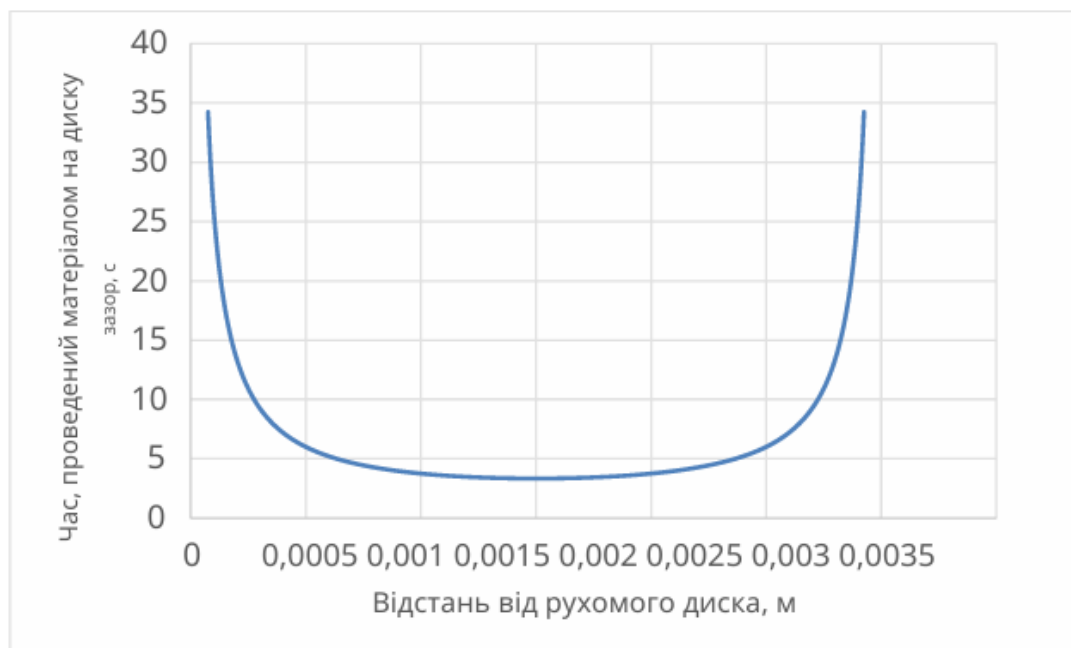


Рисунок 2.8 – Графік залежності часу перебування матеріалу в дисковому зазорі від відстані рухомого диска під час руху в зазорі диска черв'ячно-дискового екструдера при $R=0,065\text{м}$, $r=0,005\text{м}$, $W=7,928 \cdot 10^{-6}\text{м}^3/\text{с}$, $H=3 \cdot 10^{-3}\text{м}$, $n=0,318\text{с}^{-1}$

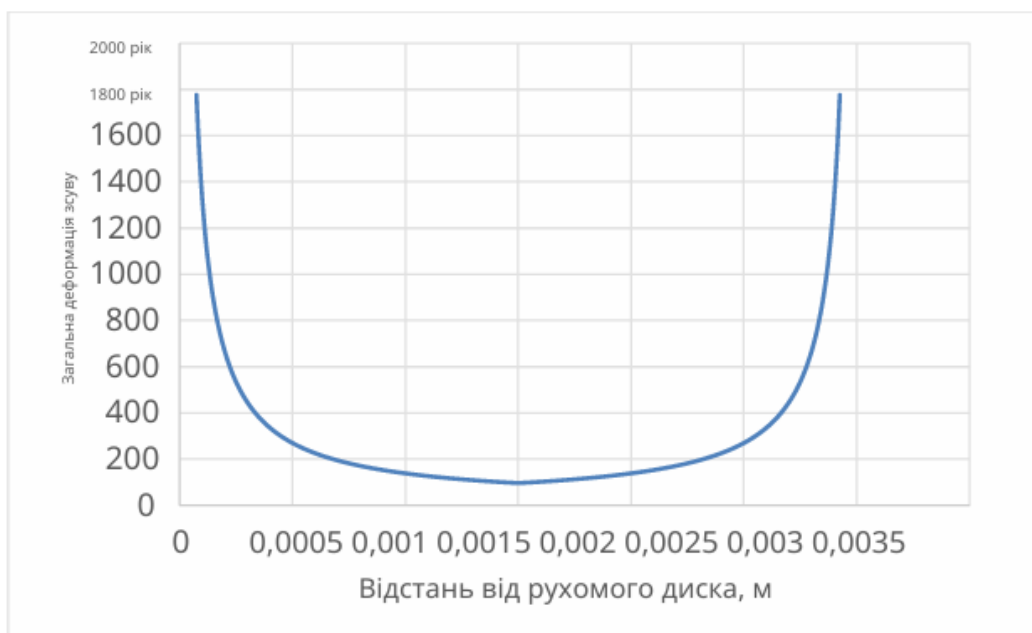


Рисунок 2.9 – Графік залежності загальної деформації зсуву від відстані від рухомого диска при $R=0,065\text{м}$, $r=0,005\text{м}$, $W=7,928 \cdot 10^{-6}\text{м}^3/\text{с}$, $H=3 \cdot 10^{-3}\text{м}$, $n=0,318\text{с}^{-1}$

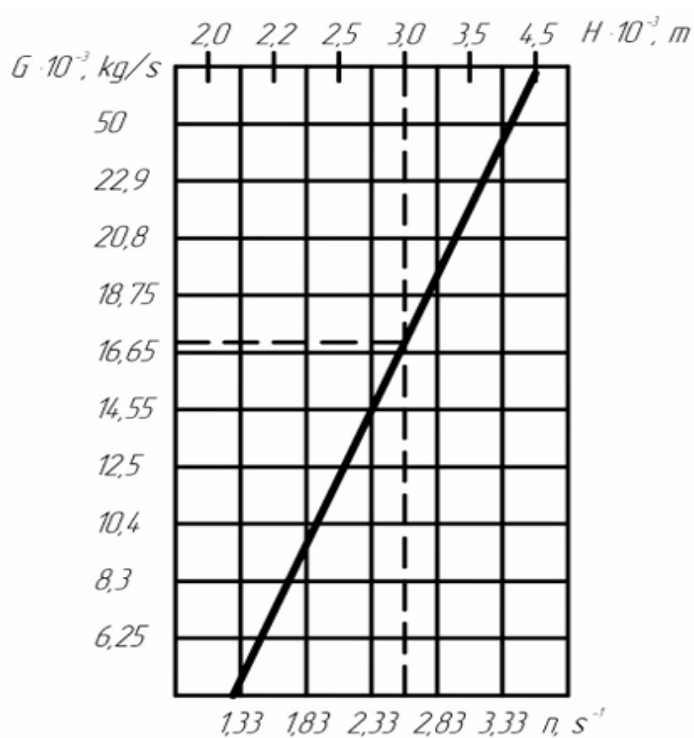


Рисунок 2.10 – Номограма для визначення оптимальних технологічних параметрів двошлінного дискового екструдера для обробки ПВД марки 15802-020

Значення накопиченої деформації зсуву при параметрах, визначених за номограмою

Таблиця 2.2 – Значення технологічних параметрів екструзії

Частота обертання шнека $n, \text{с}^{-1}$	Продуктивність $G \cdot 10^{-3}, \text{кг/с}$	Розрив між дисками $H \cdot 10^{-3}, \text{м}$	Накопичений зсув γ_{tot}
2,33	14,55	2,80	1497
2,57	17,00	3,00	1429
2,80	18,75	3,19	1418
3,03	20,80	3,41	1392

За оптимальних технологічних параметрів процесу розрахункове значення накопиченої деформації становить 1400-1500, тому подальший розвиток деформації зсуву в дисковому екструдері є недоцільним. Використовуючи розроблену модель для параметрів:

$$R = 0,087\text{м}, \quad r = 0,018\text{м}, \quad W = 2,91 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}, \quad n = 2,33 \text{ с}^{-1}$$

значення накопиченої деформації зсуву були розраховані залежно від величини зазору диска та частоти обертання. З графіків видно, що частота обертання робочого органу має більший вплив на величину накопиченої деформації зсуву, ніж величина зазору диска.

Залежність накопиченої деформації зсуву від величини зазору між дисками.

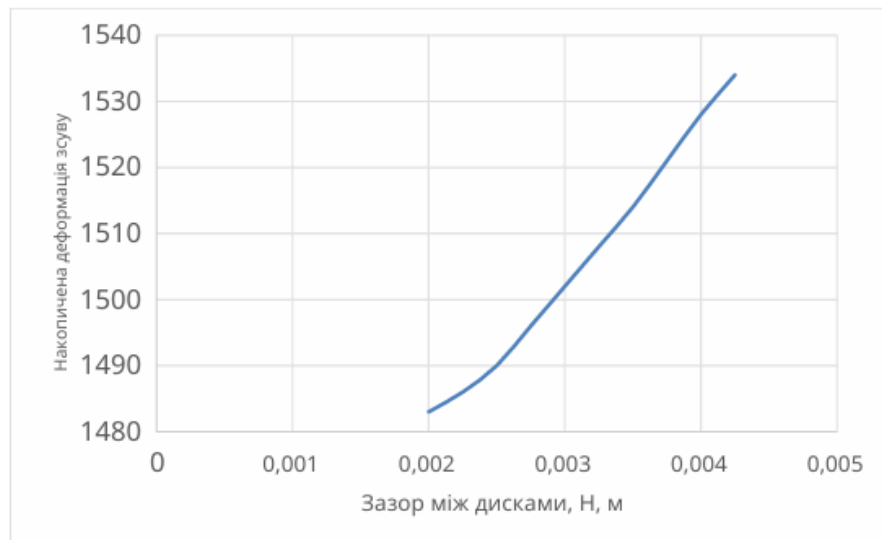


Рисунок 2.11 – Графік залежності накопиченої деформації зсуву від зазору між дисками

Таблиця 2.3 – Значення накопичення зсуву від зазору між дисками

Зазор між дисками, В, м	Накопичений зсув, γ_{tot}
0,002	1483
0,00225	1486
0,0025	1490
0,00275	1496
0,003	1502
0,00325	1508
0,0035	1514
0,00375	1521
0,004	1528
0,00425	1534

Залежність накопиченої деформації зсуву від швидкості обертання робочого тіла.

Таблиця 2.4 – Значення накопиченого зсуву при різних частотах обертання

Накопичений зсув	Частота обертання н, С-1
1315	2
1453	2,25
1591	2,5
1729	2,75
1867	3
2004	3,25

Таблиця 2.5 – Порівняльна характеристика шнекового і дискового екструдерів

Критерій	Шнековий екструдер	Дисковий екструдер
Основна сфера застосування	Масове виробництво (труби, плівки, профілі, листи)	Компаундування, переробка термочутливих пластиків, лабораторні дослідження
Габарити та металоемність	Великі (довгі циліндри та вали)	Компактні (короткі робочі органи)
Якість змішування	Від середньої до високої (залежить від типу шнека)	Відмінна (за рахунок високих напружень зсуву)
Ризик деструкції матеріалу	Вищий (довгий термічний вплив)	Мінімальний (короткий термічний вплив)
Знос робочих елементів	Рівномірний по довжині, легше піддається відновленню	Високий локальний знос дисків у зоні максимального зсуву

У результаті порівняльного аналізу встановлено, що шнекові екструдери є більш універсальними та придатними для великосерійного виробництва, тоді як дискові екструдери забезпечують кращу якість змішування і менший термічний вплив на матеріал. Враховуючи сукупність технічних характеристик, для більшості промислових застосувань перевагу доцільно надавати шнековим екструдерам. Розроблена в попередніх розділах система керування забезпечує можливість керування як дисковим, так і шнековим екструдером.

3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Налаштування параметрів керування для оптимізації роботи системи керування

Екструдери зазвичай оснащені регуляторами температури. Значення температури зчитуються з термопар, тоді як керування нагрівальними елементами реалізується за допомогою твердотільних реле або електромагнітних контакторів. Для контролю температури зазвичай використовується простий та ефективний алгоритм керування ПІД (пропорційно-інтегрально-диференціальний), а на вихідні сигнали контролера накладається широтно-імпульсна модуляція (ШІМ) для вмикання твердотільного реле. У одношнековому екструдері зони I, II та III типу (транспортування твердих матеріалів, плавлення та дозування) оснащені як електричним нагрівом, так і охолодженням за допомогою обдуву холодним повітрям за рахунок системи вентиляції, тоді як інші зони оснащені лише нагрівом, тому вихід контролера має діапазон $[-100, 100]$ для перших трьох зон (мінусове значення – вмикання охолодження) та $[0, 100]$ для інших.

Виходи контролера для комбінованого нагрівання та охолодження показано на рис. 3.1а.

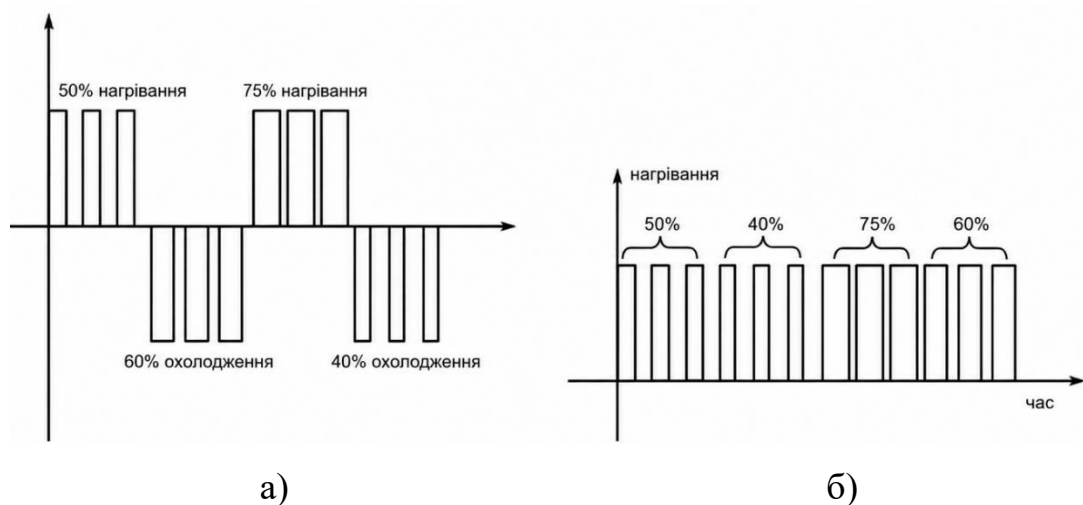


Рисунок. 3.1 – Реалізація ПІД-керування за допомогою широтно-імпульсної модуляції (ШІМ)

Якщо вихідний сигнал має додатне значення, наприклад +50%, це означає, що час увімкнення нагрівальних елементів становить половину тривалості циклу керування, а решту часу перебувають у вимкненому стані. У результаті досягається подача 50% від максимально можливої теплової потужності.

У випадку від'ємного значення вихідного сигналу, наприклад –60%, активується система охолодження. При цьому вентилятор працює протягом 60% часу циклу, що відповідає використанню близько 60% максимальної потужності охолодження.

В параметрах, які реалізують лише функцію нагрівання, формується вихідний сигнал який обмежується додатними значеннями, не використовуючи від'ємний діапазон. У такому випадку коефіцієнт заповнення широтно-імпульсної модуляції безпосередньо визначає час включення. Вихідний сигнал подається на твердотільне реле, яке вмикає нагрівальний елемент відповідної температурної зони, рис. 3.1б.

Крім того, виходи керування зазвичай доступні через цифрові інтерфейси (наприклад, послідовний зв'язок RS-422 або шина CAN) або аналогові канали (наприклад, струм 4–20 мА або напруга 0–10 В). Відповідно, знаючи вихідні сигнали контролера та пов'язані з ними рівні потужності нагрівальних і охолоджувальних елементів, можна визначити споживання енергії у вигляді

$$P_{thermal} = \sum_{i=1}^5 p_i u_i \quad (3.1)$$

$$p_i = \begin{cases} P_{heating} & u_i \geq 0 \\ P_{cooling} & u_i < 0 \end{cases} \quad (3.2)$$

де p_i , ($i = 1, \dots, 5$) позначає i -ту потужність нагрівального або охолоджувального елемента, u_i — вихід i -ї зони терморегулювання.

На рис. 3.2 наведено порівняння результатів вимірювання енергоспоживання та розрахункових значень із використання запропонованого методу. Аналіз графіків показує, що протягом перших п'яти хвилин роботи значення, отримані розрахунковим шляхом, практично збігаються з

експериментальними даними. Після завершення початкового етапу нагрівання спостерігається незначне перевищення розрахованих значень над виміряними.

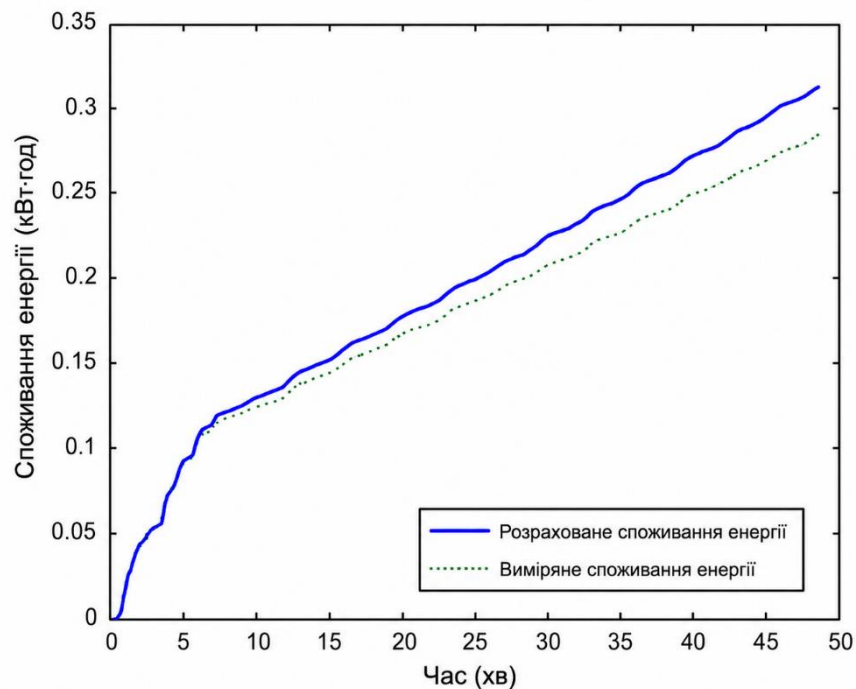


Рисунок 3.2 – Порівняння вимірянних та розрахункових значень споживання енергії

Основною причиною такої різниці є відмінність у частоті дискретизації даних. На початковому етапі процесу, коли нагрівальні елементи працюють на максимальній потужності, результати обох методів добре узгоджуються між собою, що підтверджується характером зміни кривої на рис. 3.2.

Після досягнення робочої температури система переходить у режим підтримання заданих параметрів, при якому вихідні сигнали контролера безперервно змінюються в межах діапазонів від безперервно змінюються в межах $-100...+100\%$ або $0...100\%$.

Запропонований метод забезпечує контроль енергетичних витрат окремо для кожної зони нагрівального процесу. На рис. 3.3 показано споживання теплової енергії для кожної зони вздовж екструдера. Відповідно до отриманих даних, зона 1 споживає майже половину загальної теплової енергії. Це спричинено поглинанням теплової енергії пластиковими гранулами під час

проходження через зону 1. На основі проведених спостережень можна очікувати, що теплоізоляційна пластина між зоною 1 та зоною подачі забезпечить помітне зниження загального енергоспоживання.

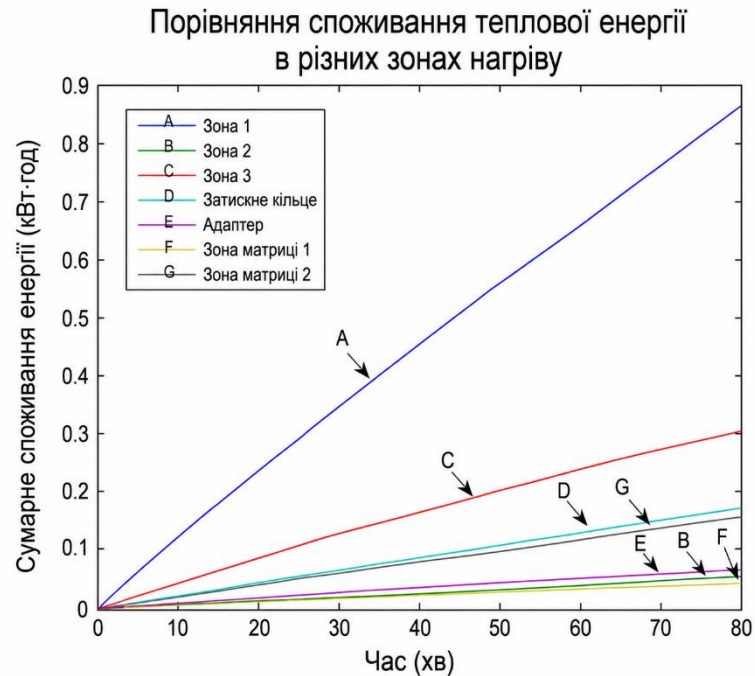


Рисунок 3.3 – Порівняння споживання теплової енергії в різних зонах нагріву (поліетилен низької щільності), оброблявся зі швидкістю 10 об/хв, температура становила 170–180–190–190–190–190–190 °С від зони 1 до кінця екструдера)

Система керування електроприводом також використовує ПІД-керування, реалізоване за допомогою ШІМ, сигнал якого передається на частотний перетворювач. Швидкість обертання вимірюється тахометром, а вихід контролера використовується для керування частотним перетворювачем.

Для обертання шнеку використовується асинхронний електродвигун – IC416 з частотним перетворювачем Schneider Electric Altivar ATV930.

Зазвичай, швидкість обертання пропорційна частоті напруги двигуна, а крутний момент пропорційний струму, який протікає в обмотках статора.

Встановлення додаткового вимірювача потужності на лінії живлення приводу двигуна дозволяє вивчити споживання приводом енергії для

забезпечення роботи екструдера. Для аналізу доцільно використовувати показник повної (видимої) споживаної потужності замість активної.

Шляхом подальшого аналізу даних можна побачити, що добуток напруги та струму має нелінійну залежність від споживання активної потужності. Використовуючи поліноміальну модель другого порядку, можна спостерігати ідеальне наближення (рис. 3.4).

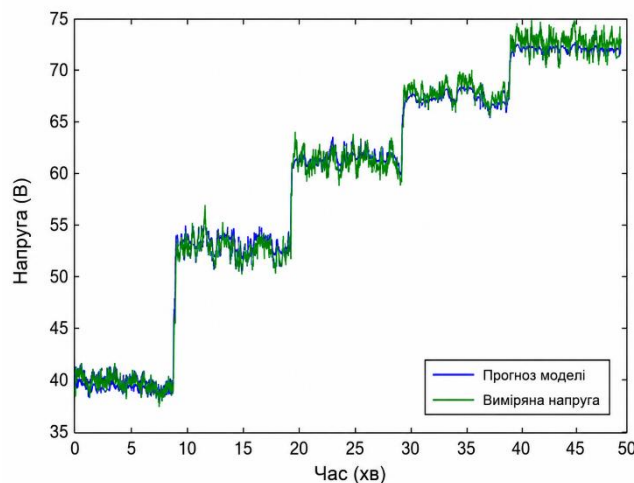


Рисунок 3.4 – Апроксимація напруги в обмотках двигуна за допомогою лінійної поліноміальної моделі $V_a = 8,785I_a + 0,0038N$, де N швидкість гвинта.

Проте визначення повної потужності прямим вимірюванням вимагає встановлення дороговартісних датчиків. Однак її можна отримати шляхом добутку активної потужності та коефіцієнта потужності (КП), де останній має лінійну залежність від швидкості гвинта. Рис. 3.5 ілюструє здатність лінійної моделі адаптуватись до даних. Варіації вихідних даних можна розглядати як вимірювальний шум.

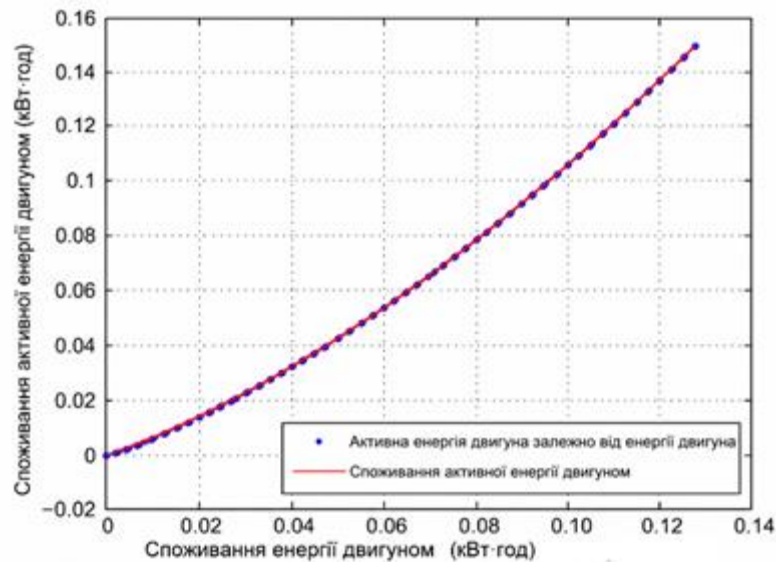


Рисунок 3.5 – Апроксимація споживання активної енергії приводом двигуна за допомогою поліноміальної моделі 2-го порядку $y = 3,6x^2 + 0,71x$, значення R-квадрат дорівнює 1

На основі наведених графіків можна отримати повне уявлення про споживання потужності двигуном, включаючи повну потужність, активну потужність та коефіцієнт потужності. Отриманий моніторинг споживання енергії двигуном у режимі реального часу потім використовується для дослідження оптимальних робочих параметрів. Додатково редуктор, що передає крутний момент від електродвигуна до гвинта, є джерелом енергетичних втрат. Отже, за можливості рекомендується використовувати пряму гнучку муфту.

Таким чином доля споживання екструдером електроенергії розподіляється таким чином: привід двигуна близько 25%, нагрівні елементи 75%. Врховуючи такий розподіл, економію споживання електроенергії можна досягти за рахунок оптимізації роботи нагрівних елементів. Ключовими регульованими змінними є температура нагрівання циліндра та матриці, температура охолодження водою в зоні подачі та швидкість шнека. Усі експерименти (табл. 3.1) були проведені на одношнековому екструдері Killion KTS-100, а як основний тестовий матеріал використовувався LDPE (поліетилен низької щільності) 2102TN00W від SABIC. В'язкість вимірювалася за допомогою щілинної фільєри з великим співвідношенням ширини до висоти.[10].

Таблиця 3.1 – Вплив заданої температури циліндру шнеку на споживання енергії

Задана температура циліндра	ЗОНА А	ЗОНА В	ЗОНА С
Задана температура циліндра	Низька	Середня	Висока
Загальна теплова енергія (кВт-год)	0,230	0,510	1,006
Питома теплова енергія (кВт-год/кг)	0,740	1,151	1,831
Питома механічна енергія (кВт-год/кг)	0,485	0,651	0,831
Питомий коефіцієнт екструзії	0,569	0,592	0,812
Коефіцієнт потужності двигуна	0,419	0,412	0,408
Зона 1: питомий тепловий режим	0,410	0,307	0,357
Загальна СЕК (кВт-год/кг)	0,822	0,956	1,237
Питома СЕК (кВт-год/кг)	0,404	0,430	0,504
Питома СЕК (кВт-год/кг)	0,326	0,347	0,325

Температурний діапазон для плавлення полімеру може становити на 50°C вище від точки плавлення. Занадто низька температура нагріваного елементу призведе до того, що пластикові гранули не будуть належним чином розплавлені, і знадобиться більше в'язкісного нагрівання, що призведе до більшого споживання енергії двигуном. Навпаки, вища температура нагрівного елементу збільшує кількість енергії, що відводиться в навколишнє середовище. Таким чином, оптимальне налаштування не тільки економить енергію, але й покращує якість розплаву.

Температури експериментального нагрівача були встановлені на трьох різних рівнях: А (низький), В (середній) та С (високий), як показано в таблиці 3.1. Кожне випробування тривало близько 90 хвилин, протягом яких перші 30 хвилин були відведені для досягнення машиною точки рівноваги, а дані записувалися протягом решти 60 хвилин. Отримане загальне споживання теплової енергії, загальне споживання активної енергії екструдера, споживання активної енергії приводом двигуна, коефіцієнт потужності екструдера, коефіцієнт потужності приводу двигуна, частка споживання енергії зони 1 у загальному енергоспоживанні теплової енергії, а також загальні та питомі показники енергоспоживання.

Теплову енергію розраховували за даними контролерів температури, а загальне значення отримували шляхом підсумовування від зони 1 до адаптера. На рисунку 3.6 наведено загальне споживання теплової енергії для семи випробувань.

Дані таблиці 3.1 показують, що вищі налаштування температури циліндра призводять до вищого споживання теплової енергії, але нижчого споживання активної енергії двигуном. Однак загальне питоме споживання енергії збільшується за вищих температур нагрівання циліндра. Це вказує на перевагу роботи за нижчих температур нагрівання. Як видно з рис. 3.9, в'язкість суттєво знижується при підвищенні температури від низького до середнього рівня, тоді як різниця між середнім і високим нагріванням є менш вираженою. Крім того, в'язкість, стабільніша при вищій температурі нагрівача. Однак, ці коливання можуть бути спричинені відхиленням сигналу датчиків тиску. Тиск (у МПа) множиться на коефіцієнт 2×10^4 під час розрахунку в'язкості. Іншими словами, шум 0,001 МПа спричиняє похибку в'язкості 20 Па·с.

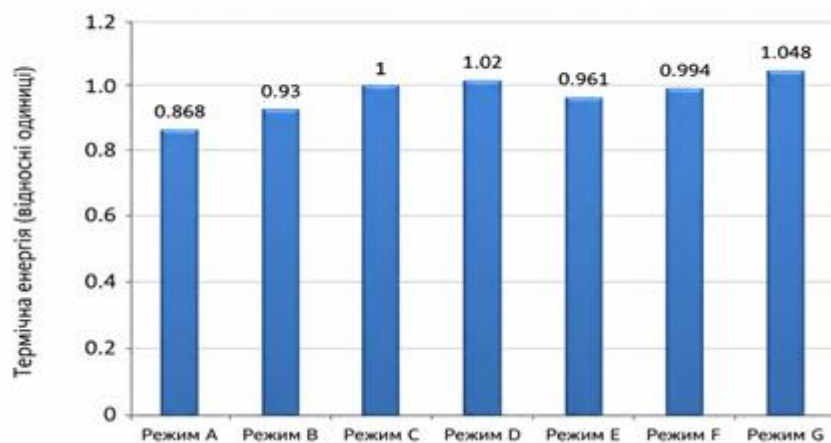


Рисунок 3.6 – Порівняння споживання теплової енергії в різних режимах роботи

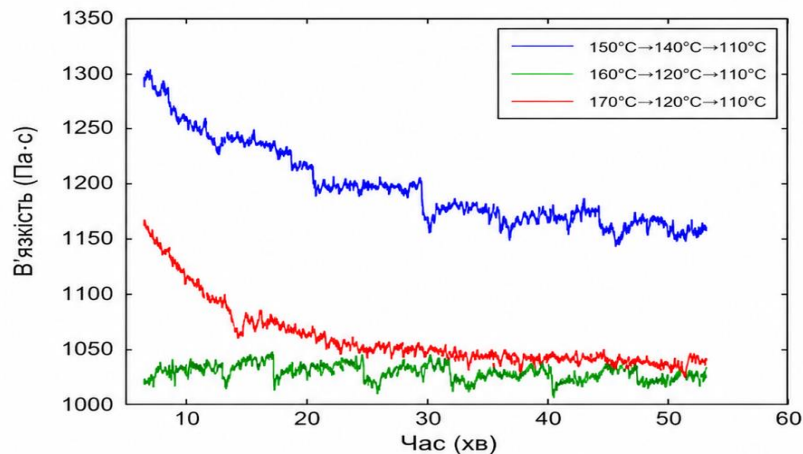


Рисунок 3.7 – Порівняння в'язкості при різних налаштуваннях нагріву циліндра

Невелике зниження споживаної потужності також можна спостерігати при збільшенні швидкості шнека. Що стосується якості розплаву, вона стабільніша за вищої швидкості шнека (Рис. 3.7). Це говорить про те, що швидкість шнека в процесі екструзії слід встановлювати якомога вищою, щоб досягти вищої продуктивності, кращої стабільності розплаву та вищої енергоефективності. Зокрема, збільшення швидкості обертання шнека з 20 до 40 об/хв забезпечує помітне скорочення витрат електроенергії та зменшення експлуатаційних витрат обладнання. Для одного екструдера річний економічний ефект є помітним, а при експлуатації декількох екструзійних ліній на виробництві сумарне скорочення витрат енергоресурсів стає значним. Це підтверджує доцільність застосування енергоефективних режимів керування процесом екструзії.

Під час регулювання температури води більш доцільним є врахування експлуатаційних характеристик охолоджувача, ніж екструдера. Крім того, на рис. 9 наведено, що як занадто низьке, так і занадто високе охолодження водою призводить до зниження в'язкості розплаву. Однак періодична зміна в'язкості може спостерігатися при вищій температурі охолодження. Це може бути спричинено раннім підвищенням температури гранул та невеликим утворенням корку з матеріалу всередині зони транспортування. Варто зазначити, що вищезазначені характеристики були отримані лише на екструдері KTS-100.

БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Вимоги охорони праці під час роботи з екструдером

1 Загальні вимоги безпеки.

1.1. До самостійного обслуговування обладнання лінії екструдування допускаються особи, не молодше 18 років, які пройшли медичний огляд, вступний інструктаж, первинний інструктаж на робочому місці, навчання професії в навчальному комбінаті, які пройшли стажування на робочому місці не менше 12–15 змін під керівництвом особи, призначеної наказом, що має необхідну підготовку і стаж роботи не менше 3-х років, які пройшли перевірку знань (допуск) кваліфікованої комісією підприємства.

1.2. Працівник повинен дотримуватися правил внутрішнього трудового розпорядку підприємства, виключити вживання алкогольних, наркотичних і токсичних засобів до і під час роботи. Куріння допускається тільки у встановлених місцях. Працівник повинен знати і виконувати вимоги безпеки при користуванні ліфтом. При ходьбі по сходах необхідно триматися за поручні. При знаходженні на території дотримуватися запобіжних заходів.

1.3. При обслуговуванні лини екструдування на працівника можуть впливати небезпечні і шкідливі виробничі фактори:

- Обертові деталі;
- Електричний струм;
- Шум.

1.4. Для забезпечення пожежо- і вибухобезпеки екструдерник здійснює контроль за режимом роботи обладнання (температура, тиск) виробляє своєчасну мастило підшипників, очистку магнітного захисту, контроль за натяжкою приводних ременів, за роботою засобів автоматизації та блокування.

1.5. У випадках травмування працівник чи очевидець повинен негайно повідомити про це начальника зміни або начальника цеху , який зобов'язаний організувати допомогу. У разі необхідності потерпілому повинна бути надана лікарська допомога. У разі виявлення несправностей обладнання, порушень технологічного процесу працівник повідомляє про це начальника зміни, начальнику цеху.

1.7. Працівник повинен вміти надати першу долікарську допомогу при нещасних випадках: накласти джгут при кровотечах, робити штучне дихання.

1.8. При виконанні роботи з обслуговування лінії екструдуювання працівник повинен дотримуватися правил особистої гігієни.

1.9. Працівник несе відповідальність за порушення вимог цієї інструкції в порядку, встановленому Правилами внутрішнього трудового розпорядку організації та чинним законодавством.

2 Вимоги безпеки перед початком роботи.

2.1. Уважно оглянути робоче місце і перевірити:

- Чи немає на робочому місці сторонніх предметів;
- Чи вільні проходи;
- Наявність необхідного інвентарю, інструментів, пристосувань.

2.2. Перевірити справність обладнання, температуру підшипників, електродвигунів, навантаження:

- Наявність і справність огорож приводів;
- Зовнішнім оглядом перевірити справність електроапаратури та приводів, засобів сигналізації;
- Справність електроосвітлення , засобів заземлення.

4.2 Вимоги безпеки під час виконання робіт з екструдером

Екструзійне обладнання належить до категорії машин підвищеної небезпеки, оскільки під час його роботи використовуються високі

температури, електрична енергія, обертові механізми та системи підвищеного тиску. Недотримання вимог безпеки може призвести до травмування персоналу, опіків, ураження електричним струмом, пошкодження обладнання або виникнення пожежі. Тому під час експлуатації екструдера необхідно суворо дотримуватись правил охорони праці та техніки безпеки.

1 Загальні вимоги безпеки

До роботи з екструдером допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли:

- медичний огляд;
- вступний та первинний інструктажі з охорони праці;
- навчання безпечним методам роботи;
- перевірку знань правил електробезпеки.

Працівник повинен знати:

- принцип роботи екструдера;
- правила користування аварійними вимикачами;
- порядок запуску та зупинки обладнання;
- способи надання першої домедичної допомоги.

Під час роботи оператор зобов'язаний використовувати засоби індивідуального захисту:

- спецодяг;
- захисні рукавиці;
- захисні окуляри;
- спеціальне взуття з неслизькою підошвою.

Робоча зона повинна бути:

- чистою;
- сухою;
- добре освітленою;
- обладнаною вентиляцією.

Забороняється:

- працювати на несправному обладнанні;
- виконувати ремонт під час роботи екструдера;
- залишати обладнання без нагляду;
- допускати до роботи сторонніх осіб.

2.2 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори

Під час роботи екструдера на працівника можуть впливати такі небезпечні фактори:

- висока температура нагрівальних елементів та розплавленого полімеру;
- рухомі частини механізмів;
- підвищений рівень шуму та вібрації;
- електрична напруга;
- можливе виділення шкідливих газів і парів при перегріванні полімерів;
- підвищений тиск у зоні екструзії.

Температура окремих зон екструдера може досягати 300 °C, тому існує небезпека отримання термічних опіків. Перегрів полімеру може супроводжуватись виділенням токсичних речовин, тому приміщення повинно бути обладнане ефективною вентиляцією.

2.3 Вимоги безпеки перед початком роботи

Перед запуском екструдера оператор повинен:

- перевірити справність обладнання;
- оглянути електропроводку та заземлення;
- перевірити роботу системи охолодження;
- переконатися у справності датчиків температури;
- перевірити наявність захисних кожухів;

переконатися у відсутності сторонніх предметів у робочій зоні.

Перед подачею сировини необхідно перевірити:

- рівень мастила у вузлах тертя;
- стан шнека та бункера;
- справність системи подачі матеріалу.

Пуск обладнання дозволяється лише після досягнення встановленої температури нагріву всіх зон екструдера.

2.4 Вимоги безпеки під час роботи

Під час роботи екструдера оператор повинен постійно контролювати:

- температуру нагрівальних зон;
- тиск у системі;
- швидкість обертання шнека;
- роботу системи охолодження.

Забороняється:

- торкатися нагрітих поверхонь без захисних рукавиць;
- відкривати захисні кожухи під час роботи;
- очищати шнек або сопло при ввімкненому обладнанні;
- перевищувати допустимі технологічні параметри.

Особливу увагу необхідно приділяти роботі системи охолодження. При її відмові можливий перегрів полімеру, що може призвести до:

погіршення якості продукції;
пошкодження обладнання;
займання полімерних матеріалів.

У разі виникнення сторонніх шумів, вібрації або запаху горілого необхідно негайно:

зупинити екструдер;
вимкнути електроживлення;
повідомити відповідальну особу.

2.5 Вимоги електробезпеки

Екструдер належить до електроустановок підвищеної небезпеки, тому:

- усі металеві частини повинні бути заземлені;
- електрощити повинні бути закриті;
- обслуговування електрообладнання повинно виконуватись лише кваліфікованим персоналом.

Забороняється:

- працювати з пошкодженими кабелями;
- торкатися електрообладнання мокрими руками;
- використовувати несправні електровимірювальні прилади.

У разі ураження людини електричним струмом необхідно:

- негайно вимкнути живлення;
- звільнити потерпілого від дії струму;
- викликати швидку допомогу;
- надати першу домедичну допомогу.

2.6 Пожежна безпека

Полімерні матеріали є горючими, тому під час роботи екструдера необхідно суворо дотримуватись правил пожежної безпеки.

У виробничому приміщенні повинні бути:

- порошкові або вуглекислотні вогнегасники;
- пожежна сигналізація;
- система вентиляції.

Забороняється:

- використовувати відкритий вогонь поблизу обладнання;
- зберігати легкозаймисті матеріали біля екструдера;
- перевантажувати електромережу.

2.7 Вимоги безпеки після завершення роботи

Після завершення роботи необхідно:

- вимкнути електроживлення;

- перекрити подачу сировини;
- очистити обладнання від залишків полімеру;
- перевірити стан системи охолодження;
- прибрати робоче місце.

Очищення екструдера дозволяється виконувати лише після повного охолодження нагрівальних елементів.

2.8 Дії в аварійних ситуаціях

У разі аварійної ситуації оператор повинен:

- негайно зупинити обладнання кнопкою аварійного вимкнення;
- повідомити керівника робіт;
- у разі пожежі викликати пожежну службу;
- організувати евакуацію персоналу при необхідності.

При виникненні пожежі електрообладнання забороняється використовувати воду. Для гасіння необхідно застосовувати порошкові або вуглекислотні вогнегасники.

Дотримання вимог безпеки під час роботи з екструдером забезпечує безпечні умови праці, знижує ризик аварій та підвищує надійність роботи обладнання.

4.3 Вимоги безпеки після закінчення робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування

Відключити (від'єднати) необхідне електрообладнання, електроінструмент від мережі.

Навести порядок на робочому місці, прибрати в спеціальні місця деталі, матеріал, сміття і відходи.

Прибрати у відведене місце весь інструмент і пристосування.

Зняти і прибрати спецодяг, ЗІЗ, ретельно помити руки.

Провести огляд робочого місця на відповідність його всім вимогам протипожежного захисту.

Повідомити своєму безпосередньому керівнику про недоліки і несправності, які були під час виконання роботи. Зафіксувати це в оперативному журналі.

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

У випадку пожежі:

вимкнути електричне обладнання, припливно-витяжну вентиляцію, якщо вона є;

повідомити в пожежну частину за телефоном 101 і доповісти про це своєму керівнику, а при його відсутності іншій посадовій особі;

приступити до ліквідації осередка загоряння, застосовуючи передбачені для цього засоби пожежогасіння. Виконувати гасіння електричного обладнання, що знаходиться під напругою, можна тільки вуглекислотними вогнегасниками типу ОУ або піском. Гасити їх водою або пінним вогнегасником забороняється.

Електрик повинен пам'ятати, що при раптовому відключенні напруги, вона може бути подана знову без попередження.

Слід швидко відключити механізми і пристрої:

- в разі раптового відключення електроенергії,;
- якщо подальша їх робота загрожує безпеці працівників;
- в разі відчуття дії електричного струму при торканні металевих частин пускової апаратури;
- в разі іскріння;
- при найменших ознаках загоряння, появи диму, запаху гару;
- якщо з'явився незнайомий шум.

У разі короткого замикання в мережі електроживлення необхідно знеструмити обладнання і повідомити своєму прямому керівнику.

Якщо сталося ураження електричним струмом, слід звільнити потерпілого від дії електричного струму, для чого відключити електричну мережу або від'єднати потерпілого від струмопровідних частин за допомогою діелектричних захисних засобів та інших ізолюючих речей і предметів (сухий одяг, суха жердина, прогумований матеріал і т. п.), або перерізати (перерубати) провід будь-яким інструментом з ізолюючою рукояткою, обережно, без додаткового нанесення травм потерпілому. До прибуття медпрацівника необхідно надати потерпілому першу допомогу.

При нещасних випадках (травмуванні людини) негайно повідомити про це безпосереднього керівника.

ВИСНОВКИ

В роботі було проведено порівняльний аналіз дискових і шнекових екструдерів. Це показало, що більш ефективними є шнекові. Вони забезпечують вищу точність дозування, стабільну подачу матеріалу та менше залежать від його фізичних властивостей. Дискові відрізняються простішою конструкцією, проте поступаються шнековим за точністю та стабільністю роботи.

Також було розроблено систему автоматизованого керування процесом екструзії полімерних матеріалів на базі програмованого логічного контролера Mitsubishi FX3G. Запропонований підхід дозволяє, прогнозувати зміни температурного профілю та забезпечувати більш точне регулювання параметрів екструзії.

Досліджено енергоефективність полімерного екструдера, яким чином можна покращити і оптимізувавши робочі налаштування. Це базується на моніторингу споживання енергії екструдером у режимі реального часу. Розроблено надійні та гнучкі підходи для отримання даних про споживання енергії, спричинене термічним нагріванням та приводом двигуна

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. А. Л. Келлі, Е. К. Браун, П. Д. Коутс. Вимірювання поля температури розплаву при одношнековій екструзії: вплив тиску розплаву та геометрії матриці // SPE ANTEC Technical Papers. – 2005. – № 1. – С. 291–295.
2. А. Л. Келлі, Е. К. Браун, П. Д. Коутс. Вплив геометрії шнека на профіль температури розплаву при одношнековій екструзії // Polymer Engineering and Science. – 2006. – Т. 46, № 12. – С. 1706–1714.
3. К. Вільчиський. Оцінка продуктивності шнека в одношнековому екструдері // Технологія та інженерія полімерних пластмас. – 1989. – Т. 28, № 7–8. – С. 671–690.
4. C. Rauwendaal, G. V. D. Sluis. Вплив поверхні шнека на продуктивність екструдера // SPE ANTEC Technical Papers. – 2004. – № 1. – С. 313–316.
5. Г. В. Гітшнер, Й. Латтербек. Вплив температури стінки барабана на коливання продуктивності розплаву в одношнековому екструдері // Kunststoffe – German Plastics. – 1984. – Т. 74, № 1. – С. 7–8.
6. А. К. Вуд, Р. Расід. Вплив змінних процесу на профілі швидкості розплаву в процесі екструзії з використанням одношнекового екструдера для пластмас // Plastics, Rubber and Composites. – 2003. – Т. 32, № 5. – С. 193–198.
7. Д. Г. Вайт, Н. Р. Шотт. Динамічні випробування системи екструзії пластмас // SPE ANTEC Technical Papers. – 1972. – С. 797–801.
8. В. Р. Фонтейн. Аналіз та моделювання динамічної поведінки пластифікуючого екструдера: дис. ... доктора філософії. – Огайо: Університет штату Огайо, 1975.
9. Д. Фінгерле. Автогенна система контролю температури розплаву для екструзії пластику // Journal of Elastomers and Plastics. – 1978. – Т. 10, № 4. – С. 293–310.

10. С. Дормайер. Цифрове керування температурою – спосіб покращення процесу екструзії // SPE ANTEC Technical Papers. – 1979. – С. 216–219.
11. К. Мюрер, К. Герреро, В. І. Паттерсон. Температурна поведінка екструдера // SPE ANTEC Technical Papers. – 1983. – С. 95–98.
12. Д. Чан, Л. Дж. Лі. Динамічне моделювання одношнекового пластифікуючого екструдера // SPE ANTEC Technical Papers. – 1984. – С. 77–80.
13. Д. Чан, Р. В. Нельсон, Л. Дж. Лі. Динамічна поведінка одношнекового пластифікуючого екструдера. Частина II: динамічне моделювання // Polymer Engineering & Science. – 1986. – Т. 26, № 20. – С. 152–161.
14. Р. В. Нельсон, Д. Чан, Б. Ян, Л. Дж. Лі. Динамічна поведінка одношнекового пластифікуючого екструдера. Частина I: експериментальне дослідження // Polymer Engineering & Science. – 1986. – Т. 26, № 20. – С. 144–151.
15. Дж. Парнабі, А. К. Кохр, Б. Вуд. Розробка стратегій комп'ютерного керування для екструдерів пластмас // Polymer Engineering & Science. – 1975. – Т. 15, № 8. – С. 594–605.
16. А. К. Кочхар, Дж. Парнабі. Динамічне моделювання та керування процесами екструзії пластмас // Automatica. – 1977. – Т. 13, № 2. – С. 177–183.
17. Г. А. Хассан, Дж. Парнабі. Модель оптимального стаціонарного адаптивного комп'ютерного керування процесами екструзії пластмас на основі опорних значень.
18. Д. Д. Гермуска, П. А. Тейлор, Дж. Д. Райт. Адаптивне та багатовимірне керування одношнековою екструзійною системою // Canadian Journal of Chemical Engineering. – 1984. – Т. 62, № 6. – С. 790–801.
19. К. М. Пассіно, С. Юркович. Нечітке керування. – Addison-Wesley, 1998.

20. Дж. С. Таур, К. В. Тао, К. К. Тасі. Контроль температури пластикового екструзійного барабана за допомогою нечітких контролерів з PID-регуляторами // Праці міжнародної конференції IEEE/IAS з промислової автоматизації та управління: новітні технології. – Тайбей, Тайвань, 1995. – С. 370–375.
21. Ц. К. Тасі, Ч. Х. Лу. Нечітке диспетчерське прогнозне ПІД-керування барабаном екструдера для пластмас // Journal of the Chinese Institute of Engineers. – 1998. – Т. 21, № 5. – С. 619–624.
22. І. Юсуф, Н. Іксан, Н. С. Герман. Контроль температури для пластикового екструдера з використанням нечітких генетичних алгоритмів // International MultiConference of Engineers and Computer Scientists. – Гонконг, 2010. – Т. 2. – С. 1075–1080.
23. С. Раві, П. А. Балакрішнан. Керування температурною реакцією екструзійної установки для пластику за допомогою Matlab/Simulink // International Journal of Emerging Trends in Engineering and Technology. – 2010. – Т. 3, № 4. – С. 135–140.
24. С. Раві, П. А. Балакрішнан. Стабільний самоналаштовувальний генетичний нечіткий регулятор температури для системи екструзії пластику // International Journal of Computer Reviews. – 2011. – Т. 5. – С. 21–
25. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П.Д. Стухляк, В.В. Пасічник Комп'ютерні мережі. Книга 1. [навчальний посібник] (Лист МОНУ №1/11-8052 від 28.05.12р.) - Львів, "Магнолія 2006", 2013. – 256 с.
26. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П.Д. Стухляк, В.В. Пасічник Комп'ютерні мережі. Книга 2. [навчальний посібник] (Лист МОНУ №1/11-11650 від 16.07.12р.) - Львів, "Магнолія 2006", 2014. – 312 с.
27. Микитишин А.Г., Митник, П.Д. Стухляк. Комплексна безпека інформаційних мережевих систем: навчальний посібник – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2016. – 256 с.

28. Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д. Телекомунікаційні системи та мережі : навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017 – 384 с.