

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра робототехніки, електроенергетики та автоматизації
ім. проф. Б.Б. Самотокіна

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи магістра
на тему: **«Проектування автоматизованої системи завантаження грануляту для термопластавтомата Arburg Allrounder 570»**

Виконав студент 2 курсу, групи АТ-29м
спеціальності 174 “ Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології
та робототехніка”


Суходоля Іван Сергійович

(прізвище та ініціали студента)

Керівник: к.т.н., доц. Крижанівська І.В.

(науковий ступінь, вчене звання, посада,
прізвище та ініціали)


Рецензент: к.т.н., доц., Чепюк Л.О

(науковий ступінь, вчене звання, посада,
прізвище та ініціали)

Житомир – 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”
Факультет комп’ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра робототехніки, електроенергетики та автоматизації
ім. проф. Б.Б. Самотокіна

Спеціальність 174 “Автоматизована система опалення з використанням надлишкового тепла”

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри робототехніки,
електроенергетики та автоматизації
ім. проф. Б.Б. Самотокіна
к.т.н., доц. Громовий О.А.

« 17 » жовтня 2025р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра

Студент _____ Суходоля Іван Сергійович

1. Тема роботи: Проектування автоматизованої системи завантаження грануляту для термопластавтомата Arburg Allrounder 570

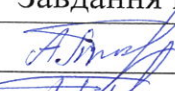
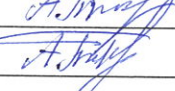
2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру «2» грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: матеріали звіту про переддипломну практику, технологічний процес лиття пластмас під тиском, будова та характеристики термопластавтомата Arburg Allrounder 570, властивості полімерного грануляту, параметри завантажувального бункера та потреба в подачі сировини, датчики й виконавчі механізми системи завантаження, мікропроцесорні засоби керування, вимоги до безперервності подачі грануляту, надійності та безпеки роботи системи.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці):
технічне завдання, огляд теоретичних основ автоматизації виробничих процесів, характеристика підприємства, аналіз технології лиття пластмас під тиском і принципу роботи термопластавтомата, огляд існуючих систем завантаження грануляту та обґрунтування способу автоматизації, розробка структурної схеми системи, вибір датчиків, виконавчих механізмів та елементів мікропроцесорної системи керування, розробка електричної принципової схеми й алгоритму керування подачею грануляту.

5. Перелік презентативного матеріалу (з точним визначенням обов'язкових слайдів/креслень): технологічна схема завантаження грануляту в термопластавтомат Arburg Allrounder 570, структурна схема автоматизованої системи, схема розміщення датчиків і виконавчих механізмів, електрична принципова схема, блок-схема алгоритму керування подачею грануляту, характеристики обраних датчиків, виконавчих механізмів та мікропроцесорних засобів керування.

6. Консультанти з кваліфікаційної роботи магістра із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1, 2, 3	Крижанівська І.В.		
4,5	Крижанівська І.В.		

7. Дата видачі завдання 22.09.2025

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підготувати звіт про переддипломну практику	<u>1 тиждень</u>	<u>виконано</u>
2.	Збір та аналіз джерел за темою роботи, огляд існуючих систем	<u>1 тиждень</u>	<u>виконано</u>
3.	Вибір і обґрунтування технічних та програмних засобів	<u>2 тиждів</u>	<u>виконано</u>
4.	Розробка структурної, функціональної та блок-схеми	<u>3 тиждів</u>	<u>виконано</u>
5.	Аналіз отриманих результатів	<u>4 тиждів</u>	<u>виконано</u>
6.	Оформлення пояснювальної записки та презентаційного матеріалу	<u>4 тиждів</u>	<u>виконано</u>

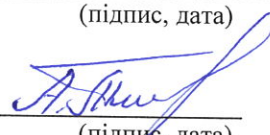
Студент


(підпис, дата)

І.С. Суходоля

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис, дата)

І.В. Крижанівська

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ	Стр.
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП	6
1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПОБУДОВИ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ	8
1.1. Роль автоматизації виробництва у технічному прогресі.....	8
1.2. Автоматизація управління виробничими процесами у діяльності машинобудівних підприємств	15
1.3. Загальна характеристика підприємства	23
2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ ІЗ ПЛАСТАМИ	29
2.1. Аналіз технологічного процесу лиття пластмас під тиском	29
2.2. Будова та принцип роботи термопластавтомата.....	34
2.3. Аналіз існуючих розробок та шляхів автоматизації	40
3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ	45
3.1. Структурна схема автоматизованої системи	45
3.2. Вибір датчиків та виконавчих механізмів	47
4. РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ	64
4.1. Вибір елементів мікропроцесорної системи керування подачею грануляту	64
4.2. Електрична принципова схема автоматизованої системи	73
5. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ РЕАЛІЗАЦІЇ ЗАКОНУ УПРАВЛІННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ	74
5.1. Алгоритму реалізації закону управління	75
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	68

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ СКОРОЧЕНЬ

ТАВ – термопластавтомат

АСУВ – автоматизована система управління виробництвом

САК – система автоматичного керування

ЧЕ – чутливий елемент

ТО – технологічне обладнання

ІС – інформаційна система

РТК – роботизований технологічний комплекс

ДШ – датчик швидкості

Д – двигун

ДТ – датчик тиску

ЗР – золотниковий розподільник

ДР – датчик рівня

ДТмп – датчик температури

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Сучасний розвиток промислового виробництва пластмасових виробів характеризується зростанням вимог до продуктивності, стабільності якості продукції, енергоефективності та рівня автоматизації технологічних процесів. Лиття пластмас під тиском є одним із найбільш поширених та економічно ефективних методів виготовлення деталей складної геометричної форми, що широко застосовується у машинобудуванні, приладобудуванні, електротехнічній, автомобільній та пакувальній галузях.

Одним із критичних етапів технологічного процесу лиття пластмас під тиском є подача та завантаження гранульованої сировини в термопластавтомат. У практиці багатьох підприємств цей процес все ще частково або повністю виконується вручну, що призводить до зниження продуктивності, нерівномірності подачі матеріалу, підвищення енерговитрат, а також негативного впливу людського фактору на стабільність виробничого процесу.

Термопластавтомати серії Arburg Allrounder, зокрема модель Arburg Allrounder 570, є високотехнологічним обладнанням, потенціал якого не завжди повною мірою використовується через недостатній рівень автоматизації допоміжних операцій. Впровадження автоматизованої системи завантаження грануляту дозволяє забезпечити безперервність подачі сировини, підвищити точність дозування, зменшити втрати матеріалу та покращити умови праці обслуговуючого персоналу.

У контексті сучасних тенденцій цифровізації виробництва та впровадження концепцій Industry 4.0, особливо актуальним є проєктування автоматизованих систем, що легко інтегруються з існуючим обладнанням, програмованими логічними контролерами та системами моніторингу. Розроблення автоматизованої системи завантаження грануляту для термопластавтомата Arburg Allrounder 570 відповідає цим вимогам та сприяє підвищенню техніко-економічних показників виробництва.

Таким чином, тема кваліфікаційної роботи магістра є актуальною з точки зору підвищення ефективності технологічного процесу лиття пластмас під тиском, зменшення впливу людського фактору, оптимізації енерговитрат та забезпечення сучасного рівня автоматизації промислового обладнання.

Метою дипломної роботи є розробка автоматизованої системи завантаження грануляту в термопластавтомат моделі Arburg Allrounder 570.

Відповідно до поставленої мети було визначено такі **завдання**:

- Проаналізувати технологічний процес лиття пластмас під тиском, визначити його технологічні особливості, основні переваги, недоліки та сфери застосування в сучасному промисловому виробництві.
- Дослідити конструкцію та принцип дії термопластавтомата Arburg Allrounder 570, з урахуванням його технічних характеристик, функціональних вузлів та режимів роботи.
- Виконати аналіз існуючих систем подачі та завантаження гранульованої сировини у термопластавтомати, а також визначити основні напрями підвищення рівня автоматизації процесу лиття пластмас під тиском.
- Обґрунтувати доцільність розроблення автоматизованої системи завантаження грануляту для термопластавтомата Arburg Allrounder 570 з урахуванням вимог продуктивності, енергоефективності та надійності.
- Розробити структурну схему автоматизованої системи завантаження грануляту, визначити склад та функціональні зв'язки між її основними елементами.
- Спроекувати електричну принципову схему системи, здійснити вибір та обґрунтування засобів автоматизації, зокрема датчиків, виконавчих механізмів, контролера та елементів силової частини.
- Розробити алгоритм функціонування автоматизованої системи завантаження грануляту, включаючи режими пуску, зупинки, аварійні та діагностичні режими роботи.

– Виконати необхідні інженерні розрахунки, зокрема розрахунок продуктивності системи завантаження, потужності електроприводів, елементів пневматичної або вакуумної системи та параметрів електроживлення.

Об'єктом дослідження є методи побудови автоматизованої системи завантаження грануляту в термопластавтомат моделі Arburg Allrounder 570.

Предметом дослідження є автоматизована система завантаження грануляту в термопластавтомат моделі Arburg Allrounder 570.

Практична цінність отриманих результатів. Практична цінність отриманих у магістерській роботі результатів полягає у можливості їх безпосереднього використання під час модернізації та автоматизації технологічних процесів лиття пластмас під тиском на промислових підприємствах. Розроблена автоматизована система завантаження грануляту для термопластавтомата Arburg Allrounder 570 може бути впроваджена у виробничих умовах без суттєвих змін конструкції базового обладнання. Запропоновані структурна та електрична принципова схеми, а також розроблений алгоритм роботи автоматизованої системи можуть бути використані як типові проєктні рішення для аналогічних термопластавтоматів середнього та великого класу. Виконаний вибір засобів автоматизації дає можливість адаптації системи до різних типів гранульованих матеріалів та виробничих режимів.

Структура та обсяг роботи. Дипломна робота складається із вступу, 5 основних розділів, переліку використаних літературних джерел та розміщена на 68 сторінках основного тексту. Містить 29 рисунків, 10 таблиць. Кількість інформаційних джерел містить 15 найменувань.

1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПОБУДОВИ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

1.1. Роль автоматизації виробництва у технічному прогресі

Автоматизація виробництва є одним із визначальних чинників технічного прогресу, оскільки саме вона забезпечує перехід від традиційних трудомістких технологій до високопродуктивних, стабільних і керованих виробничих процесів. Упродовж розвитку промисловості автоматизація поступово еволюціонувала від окремих механізованих операцій до комплексних систем керування, що охоплюють усі етапи життєвого циклу продукції.

Ключовою особливістю автоматизованого виробництва є зменшення залежності результатів технологічного процесу від людського фактору. Це дозволяє досягати більш високої повторюваності параметрів, стабільної якості продукції та прогнозованості виробничих результатів. В умовах сучасної конкуренції саме ці характеристики стають вирішальними для забезпечення конкурентоспроможності підприємств.

Автоматизація також відіграє важливу роль у підвищенні ефективності використання ресурсів. Завдяки впровадженню автоматизованих систем керування з'являється можливість точного дозування матеріалів, оптимізації енергоспоживання та зменшення втрат сировини. Це має особливе значення для енергоємних і матеріаломістких виробництв, де навіть незначне підвищення ефективності призводить до суттєвого економічного ефекту.

Не менш важливим аспектом є вплив автоматизації на умови праці. Передача рутинних, фізично важких або потенційно небезпечних операцій автоматизованим системам знижує виробничі ризики, підвищує рівень безпеки та сприяє збереженню здоров'я персоналу. У результаті змінюється і характер праці: оператор переходить від виконання безпосередніх технологічних операцій до контролю, налаштування та аналізу роботи обладнання.

У контексті сучасного технічного прогресу автоматизація є основою для впровадження цифрових технологій, систем моніторингу та аналітики, а також концепцій інтелектуального виробництва. Інтеграція автоматизованих систем з програмними засобами керування та діагностики створює передумови для підвищення гнучкості виробництва, швидкої адаптації до змін номенклатури продукції та оперативного реагування на відхилення від заданих режимів.

Таким чином, автоматизація виробництва виступає не лише як засіб підвищення продуктивності, але й як стратегічний інструмент технічного прогресу, що визначає напрям розвитку сучасної промисловості. Її впровадження сприяє формуванню ефективних, безпечних та технологічно досконалих виробничих систем, здатних відповідати викликам сучасного індустріального середовища.

Автоматичні пристрої, що застосовуються у виробничій автоматизації, доцільно класифікувати за функціональним призначенням у структурі системи керування. Першу групу становлять вимірювальні пристрої та датчики, які забезпечують отримання інформації про стан технологічного процесу, параметри обладнання та властивості оброблюваного матеріалу. До них належать датчики положення, рівня, тиску, температури, швидкості та інші первинні перетворювачі, сигнали яких використовуються для подальшої обробки та прийняття керувальних рішень.

Другу групу утворюють виконавчі механізми, призначені для безпосереднього впливу на об'єкт керування відповідно до сформованих керувальних команд. До цієї категорії належать електричні, пневматичні та гідравлічні приводи, електромагнітні клапани, реле, серводвигуни та інші пристрої, що забезпечують переміщення, дозування або регулювання технологічних параметрів.

Окреме місце в автоматизованих системах займають пристрої керування, які здійснюють логічну та алгоритмічну обробку інформації, отриманої від датчиків, і формують сигнали керування для виконавчих механізмів. До таких пристроїв належать програмовані логічні контролери, промислові комп'ютери,

спеціалізовані контролери та вбудовані системи керування, що дозволяють реалізувати різні режими роботи, діагностику та захист обладнання.

Крім того, у складі автоматизованих систем використовуються пристрої відображення та взаємодії з оператором, зокрема панелі оператора, сигнальні індикатори та засоби візуалізації, які забезпечують контроль стану процесу та можливість оперативного втручання у разі необхідності. Сукупність зазначених пристроїв формує ієрархічну структуру автоматизованої системи, у якій кожен елемент виконує визначену функцію, забезпечуючи узгоджену та ефективну роботу виробничого процесу.

Напрямами модернізації виробничих систем у загальному вигляді є підвищення рівня автоматизації технологічних процесів, упровадження сучасних засобів керування та контролю, а також оптимізація використання матеріальних і енергетичних ресурсів. Особлива увага при цьому приділяється заміні застарілих елементів обладнання на більш ефективні та надійні технічні рішення.

Важливим напрямком модернізації є інтеграція окремих технологічних операцій у єдині автоматизовані комплекси, що дозволяє забезпечити узгоджену роботу обладнання, скоротити допоміжний час та підвищити стабільність виробничих показників. Поряд із цим здійснюється вдосконалення інформаційного забезпечення виробництва шляхом застосування систем моніторингу, діагностики та збору технологічних даних.

Не менш актуальним напрямком є підвищення гнучкості виробничих систем, що досягається завдяки використанню програмованих засобів керування та модульного принципу побудови обладнання. Це створює можливість швидкої адаптації виробництва до змін номенклатури продукції та режимів роботи без значних капітальних витрат.

Таким чином, модернізація виробництва спрямована на забезпечення його технологічної досконалості, економічної доцільності та відповідності сучасним вимогам промислового розвитку.

1.2. Автоматизація управління виробничими процесами у діяльності машинобудівних підприємств

Виробничі процеси машинобудівних підприємств відзначаються високою складністю, багаторівневою структурою керування та значною кількістю взаємопов'язаних технологічних операцій. У таких умовах автоматизація управління виробничими процесами є ключовим чинником підвищення ефективності, надійності та гнучкості функціонування виробничих систем, що відповідає профілю спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка».

Автоматизація управління на машинобудівних підприємствах реалізується шляхом створення автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУ ТП), побудованих на основі програмованих логічних контролерів, промислових мереж та комп'ютерних засобів візуалізації. Такі системи забезпечують збір, обробку та аналіз технологічної інформації в реальному часі, а також формування керувальних впливів відповідно до заданих алгоритмів.

Характерною особливістю сучасних АСУ ТП є їх ієрархічна структура, що включає рівні польових пристроїв, керування та диспетчеризації. На нижньому рівні функціонують датчики та виконавчі механізми, на середньому — програмовані логічні контролери, які реалізують логічні, регулюючі та діагностичні функції, а на верхньому — системи SCADA або HMI, що забезпечують моніторинг, архівацію даних та взаємодію з оператором.

Для машинобудівних підприємств особливо важливою є можливість інтеграції автоматизованих систем управління з комп'ютерно-інтегрованими технологіями виробництва. Це дозволяє реалізувати гнучке керування технологічними процесами, оперативне переналаштування обладнання та координацію роботи окремих виробничих модулів, зокрема роботизованих і автоматизованих вузлів.

Автоматизація управління сприяє підвищенню точності дотримання

технологічних режимів, зменшенню кількості відхилень та аварійних ситуацій, а також створює передумови для впровадження елементів інтелектуального виробництва. Застосування сучасних засобів автоматизації дозволяє здійснювати технічну діагностику, прогнозування відмов та оптимізацію роботи обладнання на основі аналізу виробничих даних [4].

SCADA-системи (Supervisory Control and Data Acquisition) є важливою складовою автоматизованих систем управління технологічними процесами, призначеною для оперативного контролю, збору та візуалізації технологічної інформації. У виробничих системах машинобудівних підприємств SCADA забезпечує централізований моніторинг стану обладнання, технологічних параметрів і режимів роботи в реальному часі.

Основною функцією SCADA-систем є відображення поточних значень параметрів, сигналізація про аварійні та передаварійні стани, а також архівація технологічних даних для подальшого аналізу. Завдяки цьому оператор отримує можливість своєчасно реагувати на відхилення від заданих режимів і приймати обґрунтовані керувальні рішення.

MES-системи (Manufacturing Execution System) займають проміжне положення між рівнем управління технологічними процесами та рівнем управління підприємством. Вони призначені для оперативного управління виробничими операціями, контролю виконання виробничих завдань і координації роботи обладнання, персоналу та ресурсів.

На машинобудівних підприємствах MES-системи забезпечують планування та диспетчеризацію виробничих процесів, облік випуску продукції, контроль якості та аналіз ефективності використання обладнання. Впровадження MES дозволяє узгодити реальні технологічні процеси з виробничими планами та забезпечити зворотний зв'язок між виробництвом і управлінським рівнем.

OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) є універсальним стандартом обміну даними між різними рівнями автоматизованих систем управління. Його використання забезпечує уніфікований, захищений і

масштабований обмін інформацією між датчиками, контролерами, SCADA- та MES-системами незалежно від виробника обладнання.

Особливістю OPC UA є підтримка об'єктно-орієнтованої моделі даних, що дозволяє передавати не лише значення параметрів, але й їх структуру, взаємозв'язки та метадані. Це спрощує інтеграцію різнорідних компонентів автоматизованих систем та підвищує їх взаємну сумісність.

У виробничих системах машинобудівних підприємств застосування OPC UA створює передумови для побудови відкритих та гнучких архітектур керування.

1.3. Загальна характеристика підприємства

ІП «Євроголд Індестріз ЛТД» — це українське підприємство з іноземним статусом, яке зареєстроване як юридична особа в Україні (рис. 1.1). Компанія була створена 06 листопада 2002 року та має юридичну адресу: м. Житомир, вул. Промислова, буд. 1/154, 10025, Україна.



Рис. 1.1. ІП «Євроголд Індестріз ЛТД»

Основним видом діяльності підприємства відповідно до КВЕД є виробництво іншої продукції, не віднесеної до певних груп, однак асортимент діяльності включає передусім виробництво товарів повсякденного господарського призначення. Серед діяльностей також є виробництво виробів із

пластмас, текстильних готових виробів та металевих виробів різного призначення. Компанія має значний статутний капітал — понад 70 млн грн та надає контакти служб підтримки та зв'язку для клієнтів і партнерів. Підприємство відоме як виробник широкого спектру побутових товарів, що включають, зокрема, прасувальні дошки, сушарки для білизни, сходи-стрем'янки, відра та інший господарський інвентар, які присутні на ринку України та за її межами. Євроголд Індестріз ЛТД має розвинену систему збуту й експорту продукції до багатьох країн Європи та світу, співпрацює з міжнародними ритейлерами, а також активно розвиває свої дистрибуційні мережі. Компанія позиціонує себе як провідний виробник побутових товарів, що забезпечує якість, ефективність виробництва, репутацію на ринку та комфорт співпраці зі споживачами і партнерами.

Підприємство спеціалізується на випуску різноманітних побутових і господарських товарів, які користуються попитом як в Україні, так і за кордоном. Серед основних лінійок:

1. Побутове обладнання для дому

Прасувальні дошки — один із ключових напрямів виробництва та експорту продукції.

Сушарки для білизни — підлогові та настінні виконання для сушіння одягу.

Корзини та бокси для зберігання — контейнерні рішення для побутового використання.

2. Товари для дому та кухні

Посуд та контейнери для харчових продуктів — бокси з кришками, миски та інші аксесуари.

Відра для сміття та господарські відра — зручні моделі з кришками та ергономічною конструкцією.

3. Сходи та допоміжне обладнання

Драбини та стрем'янки — вироби з металу для побутового та професійного використання.

Полиці та вішаки — аксесуари для організації простору.

2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ ІЗ ПЛАСТАМИ

2.1. Аналіз технологічного процесу лиття пластмас під тиском

Лиття під тиском належить до періодичних технологічних процесів, для яких характерне циклічне повторення операцій у чітко визначеній послідовності. Кожен цикл включає однаковий набір технологічних дій, що виконуються за замкнутою схемою, завдяки чому процес відзначається стабільністю та передбачуваністю. Саме така структура створює сприятливі умови для впровадження автоматизації на різних рівнях керування.

Автоматизація процесу лиття під тиском може здійснюватися як із використанням відносно простих серійних технічних засобів, зокрема реле часу, регуляторів тиску та електронних потенціометрів, так і на основі сучасних вимірювальних датчиків, що перетворюють технологічні параметри у електричні сигнали. У поєднанні з програмованими логічними контролерами такі засоби дозволяють реалізувати складні алгоритми керування, забезпечити точне дотримання режимів роботи та підвищити загальну ефективність виробничого процесу.

Процес лиття під тиском найбільш широко застосовується для виготовлення виробів із термопластичних матеріалів. Формування виробів здійснюється під високим тиском, який зазвичай знаходиться в межах 80–140 МПа. Для цього використовуються ливарні машини поршневого або гвинтового (шнекового) типу, що характеризуються високим рівнем механізації та автоматизації основних технологічних операцій.

Ливарні машини забезпечують виконання повного комплексу операцій, необхідних для формування виробу. До них належать дозування гранульованої сировини, її нагрівання та переведення у в'язко-текучий стан, вприскування дозованої кількості розплаву у замкнену ливарну форму, витримка під тиском до завершення процесу охолодження і затвердіння матеріалу, розмикання форми та

виштовхування готового виробу. Узгоджена робота цих операцій є вирішальною для забезпечення стабільної якості продукції.

Під час заповнення ливарної форми розплавом полімеру тиск у її порожнині зростає поступово. У кінці стадії витримки під тиском його значення, як правило, становить близько 30–50 % від тиску впорскування. Розподіл тиску вздовж форми є нерівномірним, що пояснюється високою в'язкістю полімерного розплаву та її швидким збільшенням у процесі охолодження або затвердіння матеріалу. Зазначені особливості мають істотний вплив на формування виробу та повинні враховуватися під час проєктування й автоматизації технологічного процесу лиття під тиском.

Технологічний процес лиття виробів з термопластичних полімерів складається з таких операцій (рис. 2.1):

Технологічний процес лиття виробів із термопластичних полімерів являє собою сукупність взаємопов'язаних операцій, що виконуються у визначеній послідовності та утворюють замкнений виробничий цикл. Кожна з цих операцій має самостійне функціональне призначення та суттєво впливає на якість готового виробу. Загалом процес лиття виробів із термопластичних полімерів складається з таких основних етапів:

1. Підготовка сировини, що включає подачу, сушіння та дозування гранульованого термопластичного матеріалу з метою забезпечення стабільних фізико-хімічних властивостей полімеру перед переробкою.

2. Плавлення та пластикація матеріалу, під час яких гранулат під дією температури та механічного впливу в робочому циліндрі термопластавтомата переходить у в'язко-текучий стан, придатний для формування виробу.

3. Вприскування (інжекція) розплаву у замкнену ливарну форму, що здійснюється під високим тиском з метою повного та рівномірного заповнення порожнини форми.

4. Витримка під тиском, у процесі якої компенсуються усадкові явища матеріалу та забезпечується формування геометричних розмірів виробу відповідно до вимог конструкторської документації.

5. Охолодження та затвердіння виробу у ливарній формі до досягнення матеріалом необхідної механічної міцності.

6. Розмикання форми та виштовхування готового виробу, що завершує технологічний цикл лиття та дозволяє перейти до наступного циклу.

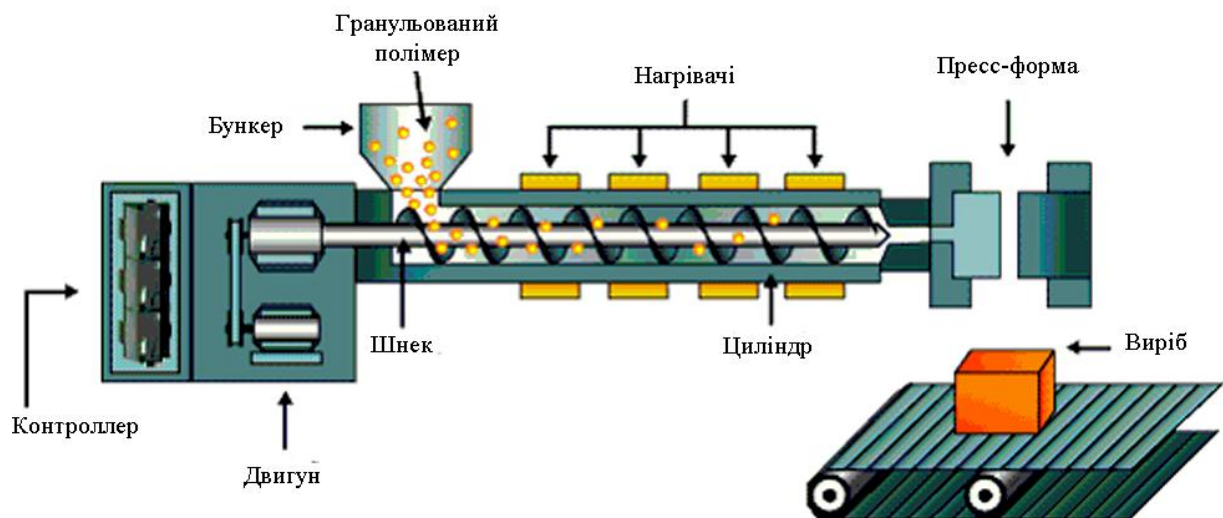


Рис. 2.1. Схема роботи ТАВ

Охолодження без прикладання додаткового тиску є завершальною стадією процесу формування структури виробу. На цьому етапі відбувається остаточне зниження температури полімерного матеріалу, стабілізація його внутрішньої структури та закріплення набутих геометричних і фізико-механічних властивостей. Саме під час цієї стадії формується кінцевий стан виробу, що визначає його експлуатаційні характеристики.

Після припинення дії тиску розплав полімеру продовжує охолоджуватися в порожнині ливарної форми або поза нею, залежно від конструктивних особливостей обладнання та технологічного режиму. При цьому можливі процеси вторинної усадки та внутрішніх напружень, величина яких суттєво залежить від швидкості охолодження, товщини стінок виробу та теплопровідності матеріалу форми.

Рациональний вибір режимів охолодження без тиску має важливе значення для забезпечення стабільності розмірів виробу, зменшення ймовірності деформацій та запобігання появі внутрішніх дефектів. Тому параметри цієї стадії повинні враховуватися під час проєктування технологічного процесу та автоматизованих систем керування литтям під тиском.

2.2. Термопластавтомат моделі Arburg Allrounder 570

Arburg Allrounder 570 – це універсальний термопластавтомат середнього класу, призначений для переробки термопластичних полімерів методом лиття під тиском. Машини серії Allrounder широко застосовуються в машинобудуванні, електротехнічній, автомобільній та побутовій промисловості завдяки високій надійності, точності та гнучкості налаштувань (рис. 2.2).



Рис. 2.4. Термопластавтомат моделі Arburg Allrounder 570

Конструктивно термопластавтомат Arburg Allrounder 570 складається з інжекційного вузла, вузла змикання форми, гідравлічної або електрогідравлічної системи приводу, системи керування та допоміжних механізмів. Інжекційний вузол шнекового типу забезпечує дозування, плавлення та вприскування

гранульованого матеріалу в ливарну форму, а також підтримання необхідних температурних і тискових режимів.

Вузол змикання форми гарантує надійну фіксацію ливарної форми під час інжекції та витримки під тиском, що є критично важливим для отримання виробів з високою точністю геометричних розмірів. Конструкція машини дозволяє використовувати різні типи форм і швидко переналаштовувати обладнання під зміну номенклатури виробів.

Керування термопластавтоматом здійснюється за допомогою сучасної системи керування Arburg, що забезпечує програмування режимів роботи, контроль основних технологічних параметрів та діагностику стану обладнання. Наявність інтерфейсів обміну даними дозволяє інтегрувати машину в автоматизовані виробничі лінії та комп'ютерно-інтегровані системи керування.

Завдяки високому рівню автоматизації Arburg Allrounder 570 забезпечує стабільність технологічного процесу, зменшення впливу людського фактора та підвищення продуктивності виробництва. Це робить дану модель доцільною базою для впровадження автоматизованих систем подачі та завантаження гранульованої сировини.

Таблиця 2.1

Основні технічні характеристики термопластавтомата Arburg Allrounder 570

Параметр	Значення
Тип машини	Термопластавтомат шнекового типу
Серія	Arburg Allrounder 570
Зусилля змикання форми	1 800 – 2 000 кН
Відстань між плитами (макс.)	650 – 700 мм
Хід рухомої плити	до 650 мм
Максимальні розміри форми	приблизно 570 × 570 мм
Тип інжекційного вузла	Шнековий
Діаметр шнека	40 – 50 мм
Об'єм упорскування	200 – 300 см ³
Маса впорскування (PS)	до 260 г
Максимальний тиск упорскування	до 2 000 бар

Кількість зон нагріву	4–5
Температура переробки полімерів	до 300 °C
Тип приводу	Гідравлічний / електрогідравлічний
Система керування	ARBURG Selogica
Можливість інтеграції автоматизації	Підтримка I/O, OPC UA

Ефективність роботи термопластавтомата Arburg Allrounder 570 значною мірою визначається стабільністю та безперервністю подачі гранульованої сировини до інжекційного вузла. Для забезпечення цих умов у складі виробничої системи застосовується автоматична система подачі грануляту, яка функціонує у тісній взаємодії з обладнанням лиття під тиском.

Автоматична система подачі грануляту, як правило, включає бункер для зберігання матеріалу, вакуумний або пневматичний транспортер, дозуючі елементи та систему контролю рівня. Гранульований полімер подається з центрального або локального бункера до приймального бункера термопластавтомата, звідки він надходить у зону пластикації шнекового вузла.

Взаємодія між системою подачі грануляту та термопластавтоматом здійснюється через сигнали керування та зворотного зв'язку. Датчики рівня матеріалу, встановлені у приймальному бункері Arburg Allrounder 570, формують сигнали про мінімальний або максимальний рівень грануляту. На основі цих сигналів програмований логічний контролер автоматичної системи подачі запускає або зупиняє процес транспортування сировини.

Керування автоматичною подачею грануляту може бути інтегроване в систему керування термопластавтомата або реалізоване через окремий контролер з обміном даними за допомогою цифрових входів/виходів або промислових протоколів зв'язку. Такий підхід забезпечує синхронізацію подачі матеріалу з режимами роботи інжекційного вузла та дозволяє уникнути перевантаження або простою обладнання через нестачу сировини.

Застосування автоматичної системи подачі грануляту у поєднанні з Arburg Allrounder 570 сприяє зменшенню впливу людського фактора, стабілізації

параметрів процесу пластикації та підвищенню повторюваності якості виробів. Крім того, автоматизована подача дозволяє покращити умови праці персоналу та підвищити загальну ефективність виробничого процесу лиття під тиском.

2.3. Аналіз існуючих розробок та шляхів автоматизації

Системи автоматичного керування електроприводами характеризуються значною різноманітністю та можуть бути систематизовані за низкою класифікаційних ознак. Однією з найбільш узагальнених і водночас інформативних є класифікація за характером наявної інформації та принципом її використання. Відповідно до цього підходу всі системи автоматичного керування поділяють на два основні класи: системи з повною та системи з неповною початковою інформацією.

У системах автоматичного керування з повною початковою інформацією наявні дані є достатніми для коректного проектування, налаштування та функціонування системи протягом усього нормативного терміну експлуатації. Такі системи здатні забезпечувати стабільну роботу об'єкта керування за номінальних умов без необхідності суттєвого коригування алгоритмів у процесі експлуатації.

На відміну від цього, у системах із неповною початковою інформацією вихідні дані не дозволяють однозначно визначити оптимальні керувальні впливи на всіх режимах роботи. У таких системах виникає потреба в обробці додаткової інформації, що надходить у процесі функціонування, з урахуванням зміни зовнішніх умов, параметрів об'єкта керування та регулятора, а також наявності випадкових процесів і логічних задач. Оптимальні рішення в цьому випадку формуються на основі аналізу робочої інформації з використанням сучасних обчислювальних засобів.

Традиційні системи автоматичного керування також класифікують за принципами формування керувального сигналу. Зокрема, розрізняють системи керування за відхиленням, у яких керувальна дія формується на основі різниці

між заданим і фактичним значенням параметра; системи керування за збуренням, що реагують на зовнішні впливи; а також комбіновані системи, які поєднують обидва підходи. За структурною побудовою системи можуть бути розімкненими або замкненими, із постійною чи змінною структурою.

Залежно від характеру виконуваних функцій серед замкнених систем автоматичного керування виділяють системи стабілізації, призначені для підтримання заданих значень напруги, потужності, швидкості або температури; програмні системи, які реалізують заздалегідь визначені алгоритми руху чи роботи обладнання; а також слідкуючі системи, що формують керувальні програми безпосередньо в процесі роботи відповідно до змін стану об'єкта.

До складу електромеханічних систем автоматичного керування та електроприводів входять перетворювальні, електродвигунні, передавальні та керуючі елементи. Перетворювальні пристрої електроприводів призначені для зміни параметрів електричної енергії, зокрема струму, напруги та частоти, з метою формування керувальної дії на електродвигун.

Залежно від функціонального призначення силові перетворювачі поділяють на регульовані та нерегульовані. Регульовані перетворювачі застосовують переважно в електроприводах із керуванням швидкістю або положенням, а також у випадках, коли необхідно покращити статичні та динамічні характеристики електропривода шляхом застосування замкнених систем керування. До регульованих належать керовані випрямлячі, інвертори, перетворювачі постійної напруги та перетворювачі змінної напруги з регульованими вихідними параметрами.

Нерегульовані перетворювачі використовуються здебільшого для узгодження параметрів мережі живлення та споживачів, а також для покращення якості електричної енергії. Прикладами таких пристроїв є некеровані випрямлячі, узгоджувальні трансформатори та нерегульовані перетворювачі частоти.

За принципом побудови перетворювачі поділяють на статичні, що не містять рухомих елементів, та електромашинні, у яких основними компонентами є обертові електричні машини постійного або змінного струму.

Порівняльний аналіз термопластавтоматів із гідравлічним і електричним приводом показує, що електроприводні ТПА мають низку суттєвих переваг. До них належать значно нижче енергоспоживання, що може забезпечувати економію електроенергії до 60 %, можливість експлуатації у стерильних приміщеннях завдяки відсутності масла, спрощена система керування та зменшена кількість функціональних вузлів. Крім того, електричні ТПА характеризуються високою швидкістю впорскування, скороченим часом сухого циклу, низьким рівнем шуму та високою точністю виготовлення дрібних деталей, що є критично важливим для електронної, медичної та оптичної промисловості.

Хоча повністю електричні термопластавтомати мають вищу вартість порівняно з гідравлічними аналогами, різниця в ціні поступово зменшується завдяки серійному виробництву та розвитку технологій. Перспективним напрямом розвитку ТПА є скорочення тривалості циклу за рахунок застосування окремих приводів для ключових вузлів машини, підвищення ефективності процесів пластикації та впорскування, а також використання енергетичних акумуляторів. Такі машини, відомі як високошвидкісні, особливо ефективні у масовому виробництві тонкостінних виробів і ПЕТ-преформ.

Провідні світові виробники, зокрема Husky, Netstal і Demag, досягли значних результатів у створенні високошвидкісних ТПА зі збільшеним зусиллям змикання, що дозволяє підвищити коефіцієнт використання обладнання та продуктивність виробництва. У ряді випадків такі машини можуть ефективно конкурувати з лініями вакуумного формування, зокрема під час масового випуску одноразового посуду та пакувальної продукції.

Активно розвивається напрям створення енергозберігаючих термопластавтоматів, у яких замість стандартних асинхронних двигунів використовуються синхронні серводвигуни зі змінною швидкістю обертання.

Застосування роторів із постійними магнітами зменшує пускові струми та підвищує динамічні характеристики приводів. Інтеграція шестерного насоса безпосередньо на валу серводвигуна знижує рівень шуму та підвищує надійність вузла. Для реалізації зворотних зв'язків у таких системах використовуються енкодери та датчики тиску, що забезпечує точне керування швидкісними та силовими параметрами.

Особлива увага приділяється захисту прес-форм, зокрема шляхом застосування активних систем контролю, п'єзоелектричних сенсорів та ультразвукових вимірювальних систем, які забезпечують високу швидкість реакції та точність контролю руху форм.

Еволюція виробничих процесів призвела також до автоматизації подачі гранульованого матеріалу. Якщо на початкових етапах обслуговування термопластавтоматів вимагало ручного завантаження грануляту, то сучасні виробництва оснащуються контейнерами та пневмотранспортними системами, які забезпечують автоматичну подачу матеріалу до сушок.

За способом формування повітряного потоку пневмотранспортні системи поділяють на всмоктувальні, нагнітальні, змішані та аераційні. У всмоктувальних системах вакуум-насос створює розрідження в трубопроводі, завдяки чому повітря захоплює частки матеріалу та транспортує їх до сушки, де відбувається розділення матеріалу та повітря. Нагнітальні системи працюють за принципом подачі стисненого повітря в трубопровід, у який матеріал вводиться через завантажувальний пристрій. Процес подачі автоматично регулюється за сигналами датчиків рівня, встановлених у сушці.

При експлуатації пневмотранспортних установок важливо запобігати переповненню бункерів, оскільки це призводить до зниження ефективності транспортування та можливого забруднення обладнання. Конструкція сушок повинна передбачати блокування подачі матеріалу при досягненні граничного рівня та забезпечувати надійне очищення повітря за допомогою фільтрів із зручним доступом до механізмів обслуговування.

3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

3.1. Структурна схема автоматизованої системи

Автоматизована система управління завантаженням грануляту (АСУ ЗГ) – мікропроцесорна система управління подачею грануляту.

Автоматизована система керування завантаженням грануляту призначена для забезпечення подачі гранульованого матеріалу в автоматичному режимі без участі оператора. Функціонування системи базується на використанні програмованого логічного контролера, який виконує роль центрального елемента керування та об'єднує у своїй структурі засоби формування керувальних впливів, обробки інформації та взаємодії із зовнішніми пристроями.

Контролер оснащений розвиненими інтерфейсами обміну даними та забезпечує роботу операторського інтерфейсу, реалізованого у вигляді інформаційного табло на основі семисегментних індикаторів, а також блоку введення команд і параметрів. Це дозволяє здійснювати контроль режимів роботи системи та оперативне налаштування технологічних параметрів.

Структурно автоматизована система керування завантаженням грануляту включає мікропроцесорний модуль, опори з силовим електрообладнанням, комплекс вимірювальних датчиків і виконавчих механізмів. Узгоджена робота зазначених елементів забезпечує стабільність процесу подачі матеріалу та надійність функціонування системи в цілому.

АСУ ЗГ забезпечує наступні функції:

- Керування дозатором ТАВ («пуск», «стоп»);
- Керування асинхронним двигуном через частотний перетворювач;
- Керування золотниковим розподільником ТАВ;
- Контроль за рівнем грануляту полімеру у бункері;
- Контроль швидкості обертання шнека;
- Контроль тиску розплавлення у ливниковій втулці;

- Контроль температури розплаву всередині ливарної форми;
- Контроль тиску, створюваного насосом.
- Автоматична реалізація циклу завантаження грануляту по заданій програмі;
- Редагування й завантаження програми, оперативна зміна параметрів процесу залежно від стану показів датчиків.

АСУ передбачає можливість роботи як у ручному, так і в повністю автоматичному режимі.

Структурна схема автоматизованої системи керування наведена на рис. 3.1

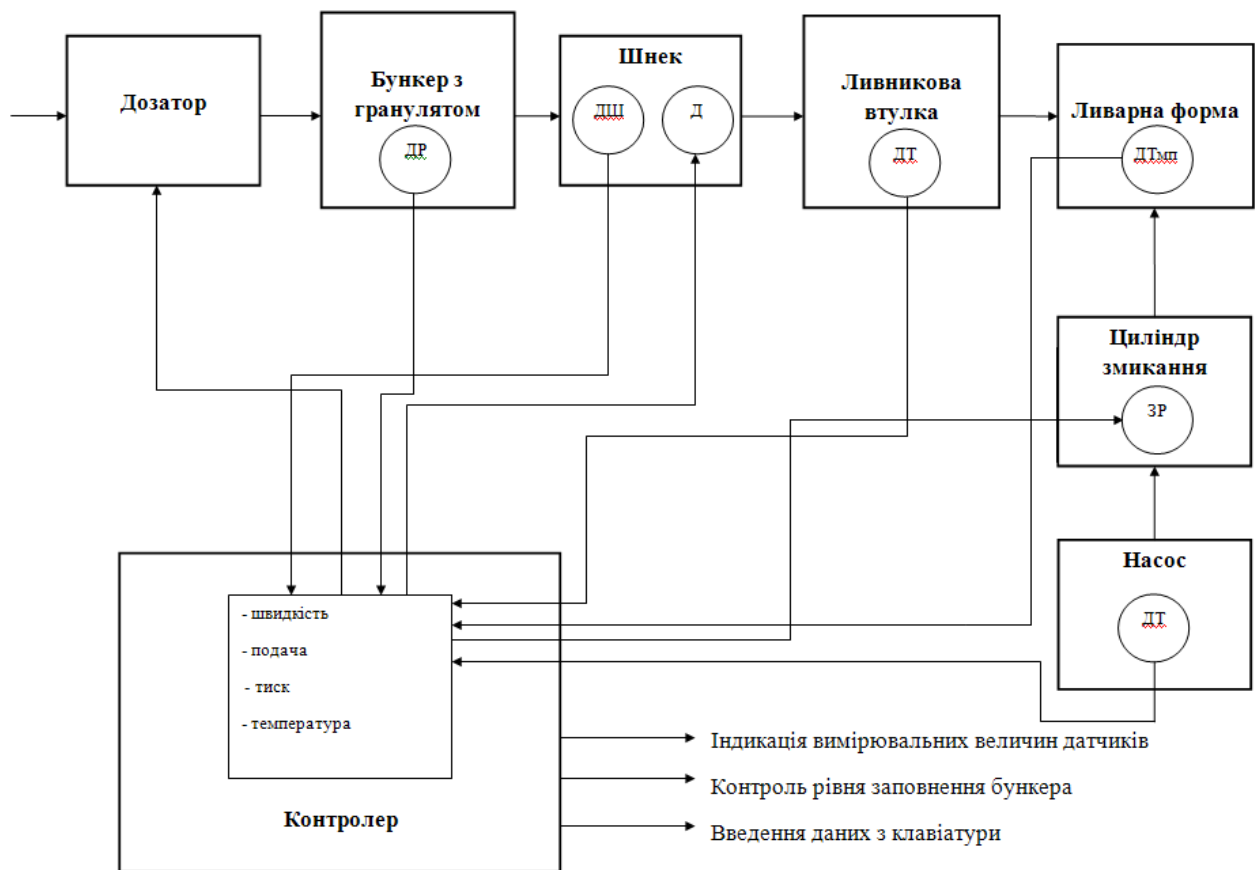


Рис.3.1. Структурна схема АСУ завантаженням грануляту в ТАВ: ДШ – датчик швидкості; Д – двигун; ДТ – датчик тиску; ЗР – золотниковий розподільник, ДР – датчик рівня, ДТмп – датчик температури

Подача гранульованого матеріалу здійснюється з дозувального пристрою до приймального бункера термопластавтомата. У бункері встановлено ємнісний

датчик рівня, призначений для контролю кількості матеріалу та запобігання його переповненню. Сигнал з датчика використовується системою керування для автоматичного регулювання процесу подачі грануляту, що забезпечує безперервність роботи обладнання та захист технологічного вузла від аварійних режимів.

Гранульований матеріал з бункера надходить у матеріальний циліндр, у якому розташований шнековий механізм. Шнек виконує функції транспортування, нагрівання та пластикації полімеру, переводячи його у в'язко-текучий стан, необхідний для подальшого формування виробу. Після завершення процесу пластикації розплав полімеру під дією керованого тиску впорскується в ливарну форму через ливникову втулку.

Контроль та регулювання параметрів упорскування здійснюється за допомогою комплексу вимірювальних датчиків. Зокрема, датчик швидкості, встановлений у зоні матеріального циліндра, передає інформацію до програмованого логічного контролера, на основі якої формується керувальний сигнал для електродвигуна приводу. Додатково система оснащується датчиком температури ливарної форми, що забезпечує підтримання заданого теплового режиму, а також датчиками тиску, встановленими у ливниковій втулці та насосному блоці, які дозволяють контролювати гідравлічні параметри процесу.

Виконавчими елементами автоматизованої системи є електродвигун приводу та золотниковий розподільник, за допомогою яких реалізується керування швидкістю, тиском і напрямком руху робочих органів. Узгоджена робота вимірювальних і виконавчих пристроїв забезпечує стабільність технологічного процесу лиття під тиском, підвищує точність дозування матеріалу та сприяє отриманню виробів із заданими якісними характеристиками.

Подача гранульованого матеріалу до термопластавтомата здійснюється з дозувального пристрою у приймальний бункер, у якому встановлено ємнісний датчик рівня. Датчик формує дискретні сигнали мінімального та максимального рівнів грануляту, які надходять на вхідні порти мікроконтролера K1816BE51. На основі цих сигналів система автоматичного керування забезпечує запуск або

зупинку подачі матеріалу, запобігаючи переповненню бункера та простою обладнання.

Гранулят із бункера надходить у матеріальний циліндр, де розміщений шнековий механізм. Шнек забезпечує транспортування, нагрівання та пластикацію полімеру до в'язко-текучого стану, необхідного для подальшого впорскування. Привід шнека реалізовано за допомогою електродвигуна, керування яким здійснюється мікроконтролером K1816BE51 через силовий підсилювач або тиристорний (транзисторний) керуючий каскад.

Контроль параметрів процесу впорскування здійснюється за допомогою комплексу вимірювальних датчиків. Датчик швидкості обертання шнека формує імпульсний сигнал, що надходить на лічильні входи мікроконтролера, де здійснюється обробка інформації про швидкість обертання та формування відповідного керувального сигналу. Температурний режим контролюється датчиком температури, сигнал з якого після аналогово-цифрового перетворення подається на мікроконтролер для підтримання заданого теплового режиму ливарної форми.

Контроль тиску в системі реалізується за допомогою датчиків тиску, встановлених у ливниковій втулці та в насосному блоці гідравлічної системи. Аналогові сигнали датчиків надходять на вхід зовнішнього аналого-цифрового перетворювача, після чого передаються до K1816BE51 для подальшої обробки та формування керувальних дій.

Гідравлічне керування процесом упорскування здійснюється за допомогою золотникового розподільника, керованого електромагнітом. Мікроконтролер формує керувальні сигнали для включення або вимкнення електромагнітів розподільника, забезпечуючи регулювання тиску та швидкості впорскування відповідно до заданого алгоритму.

Виконавчими механізмами автоматизованої системи є електродвигун приводу шнека та електромагнітний золотниковий розподільник гідросистеми. Алгоритм керування, реалізований на базі мікроконтролера K1816BE51, забезпечує послідовне виконання технологічних операцій, обробку сигналів

зворотного зв'язку та стабільність параметрів процесу лиття під тиском. Така структура системи дозволяє підвищити надійність роботи обладнання та забезпечити повторюваність якості виготовлених виробів.

3.2. Вибір датчиків та виконавчих механізмів

Датчик швидкості

Для визначення швидкості обертання робочого органу шнека у даній роботі обрано однооборотний енкодер, що зумовлено особливостями технологічного процесу та вимогами до системи автоматичного керування. У процесі пластикації та впорскування визначальним є не абсолютне положення шнека в просторі, а стабільність і точність контролю його кутової швидкості в межах одного обороту. Однооборотний енкодер забезпечує достатню роздільну здатність для формування зворотного зв'язку за швидкістю, при цьому має простішу конструкцію та вищу надійність порівняно з багатооборотними аналогами (рис.3.2).

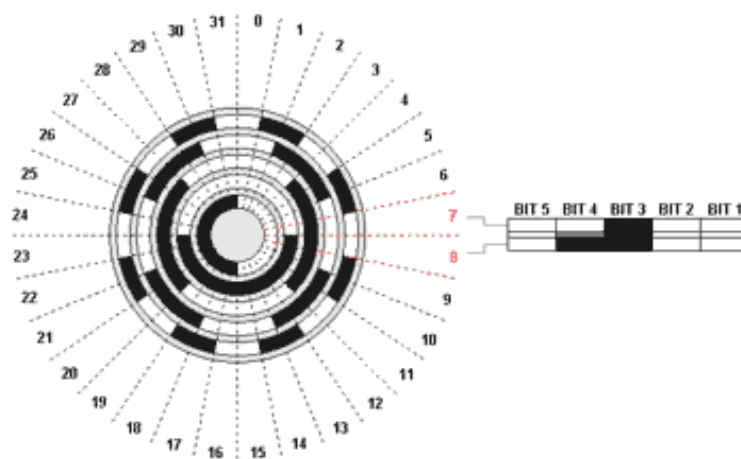


Рис.3.2. Кодовий диск абсолютного енкодера

Використання однооборотного енкодера дозволяє зменшити складність апаратної та програмної частини системи керування, що є важливим при реалізації алгоритмів на базі мікроконтролера K1816BE51, який має обмежені

обчислювальні ресурси. Крім того, однооборотні енкодери не потребують збереження інформації про кількість обертів у разі знеструмлення, що підвищує відмовостійкість системи та спрощує її введення в експлуатацію.

Сигнали з однооборотного енкодера формуються у вигляді імпульсної послідовності, частота якої пропорційна швидкості обертання шнека. Вихід енкодера підключається до лічильних входів мікроконтролера K1816BE51 через формувач рівнів або оптронну розв'язку, що забезпечує електричну сумісність і захист мікроконтролера від перешкод. Підрахунок кількості імпульсів за фіксований інтервал часу дозволяє визначити поточну частоту обертання шнека та використати цю інформацію для формування керувального впливу.

Обробка сигналів енкодера здійснюється програмно з використанням таймерів і лічильників мікроконтролера K1816BE51. Отримане значення швидкості порівнюється із заданим, після чого формується керувальний сигнал для приводу шнека або відповідного виконавчого механізму. Така схема підключення забезпечує замкнений контур керування за швидкістю та сприяє стабілізації технологічного процесу лиття під тиском.

Однооборотними датчиками (рис.3.3) називаються датчики, які видають абсолютне значення у межах одного обороту, тобто у радіусі 360° . Після одного обороту код є повністю пройденим і починається знову із його початкового значення. Такі датчики слугують, переважно, для вимірювання кута повороту й застосовуються, наприклад, у антенних системах, ексцентричних колінчастих пресах і тд.

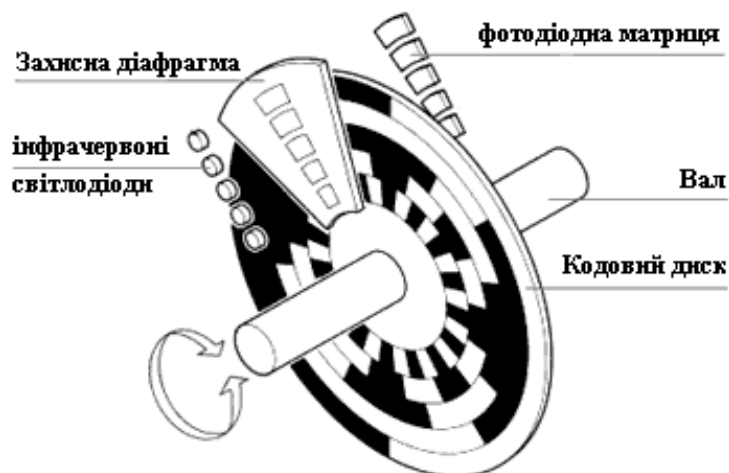


Рис.3.3. Будова одно обертового енкодера

Характеристики абсолютного одно обертового енкодера Endat 674 наведено у табл.3.1.

Таблиця 3.1

Характеристики енкодера моделі Endat 674

Монтажне положення	Будь-яке положення для всіх розподільників
Напруга живлення, В	5-30
Споживання струму без навантаження, μA	90-150
Роздільна здатність	13 біт, 8192 положення/оборот
Код виходу	Простий двійковий
Максимальна часота, МГц	2
Момент інерції, кгм^2	$4,6 \times 10^{-6}$
Максимальна швидкість, об/хв.	6000
Клас чистоти робочої рідини	ISO 19/16, досягається при тонкості фільтрації 25 мкм і рекомендованому $\beta \geq 75$
Температура, $^{\circ}\text{C}$	-20...+100 (зберігання); -30...+80 (робоча)
Диск	Акрилове скло
Маса, кг	0,3

Підключення енкодера до K1816BE51 (конкретно P3 / P1)

У K1816BE51 (8051-сумісний) є входи таймерів/лічильників:

- P3.4 = T0 — вхід зовнішніх імпульсів лічильника 0
- P3.5 = T1 — вхід зовнішніх імпульсів лічильника 1
- P3.2 = INT0, P3.3 = INT1 — зовнішні переривання

Рекомендоване підключення:

- Канал А енкодера $\rightarrow$ P3.4 (T0) — апаратний підрахунок імпульсів.

- Канал Z (Index) (якщо є) → P3.2 (INT0) — переривання “нульового” імпульсу 1 раз/оберт (зручно для синхронізації та діагностики).

- Канал В (для визначення напрямку) → P1.0 (або інший вхід P1.x).

Якщо напрямок обертання не потрібен (шнек завжди в один бік) — канал В можна не використовувати, тоді схема ще простіша.

Датчик температури

Для вимірювання температури в зоні пластикації полімеру та в ливарній формі в автоматизованій системі керування доцільно застосовувати термопару, яка належить до контактних термоелектричних датчиків температури. Принцип дії термопари ґрунтується на термоелектричному ефекті, за яким у замкненому колі з двох різнорідних металів при різниці температур спаїв виникає електрорушійна сила, пропорційна температурі вимірюваного середовища.

Термопари широко використовуються в системах керування термопластавтоматами завдяки простоті конструкції, високій надійності та здатності працювати в умовах підвищених температур. Залежно від типу застосовуваного матеріалу термопари забезпечують вимірювання температур у діапазоні до 300–400 °С і більше, що відповідає вимогам процесу переробки термопластичних полімерів.

У складі автоматизованої системи керування сигнал з термопари має вигляд низькорівневої напруги, яка не може безпосередньо оброблятися мікроконтролером K1816BE51. Тому між термопарою та мікроконтролером передбачається використання підсилювально-перетворювального каскаду, який забезпечує компенсацію холодного спаю, підсилення сигналу та його перетворення у форму, придатну для аналого-цифрового перетворення.

Після обробки сигналу в аналого-цифровому перетворювачі цифрове значення температури надходить до мікроконтролера K1816BE51, де використовується для реалізації алгоритму автоматичного регулювання температурного режиму. Отримана інформація може застосовуватися для керування нагрівальними елементами матеріального циліндра або ливарної форми, а також для контролю аварійних режимів перегріву.

Застосування термопар в системі керування забезпечує стабільність температурних параметрів процесу лиття під тиском, що безпосередньо впливає на якість готових виробів і надійність роботи обладнання.

Характеристики термопар OWL-3506-BPKG (рис.3.5) наведено в таблиці 3.2



Рис.3.5. Термопара OWL-3506-BPKG

Таблиця 3.2

Характеристики термопар OWL-3506-BPKG

Діапазон вимірювань, °C	-200...+700
Похибка вимірювань, °C	±1
Матеріал термоелектронів	
Електрод «+»	Сплав хромель
Електрод «-»	Сплав константан
Коефіцієнт термоЕРС, мкВ/°C (в діапазоні температур, °C)	59-81
Гранична температура при короткочасному застосуванні, °C	900
Температура оточуючого середовища, °C	-20...+100
Матеріал з'єднувальної головки	алюміній

Ось порівняння термопар і терморезистора Pt100 саме для задач термопластавтомата (зона пластикації, сопло, форма).

Порівняння для лиття під тиском

1) Діапазон температур

- Термопара (тип K/J): широкий діапазон, добре переносить високі температури; для ТПА це з запасом (зазвичай 180–320 °C у циліндрі, інколи вище).

- Pt100: типово до ~250–300 °C (залежить від виконання та класу), у зоні сопла/циліндра може працювати «на межі», але для форми (30–120 °C) — ідеально.

Висновок: для циліндра/сопла частіше вигідніша термопара; для форми Pt100 дуже зручний.

2) Точність і стабільність

- Pt100: вища точність і повторюваність, менший дрейф з часом, краща лінійність.

- Термопара: точність нижча, є дрейф, а покази сильніше залежать від якості компенсації холодного спаю та умов монтажу.

Висновок: якщо ціль — точне підтримання температури (особливо форми), Pt100 зазвичай кращий.

3) Динаміка (швидкість реакції)

- Термопара: часто швидше реагує (особливо з тонким спаєм і малою тепловою інерцією).

- Pt100: може бути повільнішим через конструкцію (гільза, наповнювач), але у промисловому виконанні різниця не завжди критична.

Висновок: для швидких змін у зоні сопла/циліндра термопара має перевагу.

4) Завади та підключення до K1816BE51

- Термопара: дуже малий сигнал (мВ) → потрібні підсилювач, фільтрація, компенсація холодного спаю, бажано ізоляція. Чутлива до ЕМІ.

- Pt100: працює як резистивний датчик → можна робити вимір через міст/джерело струму + підсилювач + АЦП; краще «тримає» завади, особливо у 3-провідному або 4-провідному підключенні.

Висновок: для системи на K1816BE51 Pt100 часто простіше реалізувати стабільно; термопара потребує більш акуратної аналогової частини.

5) Надійність у промислових умовах

- Термопара: проста, витривала, добре переносить перегрів та жорсткі умови.

- Pt100: теж надійний, але чутливіший до механічних пошкоджень і неправильного підключення; важлива якісна гільза.

6) Вартість і обслуговування

- Термопара: зазвичай дешевша, але модуль перетворення/компенсації може здорожчувати систему.

- Pt100: сам датчик часто дорожчий, зате вимірювальний тракт може бути простішим і «тихішим» за завадами.

Практична рекомендація для ТПА

- Зона пластикації (циліндр/сопло): термопара типу К (через запас по температурі та швидку реакцію).

- Ливарна форма / термостатування форми: Pt100 (краще 3-провідний) (через точність і стабільність).

Якщо у вашій роботі потрібно обрати один універсальний датчик:

- для акценту на простоту та витривалість — термопара;
- для акценту на точність регулювання та стабільність — Pt100.

Датчик тиску

Для контролю тиску в гідравлічній системі термопластавтомата або в зоні подачі розплаву в автоматизованій системі керування доцільно застосовувати електронний датчик тиску IFM PK5520. Даний датчик призначений для роботи в промислових умовах і забезпечує надійне вимірювання тиску з високою стабільністю та повторюваністю показів.

Датчик IFM PK5520 працює на основі **п'єзорезистивного принципу**, за якого деформація чутливого елемента під дією тиску призводить до зміни його електричного опору. Сформований електричний сигнал перетворюється у стандартизований аналоговий або дискретний вихідний сигнал, пропорційний вимірюваному тиску.

Конструктивно датчик виконаний у міцному металевому корпусі, що забезпечує його стійкість до механічних навантажень, вібрацій та дії робочих

середовищ. IFM PK5520 оснащений вбудованим індикатором і кнопками налаштування, що дозволяє здійснювати локальну індикацію значення тиску та встановлення порогів спрацювання без використання зовнішніх засобів конфігурації.

У складі автоматизованої системи керування сигнал з датчика тиску IFM PK5520 використовується для:

- контролю процесу упорскування та витримки під тиском;
- формування сигналів зворотного зв'язку для системи керування;
- реалізації захисту обладнання від перевищення допустимого тиску;
- діагностики роботи гідравлічної системи.

Вихідний сигнал датчика може безпосередньо подаватися на вхід аналого-цифрового перетворювача або використовуватися як дискретний сигнал аварійного контролю. Після аналого-цифрового перетворення інформація про тиск надходить до мікроконтролера **K1816BE51**, де використовується в алгоритмах керування та контролю технологічного процесу.

Застосування датчика тиску IFM PK5520 в автоматизованій системі керування дозволяє підвищити точність регулювання параметрів лиття під тиском, зменшити ймовірність аварійних режимів і забезпечити стабільну якість готової продукції.

Застосування п'єзоелектричних датчиків тиску в системах керування термопластавтоматами дозволяє підвищити точність регулювання технологічних параметрів, забезпечити стабільну якість готових виробів і підвищити надійність роботи обладнання (рис.3.5).

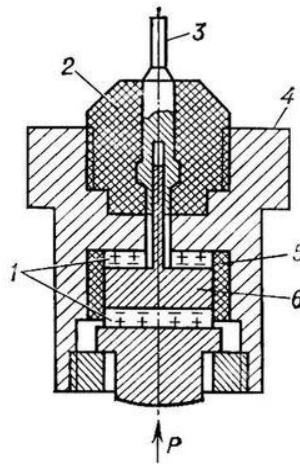


Рис. 3.5. Будова п'єзоелектричного датчика тиску: p — вимірюваний тиск; 1 — п'єзоелектричні пластини; 2 — діелектрична гайка; 3 — електричний вивід; 4 — корпус (слугує другим виводом); 5 — ізолятор; 6 — металевий електрод

За умов технічного завдання, в якості датчика тиску для насосу гідравлічної системи ТАВ було обрано п'єзоелектричний датчик «IFM» PK5520. конструктивне виконання датчика наведено на рис. 3.6.



Рис.3.6. Конструктивне виконання датчика PK5520

Характеристики датчика «IFM» PK5520 наведено у таблиці 3.3.

Схема підключення датчика тиску наведена на рис.3.7.

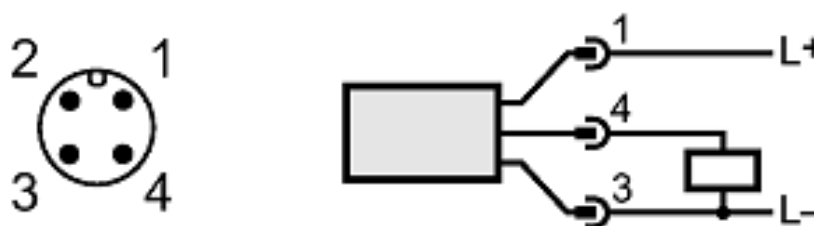


Рис.3.7. Схема підключення датчика із позначенням жил кабелю

Для вимірювання рівня абсолютного тиску в середині ливарної форми запропоновано використовувати датчик «IFM» PA9060, що відповідає умовам технічного завдання. Конструктивна схема датчика наведена на рис. 3.8.

Таблиця 3.3

Характеристики датчика «IFM» PK5520

Тип тиску	Відносний
Середовище	рідини і газу
Електричне виконання	DC PNP
Робоча напруга, В	15...32 DC
Найбільш припустиме навантаження на виході, μA	500
Захист від короткого замикання	Тактовий
Падіння напруги, В	<2
Споживання струму, μA	<25
Найбільший тиск потоку, МПа	60
Тиск руйнування мембрани, МПа	160
Поріг спрацювання виходу SP, МПа	1,2...40
Похибка точки перемикавання	$<\pm 2,5^*$
Повторюваність	$<\pm 0,5$
Температурний дрейф (на кожні $27,3^\circ\text{C}$)	$<\pm 0,5$
Частота перемикань, Гц	100
Температура вимірюваного середовища, $^\circ\text{C}$	-25...+80
Строк служби у циклах спрацювання	50 мільйонів
Матеріал корпусу	Полібутилен-терефталат
Матеріал контактної зони	Нерж. сталь V4A

Датчик рівня

Для контролю рівня заповнення приймального бункера гранульованим матеріалом у даній роботі передбачається застосування ємнісного датчика рівня. Використання такого датчика забезпечує безконтактне визначення наявності та кількості грануляту в бункері незалежно від його механічного руху та форми частинок. Ємнісний принцип вимірювання дозволяє надійно фіксувати досягнення граничних рівнів матеріалу та формувати керувальні сигнали для автоматичного регулювання процесу подачі грануляту.

В якості датчика рівня, за умов технічного завдання було обрано BCS006H, конструктивне виконання якого наведено на рисунку 3.9.

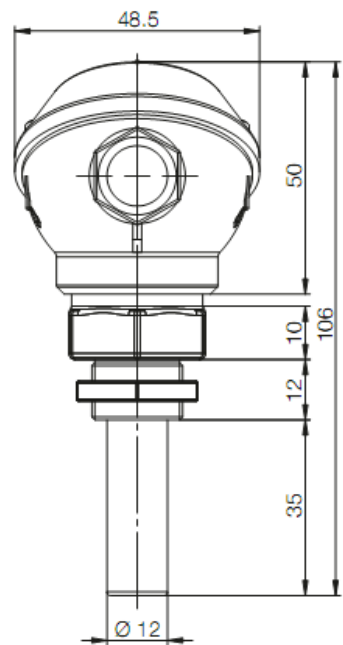


Рис.3.9. Конструктивне виконання та габаритні розміри ємнісного датчик рівня BCS006H

Характеристики ємнісного датчика рівня BCS006H (рис.3.9) наведено в таблиці 3.5

Таблиця 3.5

Характеристики ємнісного датчика рівня BCS006H

Середовище	Рідини, сипучі речовини
Електричне виконання	DC PNP

Функція на виході	Нормально відкритий
Робоча напруга, В	15...35 DC
Вихідний струм (макс.), μA	100
Струм холостого ходу, μA	<10
Падіння напруги, В	<2,7
Номінальна напруга ізоляції, В	75 DC
Частота перемикання, Гц	5
Температура вимірюваного середовища, $^{\circ}\text{C}$	-30...+125
Матеріал корпусу	Алюміній

Золотниковий розподільник

Золотниковий розподільник є одним із ключових елементів гідравлічної системи термопластавтомата та призначений для керування напрямком, витратою і тиском робочої рідини. У автоматизованих системах керування він виконує функцію розподілу потоку гідравлічної рідини між окремими виконавчими механізмами відповідно до заданого алгоритму роботи обладнання.

Конструктивно золотниковий розподільник складається з корпусу з каналами підведення та відведення робочої рідини і рухомого золотника, який змінює положення під дією керувального сигналу. Переміщення золотника забезпечує відкриття або перекриття відповідних гідравлічних каналів, у результаті чого змінюється напрямок руху рідини та режим роботи гідроциліндрів або інших гідравлічних виконавчих органів.

У системі керування термопластавтомата золотниковий розподільник використовується для реалізації операцій упорскування, витримки під тиском, зворотного ходу інжекційного вузла та керування іншими рухомими елементами машини. Керування розподільником може здійснюватися за допомогою електромагнітів, які отримують сигнали від мікроконтролера або програмованого логічного контролера, що дозволяє інтегрувати його в автоматизовану систему керування.

Застосування золотникового розподільника забезпечує високу швидкодію гідравлічної системи, точність перемикавання режимів і надійність роботи обладнання. У поєднанні з датчиками тиску та положення він дозволяє реалізувати замкнені контури керування, що підвищує стабільність технологічного процесу лиття під тиском і якість готових виробів.

Для забезпечення роботи гідроциліндра вузла змикання за технічних умов було обрано електромагнітний розподільник Atos DHI 07, конструктивне виконання якого наведено на рис. 3.10.

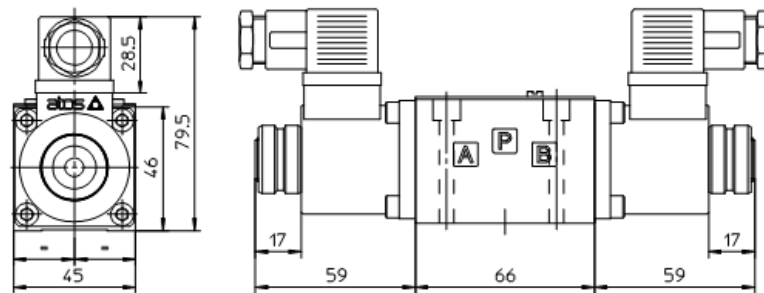


Рис.3.10. Конструктивне виконання та габаритні розміри електромагнітного розподільника DHI 07

Характеристики електромагнітного розподільника Atos DHI 07 наведено у табл.3.6.

Таблиця 3.6

Характеристики електромагнітного розподільника Atos DHI 07

Номінальна напруга живлення, В ($\pm 10\%$)	15... 24 DC
Споживана потужність, Вт	33
Час перемикання, мс	
Вмикання	45
Вимикання	20
Характеристика стикувальної поверхні	Шорсткість Ra 0,4, неплоскостинність 0,01/100 (ISO 1101)
Температура оточуючого середовища, °C	-20...+70
Рекомендована в'язкість	15 ÷ 100 сСт при 40°C (ISO VG 15 ÷ 100)

Клас чистоти робочої рідини	ISO 19/16, досягається при тонкості фільтрації 25 мкм і рекомендованому $\beta \geq 75$
Температура робочої рідини, °C	-20...+60 (стандартні і / WG ущільнення); -20...+80 °C (ущільнення / PE)
Робочий тиск, МПа	Канали P, A, B: 35; Канал T: 12.
Максимальні витрати рідини	60 л / хв.
Маса, кг	1,8

У випадку, коли котушка електромагніта розподільника живиться від 24 В і має відносно великий струм, а також коли потрібна підвищена електрична ізоляція мікроконтролера від силового кола, доцільно застосувати проміжне реле.

Принцип підключення:

- Вивід порту K1816BE51 (наприклад, P1.0) керує малопотужним транзистором, який вмикає котушку реле (5 В або 12 В — залежно від вибору реле).
- Контактна група реле комутує живлення 24 В на котушку електромагніта золотникового розподільника.
- Паралельно котушці реле встановлюється зворотний діод (flyback) для гасіння ЕРС самоіндукції.

Алгоритм роботи:

- «1» на P1.0 → транзистор відкривається → реле спрацьовує → подається 24 В на соленоїд → розподільник перемикається.
- «0» на P1.0 → реле відпускає → живлення соленоїда знімається → розподільник повертається (пружиною або другим соленоїдом).

Переваги: простота, надійна розв'язка, стійкість до перешкод.

Недоліки: інерційність реле, знос контактів, обмежений ресурс при частих перемиканнях.

Привод пристрою подачі грануляту

Привод пристрою подачі грануляту призначений для забезпечення керованого транспортування гранульованої сировини від джерела зберігання (контейнера/силоса) до приймального бункера сушарки або безпосередньо до бункера термопластавтомата. Його робота повинна гарантувати безперервність технологічного процесу та підтримання заданого рівня матеріалу, виключаючи переповнення бункера і зупинку обладнання через нестачу грануляту.

Залежно від конструкції системи подачі, привод може бути реалізований у вигляді:

- електропривода вакуумного (пневматичного) транспортера — електродвигун вакуумного насоса/вентилятора, який створює розрідження або потік повітря для переміщення грануляту трубопроводом;
- електропривода шнекового (гвинтового) живильника — електродвигун, що обертає шнек для дозованого переміщення грануляту;
- комбінованого рішення, де пневмотранспорт виконує подачу до сушарки/бункера, а шнек забезпечує точне дозування.

У запропонованій системі привод подачі грануляту розглядається як керований виконавчий механізм, який працює у двох основних режимах: “ПУСК/СТОП” (дискретне керування) та “РЕГУЛЮВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ” (за потреби — зміна швидкості або циклічності роботи). Керування приводом здійснюється від мікроконтролера K1816BE51 через силовий модуль (релейний або транзисторний ключ), який комутує живлення електродвигуна або керує котушкою контактора.

Команди на увімкнення та вимкнення привода формуються на підставі сигналів ємнісного датчика рівня у приймальному бункері. За досягнення мінімального рівня матеріалу система подає команду на запуск подачі, а після досягнення максимального рівня — вимикає привод, запобігаючи переповненню. За потреби додатково можуть використовуватися датчики стану (контакт “аварія” двигуна, тепловий захист, контроль фільтра/вакууму), що підвищує надійність роботи системи.

У силовій частині привода доцільно передбачити елементи електрозахисту: автоматичний вимикач, теплове реле або захист від перевантаження, а також блокування повторного запуску при аварійному відключенні. Це забезпечує безпечну експлуатацію привода та зменшує ризик відмов у виробничих умовах.

4МТКФ(Н)112L6 — це, як правило, крановий асинхронний електродвигун серії МТКФ/МТКН (короткозамкнений ротор), який добре підходить для приводів із частими пусками/зупинками (що типово й для подачі грануляту: циклічні вмикання за датчиком рівня). Характеристики двигуна 4МТКФ(Н)112L6 наведено в табл. 3.7.

Таблиця 3.7

Характеристики двигуна 4МТКФ(Н)112L6

P_n , кВт	n_n , об./хв.	I_n , А	$\cos \varphi$	I_p , А	M_p , Нм	$M_{\max}$, Нм	r_1 , Ом	I_0 , А	$R_{кз}$, Ом	$X_{кз}$, Ом	K_r	$J_{дв}$, кг×м ²
2,2	880	6,8	0,73	22,7	62	64	2,97	4,9 1	9,66	5,87	5,9	0,035

P_n – номінальна потужність на валу;

n_n – номінальна частота обертів;

I_n – номінальний струм статора;

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності в номінальному режимі;

I_p – пусковий струм;

M_p – пусковий момент;

$M_{\max}$ – максимальний (критичний) момент;

r_1 – активний опір фазної обмотки статора;

I_0 – струм холостого ходу для номінального режиму;

$R_{кз}$ – активний опір короткого замикання;

$X_{кз}$ – індуктивний опір короткого замикання;

K_r – коефіцієнт приведення опорів;

K_r – момент інерції двигуна.

Частотний перетворювач

Регулювання швидкості обертання електродвигуна привода подачі грануляту є важливим засобом підвищення ефективності та гнучкості роботи автоматизованої системи. Можливість зміни частоти обертання дозволяє адаптувати продуктивність подачі матеріалу до поточних потреб технологічного процесу, зменшити енергоспоживання та знизити механічні навантаження на елементи привода.

Електродвигун типу 4MTKF(H)112L6 є асинхронним трифазним двигуном із короткозамкненим ротором і номінальною швидкістю обертання, що визначається кількістю полюсів та частотою мережі живлення. У класичному виконанні швидкість такого двигуна практично не регулюється при живленні від мережі постійної частоти. Тому для реалізації плавного та керованого регулювання швидкості доцільно застосовувати частотний перетворювач.

Частотне регулювання швидкості ґрунтується на зміні частоти та напруги живлення електродвигуна відповідно до закону $U/f = \text{const}$, що забезпечує збереження електромагнітного моменту в широкому діапазоні швидкостей. Зміна частоти вихідної напруги частотного перетворювача призводить до пропорційної зміни швидкості обертання електродвигуна, що дозволяє плавно регулювати продуктивність пристрою подачі грануляту.

У складі автоматизованої системи керування завдання швидкості електродвигуна формується керуючим пристроєм (мікроконтролером K1816BE51) і передається на частотний перетворювач у вигляді дискретних або аналогових сигналів. Дискретні сигнали використовуються для команд пуску та зупинки, а аналоговий сигнал або імпульсна модуляція — для задання необхідної швидкості обертання. Зворотний зв'язок за швидкістю може формуватися за допомогою однооборотного енкодера, що підвищує точність регулювання.

Застосування регулювання швидкості електродвигуна дозволяє:

- узгодити роботу привода подачі грануляту з режимами роботи термопластавтомата;
- зменшити пускові струми та механічні удари при запуску;
- підвищити надійність і ресурс електромеханічних вузлів;

- оптимізувати енергоспоживання системи.

Таким чином, використання частотного регулювання швидкості асинхронного електродвигуна 4MTKF(H)112L6 є технічно доцільним і відповідає сучасним вимогам до автоматизованих систем подачі гранульованих матеріалів.

Частотний перетворювач зображено на рис.3.13.



Рис.3.13. Частотний перетворювач Schneider Electric Altivar 320, модель ATV320U55N4C (5.5 кВт, 3×380 В)

Характеристики перетворювача наведено в табл.3.8

Таблиця 3.8

Характеристики частотного перетворювача

Потужність двигуна (кВт)		2,2
Вихідні параметри	Потужність (кВт)	5,5
	Номінальний струм (А)	14,3
	Максимальна частота (Гц)	0 – 400 (векторне керування без датчика: 0 – 300, векторне керування з датчиком: 0 – 120)
	Максимальна напруга (В)	380 – 480
Вхідні параметри	Напруга (В)	380 – 480 (10%)
	Частота (Гц)	50 – 60 (5%)
Протокол порту зв'язку	-	ModBus, CanOpen
Загальні умови експлуатації	Робоча температура навколишнього середовища	-10...+50

	Ударостійкість	10 G (3рази в 3-х напрямках)
--	----------------	------------------------------

–Запас по функціоналу для АСУ: типово має зручні дискретні входи/виходи, аналогові завдання, та промислову комунікацію (часто Modbus/RS-485 у цій серії) — це добре лягає на керування від K1816BE51 (RUN/STOP + “швидкість”).

–Надійність/масовість: Altivar 320 — поширена серія для механізмів із циклічною роботою (пуски/зупинки), типових для подачі грануляту.

–Потужність 5.5 кВт під ваш двигун 112L6: це “в точку” для 6-полюсного 3-фазного привода такого класу.

4. РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

Відповідно до запропонованої структурної та функціональної схем системи керування, технічного завдання, виконаємо вибір первинних та вторинних перетворювачів інформації про об'єкт управління, виконавчих механізмів та пристроїв а також елементів мікропроцесорної системи керування процесом дозування грануляту. Розробимо електричну принципову схему системи управління.

4.1. Вибір елементів мікропроцесорної системи керування подачею грануляту

Підсилювачі

Для узгодження рівнів сигналів, що надходять від датчиків та надсилаються на виконавчі механізми системи, в роботі проведено вибір та розрахунок підсилювачів. Вхідні підсилювачі повинні забезпечити необхідний рівень підсилення сигналів від датчиків, щоб вхідний аналоговий сигнал знаходився в динамічному діапазоні аналого-цифрового перетворювача. Головним критерієм вибору даної групи елементів є коефіцієнт підсилення, що забезпечується. В свою чергу вихідні операційні підсилювачі застосовуються для узгодження за рівнем вихідного значення з ЦАП та керуючого сигналу для забезпечення значення напруги вихідного сигналу у межах від 0 до $U_{\max} = 12 \text{ В}$.

Комутатори

Для комутації вхідних сигналів від аналогових датчиків використовується аналоговий комутатор, який повинен мати не менше чотирьох входів. Він повинен забезпечити можливість адресації входу, що комутується.

Аналого-цифровий перетворювач (АЦП)

З виходу комутатора аналоговий сигнал надходить до АЦП, де він перетворюється в цифровий для подальшої обробки обчислювальним пристроєм.

Основними вимогами при виборі аналогово-цифрового перетворювача є:

- необхідна розрядність АЦП відповідно заданій точності перетворення;
- швидкодія АЦП, що характеризується швидкістю перетворення сигналу.

Оцінюючи розрядність АЦП необхідно врахувати діапазон відхилення контрольованої величини та задану точність. Характеристику перетворення датчика у діапазоні вимірювання параметру вважаємо лінійною $\log_2(Q_{\max} - Q_{\min})/\Delta Q$. Оберемо контур температури

$$\log_2 (300-20)/(2) = 7,12$$

Таким чином, необхідна розрядність АЦП становить 8.

Максимальна швидкодія АЦП наближено визначається на підставі межевої частоти зрізу об'єкту керування та теореми Котельникова. Відповідно до проведених розрахунків, межева частота зрізу об'єкту становить $\omega = 0,031$ рад/с або $f = 202$ Гц. Таким чином, максимальна частота може бути визначена як подвійна . $f = 2 \times 202 = 404$ Гц. Приймемо $F_{\max} = 500$ Гц.

Пристрій керування

Головною вимогою до пристрою керування є достатня швидкодія для обробки усіх пристроїв, що приєднані до нього. Система містить п'ять датчиків, тому пристрій керування повинен забезпечити наступний час обробки сигналу з кожного датчика

$$t \leq \frac{1}{nF_{\max}}, \quad (4.2)$$

де: n – кількість датчиків

$F_{\max}$ – максимальна частота

$$t \leq \frac{1}{nF_{\max}} = \frac{1}{5 \times 50} \approx 4 \times 10^{-3} \text{ с.}$$

Серед поширених пристроїв керування застосовуємо комплект серій 1816. Він має достатню швидкодію, внутрішню пам'ять та його арифметико-логічний

пристрій найбільш підходить для вирішення поставленої задачі, маючи у своєму складі необхідний набір команд. На відміну від серій 580 та 1810 він те потребує підключення додаткових периферійних пристроїв та має значну кількість портів вводу-виводу (МК51).

Серед представників серії 1816 було обрано найбільш універсальній мікроконтролер K1816BE51 (МК51). Дана серія мікро-ЕОМ виконана в одному корпусі. Це забезпечує високу надійність, зменшує споживану потужність і габарити системи.

Особливостями даної моделі мікро-ЕОМ з серії 1816 є:

- збільшений обсяг пам'яті команд і даних, розширений набір команд;
- порівняно висока швидкодія;
- широкі можливості введення-виведення;
- наявність команд множення і ділення.

Наведемо основні характеристики Мікро-ЕОМ в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Позначення	Макс. частота	Порти введення-виведення	Пам'ять даних (внутр.)	Пам'ять програм	Кількість команд
МК-51	12 МГц	4×8-р I/O	128 Б	4Кб	111

Процесор містить однобайтний АЛП і схеми апаратної реалізації команд множення і ділення; крім того комплект містить два 16-бітних таймера-лічильника; блок дворівневого векторного переривання від п'яти джерел; асинхронний канал послідовного введення/ виведення інформації; генератор, схему синхронізації і управління. Час машинного циклу складає 1 мкс.

Корпус МК51, показаний на рис.4.1, має два виводи для підключення кварцового резонатора, чотири виводи для сигналів, що управляють режимом роботи МК і лінії портів, що можуть бути запрограмовані користувачем на виконання спеціалізованих функцій обміну інформації з середовищем. З

чотирьох портів порт 0 є двонаправленим, а порти 1, 2, 3 – квазідвонаправленими. Кожну лінію портів можна використати незалежно для введення або виведення інформації.

Переважає більшість команд (94 команди) мають формат один або два байта і виконуються за один або два машинних цикли.

8-бітний АЛП може виконувати арифметичні операції додавання, віднімання, множення і ділення; логічні операції І, АБО, виключне АБО, а також операції циклічного зсуву, скидання, інвертування тощо. В АЛП є програмно недосяжні регістри T1 і T2, призначені для тимчасового зберігання операндів, схема десяткової корекції і схема формування ознак.

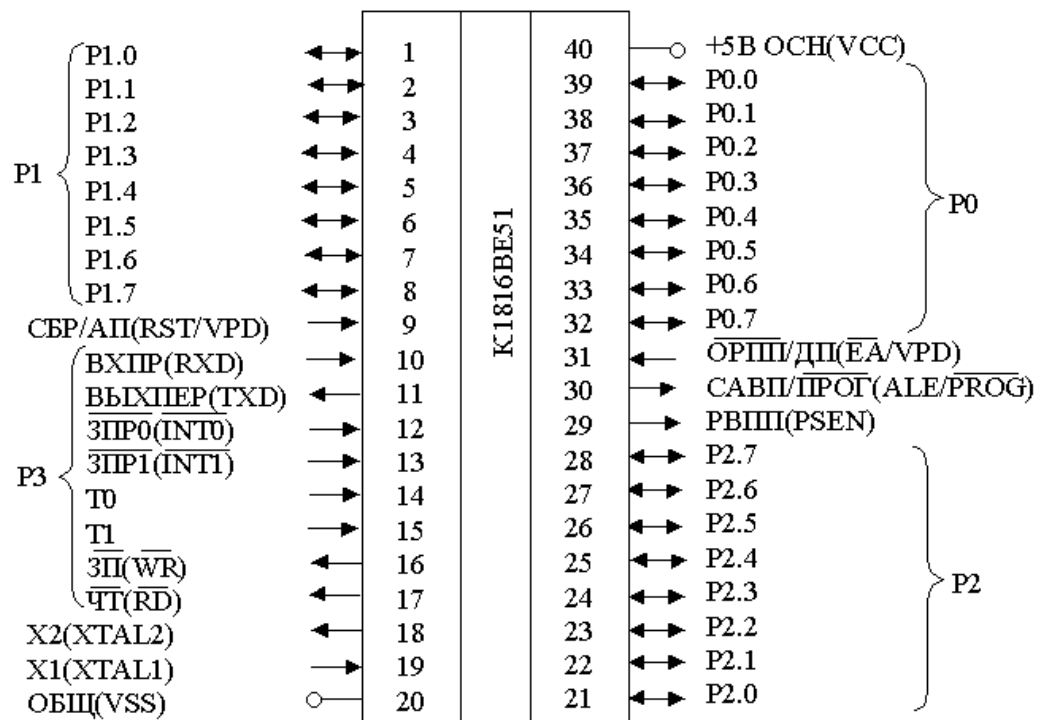


Рис.4.1. Схематичне зображення K1816BE51

Регістри

Регістри тимчасового збереження цифрового коду керуючого впливу повинні мати розрядність, достатню для збереження результату розрахунку

закону управління. Кількість регістрів визначається кількістю каналів керування; регістри повинні бути узгодженими з іншими елементами схеми.

ЦАП

ЦАПи слугують для перетворення цифрового коду в аналоговий сигнал. Кількість ЦАПів, як і у випадку регістрів, визначається кількістю каналів керування та кожен з них повинен бути узгоджений з попереднім буферним регістром за розрядністю та працювати на загальній тактовій частоті.

Для вибору необхідного каналу виводу інформації необхідний дешифратор, що під'єднує відповідний буферний регістр для запису нового значення керуючого впливу.

Блок індикації

Результати обробки вимірювальних параметрів з блоку керування виводяться на індикацію. Кількість індикаторів залежить від кількості контрольованих об'єктів. Розрядність індикаторів визначається максимальним значенням контрольованої величини що становить для параметрів тиску 5. Блок індикації повинен містити одну 5 розрядну панель індикаторів та регістр тимчасового збереження для виводу на індикацію. Вибір відповідного індикатору виконується дешифратором вибору розряду індикатора.

В якості аналогового комутатора DA8 вибираємо мікросхему K590KN6, побудовану за ТТЛ технологією. Мікросхема має 8 входів та забезпечує амплітуду напруги сигналів, що комутуються у діапазоні

$U_k = -15...+15V$ при струмі $I_k=20mA$. За характером роботи мікросхема постійно знаходиться в активному стані, що реалізовано поданням логічної одиниці на вихід керування через резистор номіналом 1кОм. Регістр має здатність адресувати будь-який з восьми каналів входу на вихід, що виконується мікроконтролером.

У якості АЦП DA6 використаємо мікросхему K1108PB1, яка є 10-розрядним прецензійним АЦП послідовного наближення.

Мікросхема містить ІОН, ГСІ та вихідний регістр на три стани зі збереженням інформації перетворення протягом наступного циклу перетворення

та видачею її в двійковому паралельному коді. АЦП забезпечує два режими роботи: 8-ми та 10-розрядний.

Максимальна вхідна напруга даного АЦП складає $U_{\text{вх АЦП}} = 2,5\text{В}$. При поточному режимі функціонування вона складатиме $0,625\text{ В}$.

Мікросхема має стандартну схему підключення в 8-розрядному режимі роботи. Для цього використовуються конденсатори наступних ємностей: $C_1=1\text{мкФ}$, $C_2=0,47\text{мкФ}$, $C_3=25\text{ мкФ}$, $C_4=0,1\text{ мкФ}$ та $C_8=1\text{мкФ}$.

Коефіцієнт підсилення для контурів буде визначатись, як:

$$K_{\Pi} = \frac{U_{\text{вхАЦП}}}{E_{\text{д}}}, \quad (4.3)$$

де $U_{\text{вх АЦП(8)}}$ – максимальна напруга на вході АЦП;

$E_{\text{д}}$ – вихідна напруга від датчика, В.

Тоді для контурів регулювання:

$$K_{\Pi 1} = \frac{U_{\text{вхАЦП}}}{E_1} = \frac{0,625}{2} = 0,25;$$

$$K_{\Pi 2} = \frac{U_{\text{вхАЦП}}}{E_2} = \frac{0,625}{1,5} = 0,42;$$

$$K_{\Pi 3} = \frac{U_{\text{вхАЦП}}}{E_s} = \frac{0,625}{2} = 0,31;$$

$$K_{\Pi 4} = \frac{U_{\text{вхАЦП}}}{E_s} = \frac{0,625}{3} = 0,21$$

В якості вхідних підсилювачів DA1...DA4 вибираємо операційні підсилювачі (ОП) К140УД6 з коефіцієнтом підсилення $K=30000$.

Для забезпечення коефіцієнта підсилення $K_{\Pi}=62,5$ використаємо схему підключення операційного підсилювача, зображену на (рис.4.2).

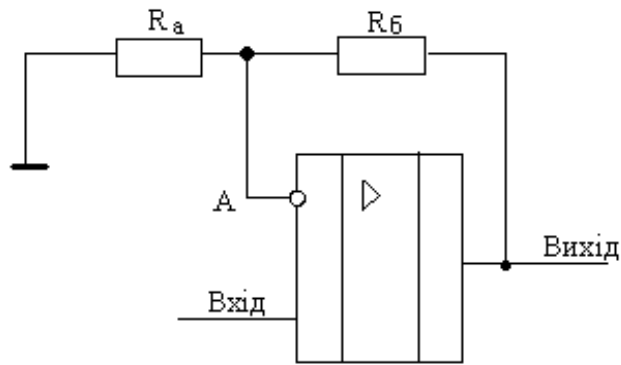


Рис.4.2. Схема підключення операційного підсилювача

Напруга U_A знімається з діляника напруги. Величина цієї напруги визначається виразом:

$$U_A = U_{\text{ВІХ}} \times \frac{R_a}{R_a + R_6} \quad (4.4)$$

Якщо $U_A = U_{\text{ВІХ}}$, то коефіцієнт операційного підсилювача визначатиметься наступним чином:

$$K = \frac{U_{\text{ВІХ}}}{U_{\text{ВІХ}}} = 1 + \frac{R_6}{R_a}$$

Приймемо $R_a = 0,1 \text{ кОм}$, тоді $R_6 = R_a (K_{\text{пн}} - 1)$.

$$R_{3,4} = 0,1(0,25 - 0,1) = 0,015 \text{ кОм}.$$

$$R_{5,6} = 0,1(0,42 - 0,1) = 0,032 \text{ кОм}$$

$$R_{2,7} = 0,1(0,31 - 0,1) = 0,021 \text{ кОм}$$

$$R_8 = 0,1(0,21 - 0,1) = 0,011 \text{ кОм}$$

У якості керуючого пристрою DD4 використано однокристальний мікроконтролер K1816BE51.

K1816BE51 має стандартну схему підключення із автоматичним скиданням по ввімкненню живлення. Мікроконтролер виконаний на базі високорівневої n-МОП технології і випускається в 40-виводному корпусі. Для взаємодії із зовнішніми пристроями мікроконтролер оснащений 4-ма портами введення/виведення. Робота МК51 забезпечується одним рівнем напруги живлення +5В. Зовні до мікроконтролера підключається кварцовий резонатор

(виводи 54, 55, 56, 57). Схема підключення кварцового резонатора зображене на рис.4.3 (ємності C1 і C2 рівні між собою і мають значення 30пФ).

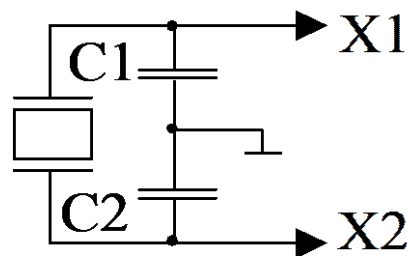


Рис.4.3. Схема підключення кварцового резонатора

Вихідні канали портів P1, P2 та P3 можуть працювати на одну ТТЛ-схему. Канали порта P0 можуть бути навантажені на два входи ТТЛ-схем кожна.

Наведемо призначення портів у порядку функціонування системи керування в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Призначення портів у порядку функціонування системи керування

Лінія порту	Опис	
P0.0	D0	Шина даних
P0.1	D1	
P0.2	D2	
P0.3	D3	
P0.4	D4	
P0.5	D5	
P0.6	D6	
P0.7	D7	
P1.0	A0	Адресні входи аналогового комутатора
P1.1	A1	
P1.2	Запуск АЦП	
P1.3		
P1.4		
P2.0	A0	Вибір номеру розряду індикатора дешифратором DD1
P2.1	A1	
P2.2	A2	
P2.3	V1, V2	

P2.4	Вибір дешифратора коду та формувача шини індикації		
P2.7	Не використовується		
P3.0	D0	Шина даних індикації	Вхід приймача послідовного порту
P3.1	D1		Вихід передатчика послідовного порту
P3.2	D2		Вхід запиту переривання 0
P3.3	D3		Вхід запиту переривання 1
P3.4	A0	Вибір регістру блоку ЦАП	Вхід таймера/лічильника 0 або тест-вхід
P3.5	A1	Вмикання реле ВП	Вибір каналу керування
P3.6	A2	Вмикання реле ЗР	
P3.7	V	Запис до регістру блоку ЦАП	

У якості індикаторів використаємо однорозрядні цифрові індикатори АЛС333А, які мають $I_{CB}=3\text{мА}$, світлодіоди ввімкнені по схемі із загальним катодом. Горіння індикатора забезпечується подачею сигналу низького рівня на катод, та високого рівня на анодах відповідних сегментів, що повинен забезпечити дешифратор коду цифри DD3.

Дешифратор DD1 слугує для вибору номера розряду індикатора. В якості дешифратора вибору розряду індикатора DD1 використовуємо дешифратор з інверсними виходами K155ИД7.

Дешифратор коду цифри DD3 перетворює бінарний код цифри в семисегментний і передає його на формувач шини індикаторів DD2. В якості дешифратора коду цифри обрано елемент K514ИД1, що містить всередині підсилювач та використовується для керування індикаторами зі спільним катодом.

В якості шинного формувача DD2 обрано KP580BA86, що дозволяє значно зменшити навантаження на мікроконтролер. Код з DD2 передається на регістр

блоку індикації, в якості якого обрано К155ІР22. Запис в регістри виконується по низькому рівню на входах РЕ. Семисегментний код з регістрів передається на відповідні індикатори через опори $R_{11}...R_{17}$.

Для горіння світлодіодів індикатора необхідно подати з відповідного регістру сигнал логічної одиниці $U_1=2,4\text{В}$ на анод. Значення опорів $R_{11}...R_{17}$ при цьому становить 300 Ом.

Для зберігання цифрових керуючих сигналів використовуються буферний регістр DD11, в якості якого обрано 8-розрядний регістр К155ІР22. Запис в регістр виконується по низькому рівню на входах РЕ.

В якості ЦАП використано мікросхеми К594ПА1. Дана мікросхема є 12-розрядним паралельним ЦАП (забезпечує 10 розрядів для заданої точності) із підсумовуванням струмів. Мікросхема працює з ТТЛ-рівнями та має однополярну вихідну напругу і таким чином є повністю сумісною з даною системою. До схеми ЦАП входять елементи, що розширюють її можливості, ввімкнення яких до кола зворотного зв'язку зовнішнього операційного підсилювача може забезпечити роботу ЦАП з однополярним виходом по напрузі $0...7,6\text{ В}$.

4.2. Електрична принципова схема автоматизованої системи

Для забезпечення знаходження вихідної напруги у межах $0...7,6\text{ В}$ через змінні резистори подаємо опорну напругу $+7,6\text{ В}$.

Вихідні керуючі сигнали знімаються з виходів операційних підсилювачів, в якості яких використані мікросхеми К140УД6. Застосування вихідних ОП забезпечує функціонування ЦАП в заданому режимі.

Схему наведено на рис. 4.4.

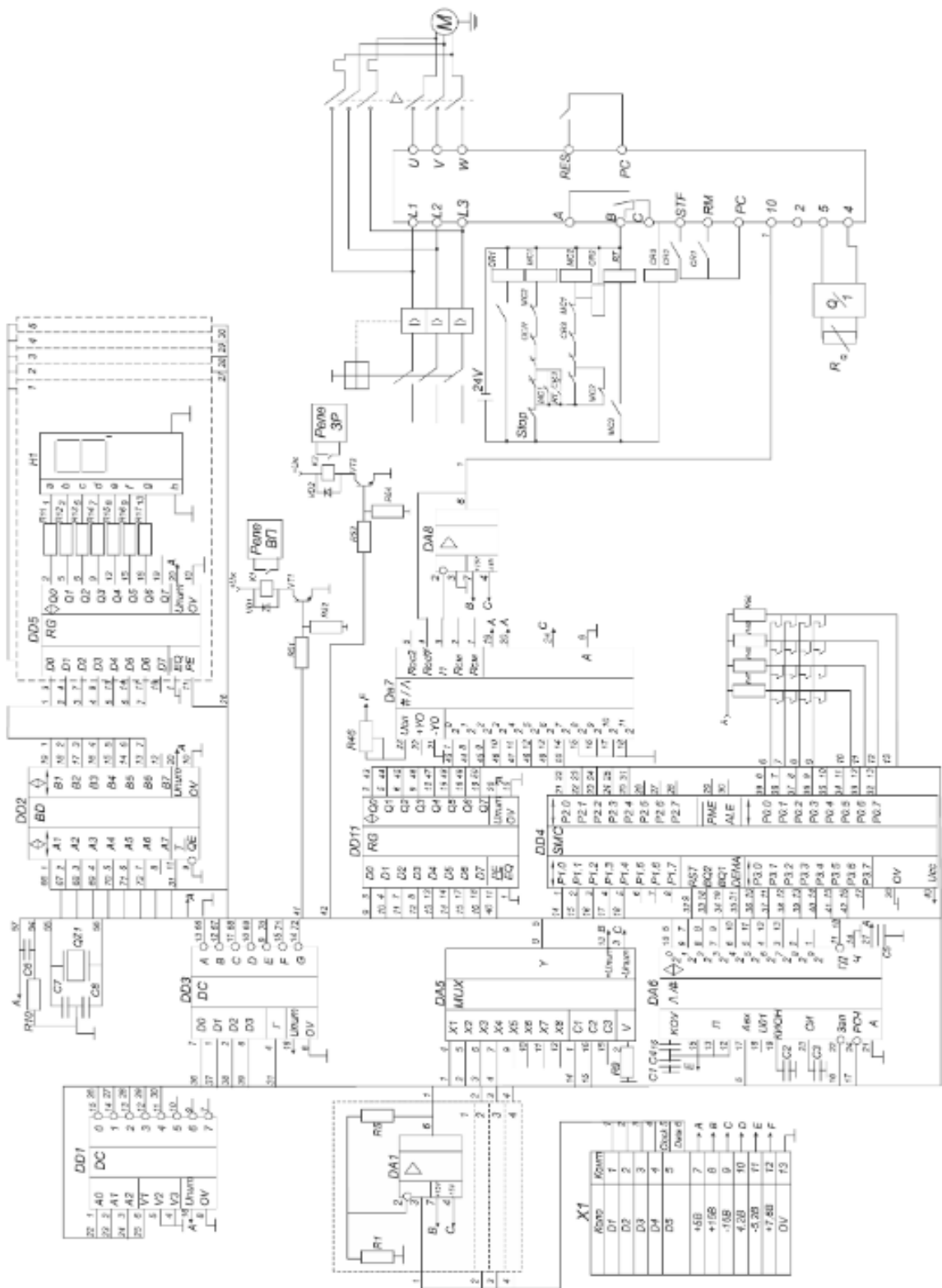
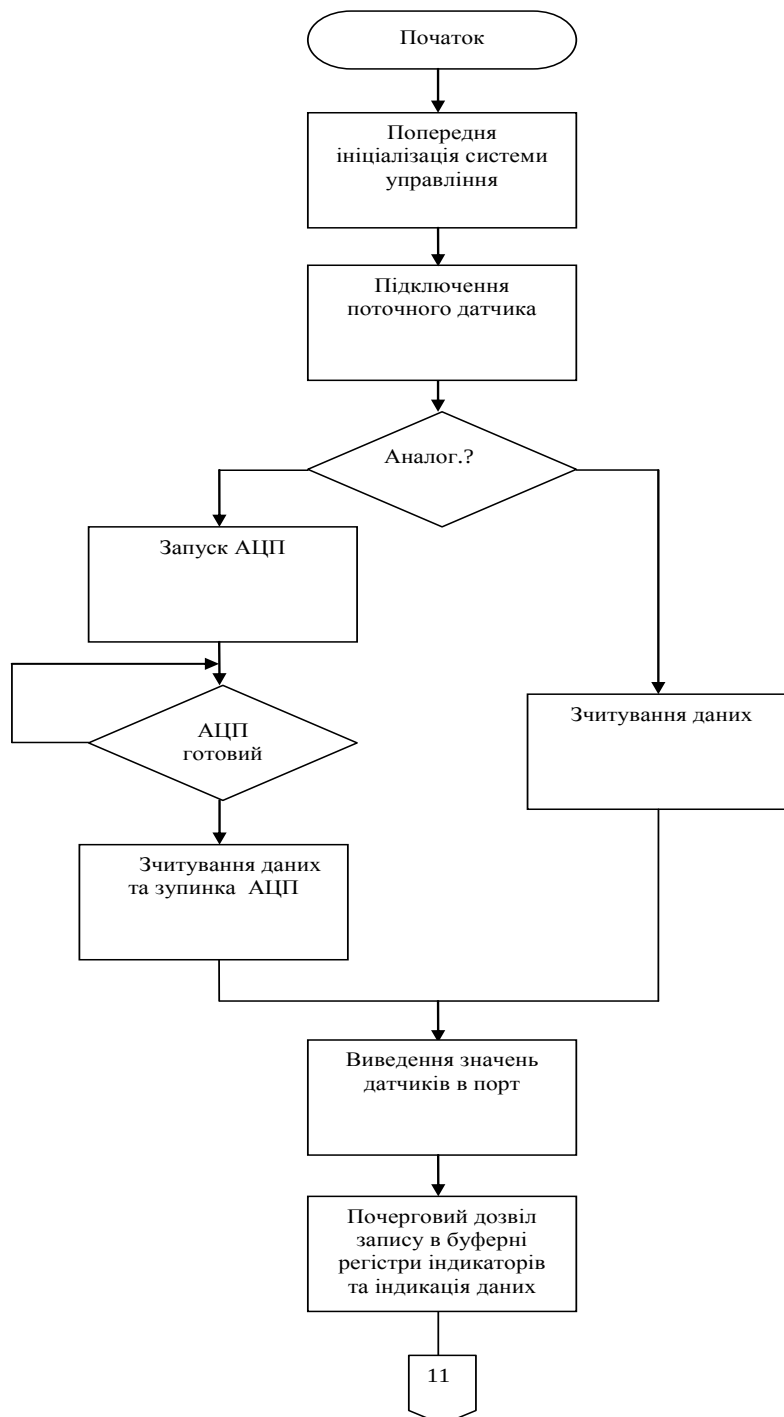


Рис. 4.4. Электрическая принципиальная схема автоматизованной системы

5. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ РЕАЛІЗАЦІЇ ЗАКОНУ УПРАВЛІННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ТА ЇЇ МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ

5.1. Алгоритму реалізації закону управління



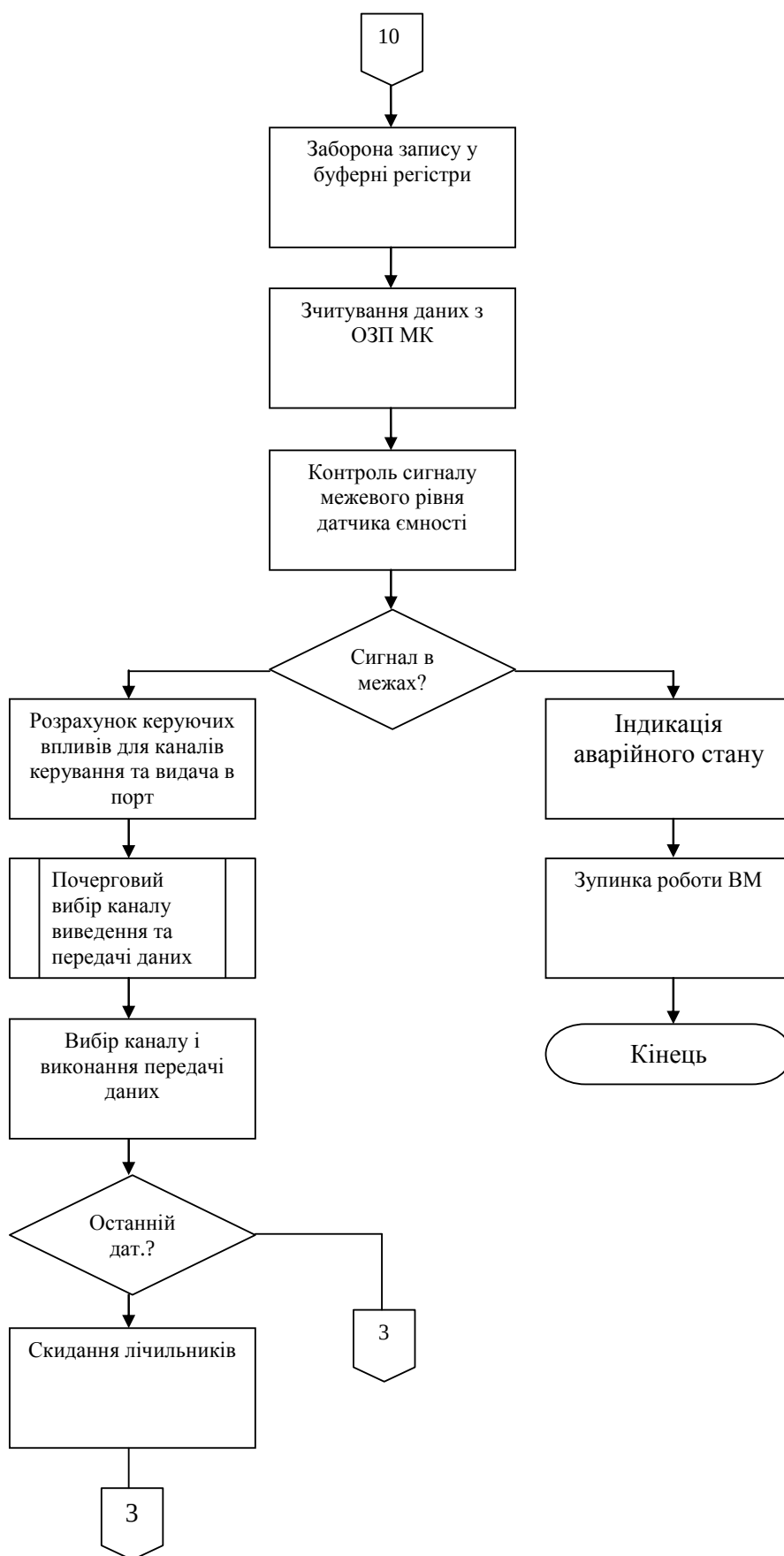


Рис.5.1. Алгоритм функціонування автоматизованої системи управління

Наведений алгоритм описує повний цикл функціонування автоматизованої системи керування, що здійснює збір, оброблення, контроль і передавання даних від датчика (зокрема датчика ємності) з використанням мікроконтролерної обчислювальної системи та аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Алгоритм має чітко визначену послідовність етапів, логічні розгалуження та механізми захисту від аварійних режимів, що забезпечує надійну та детерміновану роботу системи. Робота системи розпочинається з етапу ініціалізації. На цьому кроці виконується початкове налаштування апаратних і програмних компонентів системи керування. Ініціалізуються регістри мікроконтролера, встановлюються режими роботи периферійних модулів, конфігуруються порти введення-виведення, а також готуються до роботи внутрішні ресурси, зокрема оперативна пам'ять і службові лічильники. Цей етап є критично важливим, оскільки забезпечує коректні початкові умови для подальшого виконання алгоритму. Після завершення ініціалізації здійснюється підключення поточного датчика. На цьому кроці система встановлює логічний та електричний зв'язок із вимірювальним елементом, перевіряє його доступність і готовність до передавання інформації. Далі алгоритм переходить до перевірки типу сигналу, який надходить від датчика, а саме визначається, чи є сигнал аналоговим. Це рішення є ключовим, оскільки від нього залежить подальший шлях оброблення даних. У разі, якщо сигнал є аналоговим, ініціюється процедура запуску аналого-цифрового перетворювача. АЦП переводиться в активний стан, після чого система очікує сигналу про його готовність. Очікування триває до завершення процесу перетворення, що гарантує коректність цифрового представлення виміряної величини. Після отримання підтвердження готовності АЦП виконується зчитування результатів перетворення з подальшою зупинкою роботи АЦП, що зменшує енергоспоживання та запобігає надлишковим вимірюванням. Якщо ж на етапі перевірки встановлено, що сигнал не є аналоговим, система переходить безпосередньо до процедури зчитування цифрових даних із датчика. В обох випадках — після зчитування з АЦП або безпосереднього зчитування - отримані

значення виводяться у відповідні порти введення-виведення. Це забезпечує доступність даних для подальшої обробки або використання іншими функціональними модулями системи. Наступним етапом є почерговий дозвіл запису даних у буферні регістри індикаторів та індикації. Дані по черзі передаються до відповідних регістрів, що дає змогу відображати результати вимірювань або службову інформацію на засобах індикації. Після завершення цього процесу система переходить до наступного логічного блоку алгоритму, що позначений як перехід між частинами загальної схеми. У другій частині алгоритму спочатку виконується заборона запису у буферні регістри. Це необхідно для запобігання спотворенню даних під час їх подальшого аналізу. Після цього здійснюється зчитування даних з оперативної пам'яті мікроконтролера, де збережені результати вимірювань та проміжні обчислення. Отримані значення використовуються для контролю сигналу межевого рівня датчика ємності. Контроль межевого рівня полягає у порівнянні поточного значення сигналу з наперед заданими допустимими межами. На основі цього порівняння формується логічне рішення щодо того, чи перебуває сигнал у допустимому діапазоні. Якщо сигнал знаходиться в межах норми, алгоритм переходить до блоку розрахунку керуючих впливів для каналів керування. На цьому етапі виконуються необхідні математичні обчислення, за результатами яких формуються керуючі сигнали, що передаються на відповідні порти мікроконтролера. Далі реалізується почерговий вибір каналу для виведення та передавання даних. Система послідовно активує канали зв'язку, здійснює вибір конкретного каналу та виконує передавання даних. Після оброблення кожного каналу перевіряється умова, чи був оброблений останній датчик. Якщо ні, алгоритм повторює цикл вибору та передавання даних. У разі, коли обробка всіх датчиків завершена, виконується скидання лічильників, що готує систему до нового циклу роботи, після чого відбувається повернення до відповідного етапу алгоритму. У випадку, якщо під час контролю встановлено, що сигнал виходить за допустимі межі, система переходить до гілки аварійного реагування. Активується індикація аварійного стану, що інформує оператора або зовнішні

системи про наявність небезпечної ситуації. Після цього виконується зупинка роботи виконавчих механізмів або всієї обчислювальної машини, що забезпечує захист обладнання та запобігає подальшому розвитку аварії. На цьому робота алгоритму завершується.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті виконання магістерської дипломної роботи було здійснено комплексне дослідження, проектування та обґрунтування автоматизованої системи завантаження грануляту в термопластавтомат, що спрямована на підвищення ефективності, стабільності та керованості технологічного процесу лиття пластмас під тиском. У межах роботи насамперед проведено детальний аналіз технологічного процесу лиття пластмас під тиском як одного з найбільш поширених і продуктивних методів виготовлення виробів із полімерних матеріалів. Досліджено основні технологічні етапи процесу, визначено його експлуатаційні та економічні переваги, а також виявлено характерні недоліки, пов'язані з енергоємністю, вимогами до стабільності параметрів процесу та залежністю якості готових виробів від точності дозування і подавання сировини. Окрему увагу приділено вивченню конструктивних особливостей і принципу дії термопластавтомату. Розглянуто будову основних вузлів обладнання, зокрема системи пластикації, вузла змикання прес-форми, гідравлічних та електромеханічних приводів, а також систем керування і контролю. Проаналізовано взаємозв'язок між роботою цих вузлів і якісними показниками процесу лиття, що дозволило обґрунтувати доцільність автоматизації допоміжних операцій, зокрема процесу завантаження грануляту.

У ході роботи проведено аналіз можливих шляхів підвищення рівня автоматизації технологічного процесу лиття пластмас під тиском. Розглянуто сучасні технічні рішення, методи та засоби автоматизації, які застосовуються у промислових умовах, а також оцінено їх вплив на продуктивність, зниження людського фактора та підвищення повторюваності технологічних параметрів. За результатами аналізу визначено оптимальну концепцію автоматизованої системи завантаження грануляту, що забезпечує безперервність подавання матеріалу та узгодженість з режимами роботи термопластавтомату.

На основі обраної концепції було розроблено структурну та електричну принципову схеми автоматизованої системи завантаження грануляту. Під час проєктування здійснено вибір сучасних засобів автоматизації, зокрема датчиків рівня, виконавчих механізмів, елементів керування та мікропроцесорної системи, з урахуванням їх технічних характеристик, надійності та відповідності умовам експлуатації. Запропоновані схемні рішення забезпечують функціональну повноту системи, її адаптивність та можливість подальшого розширення. Важливим результатом роботи стало розроблення алгоритму функціонування автоматизованої системи, який визначає логіку взаємодії її складових, послідовність виконання операцій збору, оброблення та аналізу інформації, а також формування керуючих впливів. Алгоритм враховує як нормальні режими роботи, так і аварійні ситуації, що дозволяє забезпечити безпечну та надійну експлуатацію системи.

Актуальним напрямом подальших досліджень розробленої системи є поглиблений аналіз надійності окремих її складових, зокрема датчиків, виконавчих механізмів та мікропроцесорних модулів, з метою підвищення загальної відмовостійкості системи. Крім того, перспективним завданням є розроблення та реалізація керуючої програми для мікропроцесорної системи керування, що дозволить перевести запропоноване технічне рішення у завершений програмно-апаратний комплекс, придатний для впровадження в умовах реального виробництва.

СПИСОК ВИКРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. **Bolton W.** Programmable Logic Controllers: Principles and Applications. — 6th ed. — New York: Elsevier, 2015. — 624 p.
2. **Webb J. W., Reis R. A.** Programmable Logic Controllers: Principles and Applications. — 6th ed. — Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2014. — 592 p.
3. **Siemens AG.** SIMATIC S7-300 System Manual: Operating Instructions and Design Guidelines / Official Siemens Industry Support [Електронний ресурс]. — Mode of access: <https://support.industry.siemens.com>
4. **ОВЕН Україна.** Контрольно-вимірювальні прилади і промислова автоматизація виробництва: інформаційний матеріал / Офіційний сайт «ОВЕН» [Електронний ресурс]. — Mode of access: <https://owen.ua>
5. **National Instruments.** Introduction to Industrial Control Systems (ICS): Technical White Paper. — Austin, TX: NI, 2019. — 45 p. — Mode of access: <https://www.ni.com>
6. **Modbus Organization.** Modbus Application Protocol Specification V1.1b3. — Modbus Org., 2012. — 78 p. — Mode of access: <https://modbus.org>
7. **IEC 61131-3.** Programmable Controllers — Part 3: Programming Languages. — Geneva: International Electrotechnical Commission, 2013. — 98 p.
8. **Бейкер Х. Дж., Джонс Д.** Автоматизація технологічних процесів: основи та практика. — Київ: Наукова думка, 2018. — 412 с.
9. **Хабр (Habr).** Програмування ПЛК Siemens на SIMATIC STEP7 / Хабр [Електронний ресурс]. — Mode of access: <https://habr.com>