

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 681.5:664.3.033.6

**ПОГОДЖЕНО**

Директор ННІ енергетики,  
автоматики і енергозбереження  
(назва ННІ)

\_\_\_\_\_ В.В. Каплун  
(підпис) (ПІБ)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**

В.о. завідувача кафедри автоматики  
та робототехнічних систем  
ім. акад. І.І. Мартиненка  
(назва кафедри)

\_\_\_\_\_ О.О. Опришко  
(підпис) (ПІБ)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**02.06.-КМР.2059"С".2024.11.18.006.ПЗ**

на тему **«ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПАКУВАЛЬНОЮ МАШИНОЮ»**

Спеціальність:

174 – «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»  
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма:

Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка  
(назва)

Гарант освітньої програми \_\_\_\_\_  
(підпис)

Т.І. Лендел, к.т.н., доцент  
(П.І.Б, науковий ступінь та вчене звання)

Виконав \_\_\_\_\_  
(підпис)

О.А. Фомін  
(П.І.Б студента)

Керівник магістерської роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

В.О. Грищенко, к.т.н., доцент  
(П.І.Б, науковий ступінь та вчене звання)

**КИЇВ-2025**

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

В.о. завідувача кафедри  
автоматики та робототехнічних  
систем ім. акад. І.І. Мартиненка

О.О. Опришко

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ**  
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ  
(бакалаврської, дипломної)

**Фоміну Олегу Андрійовичу**

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність:

174 – «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Освітньо-професійна програма:

Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Тема магістерської кваліфікаційної роботи **«ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПАКУВАЛЬНОЮ МАШИНОЮ»**,

затверджена наказом ректора НУБіП України 18.11.2024 року № 2059«С»

Термін подання студентом магістерської роботи 15.11.2025 року

**Вихідні дані до магістерської роботи:** завдання кафедри на виконання магістерської роботи; нормативні документи по проектуванню об'єктів автоматизації; матеріали дослідження та аналізу; наукова література з тематики магістерської роботи.

**Перелік питань, що підлягають дослідженню:**

1. Технологічна характеристика об'єкта автоматизації.
2. Дослідження екструдера для виробництва пакувальної плівки.
3. Обґрунтування вибору алгоритму керування температурним режимом екструдера для виробництва пакувальної плівки та засобів його реалізації.
4. Технічна реалізація системи керування лінією групової термоусадної упаковки.
5. Схеми системи автоматизації.
6. Розробка програмного забезпечення.
7. Розробка людино-машинного інтерфейсу оператора-технолога.
8. Техніко-економічне обґрунтування.

**Дата видачі завдання** «19» листопада 2024 року

**Керівник магістерської роботи** \_\_\_\_\_

(Підпис)

Грищенко В.О.

(Прізвище та ініціали)

**Завдання прийняв до виконання** \_\_\_\_\_

(Підпис)

Фомін О.А.

(Прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

Вступ .....	5
РОЗДІЛ 1. Технологічна характеристика об'єкта автоматизації .....	9
1.1. Короткий опис технологічних операцій, здійснюваних на об'єкті автоматизації .....	9
1.2. Плівковий екструдер для виробництва термоусадної плівки SJ - B50 .....	10
1.3. Лінія групової термоусадної упаковки бутильованої у ПЕТ-пляшку продукції .....	12
1.4. Розробка функціональної схеми автоматизації процесу пакування готової продукції в ПЕТ – пляшках .....	17
1.5. Розробка завдання на систему автоматизації .....	18
РОЗДІЛ 2. Дослідження екструдера для виробництва пакувальної плівки як об'єкта автоматизації .....	20
2.1. Процеси, що здійснюються із полімером при екструзії .....	20
2.2. Розробка математичної моделі теплових процесів в екструдері для виробництва пакувальної плівки .....	23
2.3. Аналіз динаміки об'єкта управління та визначення його передатної функції .....	29
РОЗДІЛ 3. Обґрунтування вибору алгоритму керування температурним режимом екструдера для виробництва пакувальної плівки та засобів його реалізації .....	32
3.1. Вибір алгоритму керування .....	32
3.2. Розробка блок-схеми алгоритму роботи системи автоматизації екструдера для виробництва пакувальної плівки та вибір ПЛК для його реалізації .....	33
3.3. Вибір первинного вимірювального перетворювача САК .....	36
3.4. Вибір виконавчого механізму САК та визначення його передатної функції .....	39
3.5. Аналіз якості функціонування САК температурним режимом виробництва пакувальної плівки .....	42
РОЗДІЛ 4. Технічна реалізація системи керування лінією групової термоусадної упаковки .....	48
4.1. Обґрунтування вибору технічних засобів для вимірювання, виконавчих механізмів (ВМ) та регулюючих органів (РО) .....	48
РОЗДІЛ 5. Схеми системи автоматизації .....	63
5.1. Проектне компонування програмованого логічного контролера (ПЛК) .....	63
5.2. Загальна схема підключення датчиків та ВМ до ПЛК .....	65
5.3. Розширені схеми підключення для окремого контуру (контур регулювання температури нагріву термоусадної плівки) .....	68

5.4. Креслення встановлення термопари для вимірювання температури в робочій зоні .....	71
РОЗДІЛ 6. Розробка програмного забезпечення для технічної реалізації алгоритму керування пакуванням готової продукції у ПЕТ-пляшках .....	73
РОЗДІЛ 7. Розробка людино-машинного інтерфейсу оператора-технолога .....	79
7.1. Переліки вхідних та вихідних сигналів та даних SCADA/HMI .....	79
7.2. Відеокадри дисплейних мнемосхем оператора .....	80
РОЗДІЛ 8. Техніко-економічне обґрунтування .....	84
Висновки .....	89
Література .....	90
Додатки .....	92

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Результати аналізу сучасних автоматизованих технологічних комплексів пакувального, машинобудівного, приладобудівного, переробного та інших виробництв засвідчують, що незважаючи на різноманітність продукції і технологій її виготовлення, розвиток автоматизації виробничих процесів має низку загальних тенденцій.

*Перша тенденція* – застосування методу концентрації технологічних операцій під час створення автоматичного обладнання. Концентрація операцій в одній технологічній машині сприяє підвищенню її продуктивності, зумовлює невинне збільшення розмірів технологічних комплексів. Концентровані технологічні операції стають дедалі більш багатоперехідними, об'єднуючи в одній технологічній машині різнотипні переходи механічної обробки, лиття, штампування, фасування, герметизації, складання тощо. Технологічні машини *пакувального виробництва*, наприклад, об'єднують операції виготовлення тари, переробки продукту та його дозування, пакування та герметизацію в тарі. Результатом впливу цієї тенденції розвитку є зниження надійності.

*Друга тенденція* – зниження тиражності технологічних комплексів, які є часом навіть унікальними, через постійне зростання їх продуктивності, бо часто виникає ситуація, коли один-два комплекси можуть забезпечити потреби цілої галузі (сучасна обгортальна машина для кондитерських виробів може нарізати з карамельної маси до 1;8 тис. цукерок на хвилину, завернути і/та упакувати). Результатом впливу цієї тенденції розвитку є недостатність експлуатаційно-виробничої інформації про функціонування та надійність технологічних комплексів. Як наслідок цієї тенденції, дедалі більшого поширення набуває функціонально-модульний принцип побудови технологічних комплексів, що її декілька разів скорочує терміни проектування і виготовлений технічних засобів автоматизації, створює

можливості для перекомпонування та переналагодження технологічних комплектів при зміні об'єкта виробництва.

*Третя тенденція* – зростання ступеня модульності побудови технологічних комплексів завдяки дедалі повнішому промислового виготовленню функціональних вузлів та окремих машин для вмонтування в автоматичні лінії, робота яких легко узгоджується при застосуванні мікропроцесорної техніки.

Наведені вище тенденції добре простежуються в пакувальному виробництві, яке відображає загальний стан економіки, розвитку промисловості та сільського господарства будь-якої країни.

Світовий ринок пакувальної техніки швидко розвивається, досягнувши в 2000р. обсягу близько 20 млрд. USD, майже 70 млрд. USD в 2023р., і прогнозовано досягне 98 млрд. USD у 2028 році (рис. В1).

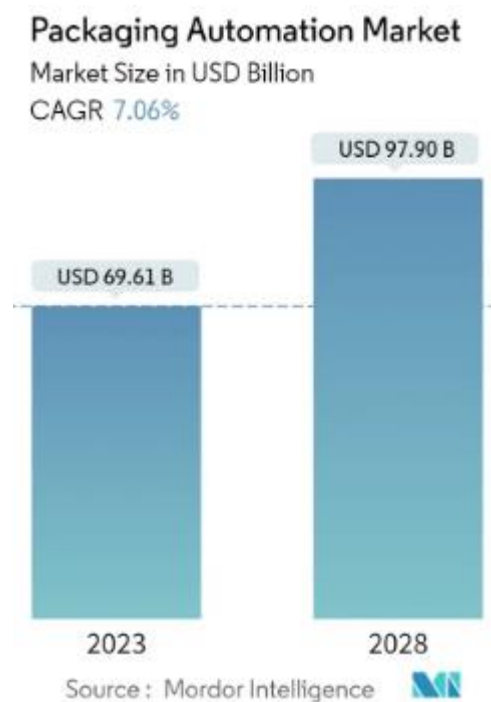


Рис. В1. Світовий розвиток пакувальної техніки [21]

Сучасне пакувальне виробництво – це одна з найбільш динамічних галузей народного господарства України. Очевидно, що інтенсивний розвиток пакувального виробництва неможливий без його автоматизації. Великі інвестиції в створення кожної пакувальної машини ставлять перед виробни-

ком вимоги забезпечити її високу продуктивність, підвищити якість упаковок, знизити собівартість одиниці упаковки. Додатковим чинником, що пришвидшує автоматизацію процесів пакування, є вимоги постійного підвищення якості упаковок, особливо продуктів харчування. Якісна упаковка забезпечує привабливий вигляд і тривале збереження харчових продуктів без втрати їх споживчих властивостей.

Сучасна автоматизована пакувальна техніка розвивається в напрямі створення високопродуктивних пакувальних машин, у яких часто об'єднуються декілька технологічних процесів, наприклад обробки продукту, виготовлення тари і пакування.

Доцільність автоматизації пакувального виробництва посилюється, окрім економічних чинників, застосуванням у сучасних технологіях пакування спеціальних газових середовищ у зоні перебування та пакування продукту для його захисту від дії мікроорганізмів і кисню, підвищеною швидкістю маніпуляційних рухів при пакуванні, застосуванням спеціальних фізико-хімічних впливів на продукт і тару. Через ці чинники людина не тільки не може переміщувати робочі органи пакувальної машини чи керувати нею, а й взагалі перебувати поблизу робочої зони.

Виходячи зі ситуації на сучасному ринку пакованої продукції, можна вважати, що впровадження автоматизації в пакувальну галузь України зумовлене дією таких чинників:

Швидке зростання обсягів пакованої продукції, забезпечити яке в умовах сучасного ринку можна тільки підвищенням продуктивності праці на основі автоматизації виробництва.

**Об'єктом дослідження** є процеси виробництва і застосування термоусадної пакувальної плівки для упаковки продукції у ПЕТ-пляшках.

**Предметом досліджень** є взаємозв'язки і закономірності режимів функціонування обладнання для виробництва термоусадної плівки та пакування бутильованої продукції та їх вплив на ефективність процесу упаковки.

*Мета і задачі досліджень.* Мета роботи полягає у підвищенні продуктивності та якості роботи обладнання для виробництва плівки та упаковки бутильованої продукції шляхом удосконалення режимів роботи і системи керування технологічним обладнанням лінії упаковки.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати складові елементи і особливості технологічного процесу виготовлення термоусадної плівки та упаковки бутильованої у ПЕТ-пляшку продукції;

- розробити математичну модель температурного режиму при виготовленні пакувальної плівки і обґрунтувати шляхи зменшення енерговитрат на її виробництво;

- визначити показники якості роботи системи керування температурним режимом виготовлення пакувальної плівки;

- розробити функціональну схему автоматизації системи керування лінією упаковки ПЕТ-пляшок термоусадною плівкою, алгоритм роботи обладнання та людино-машинний інтерфейс керування процесом упаковки технологом-оператором;

- обґрунтувати вибір технологічного обладнання системи керування технологічним обладнанням, розробити електричні схеми САК.

## РОЗДІЛ 1

### ТЕХНОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

#### **1.1. Короткий опис технологічних операцій, здійснюваних на об'єкті автоматизації**

Сучасна індустрія є багатогранною і може мати різноманітне застосування в будь-яких сферах. Також сучасна індустрія сьогодні не може існувати без засобів автоматизації. Однією з основних сфер застосування засобів автоматизації є підприємства, що займається виготовлення харчової продукції.

Одним з таких підприємств є харчове виробниче підприємство ПАТ "Пиво-безалкогольний комбінат "Радомишль" – підприємство харчової промисловості України, зайняте у галузі виробництва напоїв натурального бродіння. Розташоване у місті Радомишлі Житомирської області. На потужностях підприємства здійснює розлив сортів пива за ліцензією – Heineken, Bavaria, Oettinger, а також власних сортів, зокрема – ТМ “Бочкове”, “Свіжий розлив”, “Закарпатське”, “Галицька корона”, “Тетерів”, “Радомишль”, пива з серії “Привіт з Києва”. Підприємство виробляє продукцію в різних ємкостях, таких як пластикова пляшка 0,5л, 1л та 2л, скляна пляшка і металева банка 0,5л та кеги місткістю 50л.

Технологічний процес виготовлення пива складається з декількох етапів. Спочатку на підприємство доставляються всі необхідні компоненти і після перевірок на відповідність необхідним стандартам вони потрапляють на різні етапи виготовлення. Першим етапом є підготовка солоду де його провіюють та подрібнюють подрібнений солод змішують з водою сусло починають кип'ятити з додаванням хмелю а також інших інгредієнтів потім сусло перекачують у гідро циклон для відділення нерозчинних залишків

ячменю і хмелю. Головним етапом є бродіння пива де в отриманий розчин додаються пивні дріжджі і він зброджується при низьких температурах. Коли пиво дозріває, починається фільтрація і завершальним етапом є його пастеризація, мета якої збільшити термін зберігання. Далі пиво транспортується за допомогою труб для розливу в ємкості які їдуть по конвеєру проходячи процес етикетування та пакування і в кінці виробничої лінії готову продукцію складають на палети для подальшого транспортування замовнику.

Для пакування наповнених пивом пляшок використовується термоусадна плівка, яку виготовляють в окремому цеху підприємства за допомогою спеціального обладнання – високоефективних екструдерів марки SJ-B50, які покривають потребу підприємства у поліетиленовій продукції. Цех оснащений індивідуальною потужною системою вентиляції для запобігання можливого потрапляння у повітря продуктів виробництва поліетилену.

## **1.2. Плівковий екструдер для виробництва термоусадної плівки SJ - B50**

Серед численних моделей для виробництва пакувальної та парникової плівки, а також плівки, яка в подальшому використовується для ламінування та виготовлення пакетів, використовується високоефективний екструдер марки SJ-B50 (рис. 1.1). Для виготовлення зазначеної продукції використовується спеціальний поліетилен ПВТ та ПНТ типу.

Стабільність роботи та висока зносостійкість механізмів екструдера досягається завдяки спеціальному сплаву, яким оброблені основні рухомі елементи машини.



Рис. 1.1. Зовнішній вигляд установки для виробництва пакувальної плівки SJ-B50

Матеріал, що виготовляється на даному екструдері, отримується гладким, рівним та з однаковою товщиною, що є дуже важливим при виробництві упаковки, на яку в подальшому можливе нанесення кольорових рекламних зображень. Високий ступінь охолодження досягається за рахунок підйомної приймальної рами незалежно від ширини рукава.

Екструдер укомплектований: валом накатки; контролером швидкості намотування; кільцем обдування; пристроєм управління шириною рукава та його фіксації; двохпостовим намотником фрикційного типу; пристроями швидкої зміни фільтру та обертання голівки; контролером швидкості обертання шнеку та витягування полотна.

Основні технічні характеристики наведені в таблиці 1.1.

## Основні технічні характеристики установки SJ-B50

Діаметр шнека	50 мм
Діапазон ширини плівки	100-550 мм
Товщина плівки	0,006-0,08 мм
Продуктивність екструдера	до 25 кг/год.
Відношення довжина/діаметр шнеку	28:1
Потужність нагрівальних елементів	9 кВт
Потужність приводу шнека	7,5 кВт
Потужність двигуна витяжки	0,75 кВт
Розміри обладнання	4,8x1,9x3,8 м
Вага	1500 кг

### 1.3. Лінія групової термоусадної упаковки бутильованої у ПЕТ-пляшку продукції

Групова термоусадна упаковка продукції в ПЕТ–пляшках здійснюється на технологічній лінії, схема якої зображена на рис. 1.2.



Рис. 1.2. Лінія групової термоусадної упаковки продукції  
в ПЕТ – пляшках

Процес групової термоусадної упаковки продукції складається з послідовно виконуваних операцій.

Пляшки подаються автоматично транспортером до модуля подачі продукту і по ходу руху за допомогою механізму поділу на потоки, які

підходять до вузла групіатора для формування блоку. Далі блок з заданої кількості пляшок обертається плівкою. Сформований блок упаковки з продукцією транспортується до термотунеля, де продукція рухається по конвеєру в режимі заданої температури і заданого часу. За рахунок теплового впливу відбувається обтягування термоусадочною плівкою упакованого товару. При цьому, тепловий температурний удар доводиться виключно на полотно пакувального матеріалу, а не передаючись на упаковану продукцію.

З термотунеля упакована продукція потрапляє на ролики приймального рольганга, де гаряча плівка остуджують вентилятором. У процесі охолодження плівка вмощується і обтягує продукцію з усіх боків.

Функціональний модуль відповідає за подачу продукту. Його спрощене зображення представлено на рис. 1.3.

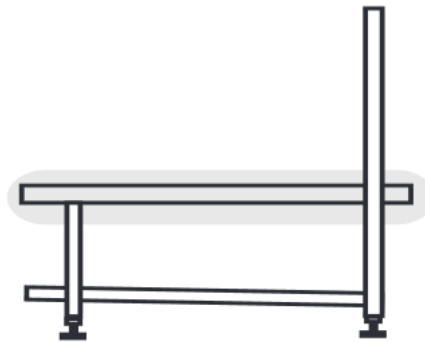


Рис. 1.3. Функціональний модуль подача продукту

Модуль подачі продукту включає в себе:

- в якості опції – регульований приводний двигун;
- регулюється перетворювачем частоти;
- в якості опції – серводвигуна система;
- в якості опції – підлаштовується під різні формати за допомогою різних регулювальних пристроїв;
- в якості опції – з можливістю заміни для різних форматів;
- датчики контролю продукту.

Ділильна система зображена на рис. 1.4. Вона складається з чотирьох ланцюгів, тобто з двох пар ланцюгів – кожна пара приводиться

серводвигунами. На обох парах ланцюгів змонтовані по два стрижня в залежності від умов виробництва кількістю тривалих органів.

Двухланцюгова розподільча система включає в себе:

- напрямок виробництва (поз. 1);
- рівень транспортера (поз. 2);
- виїмка на поверхні (поз. 3) направляє для механічної опорної точки приводів 1 і 2;
- ділильні органи (поз. 4).

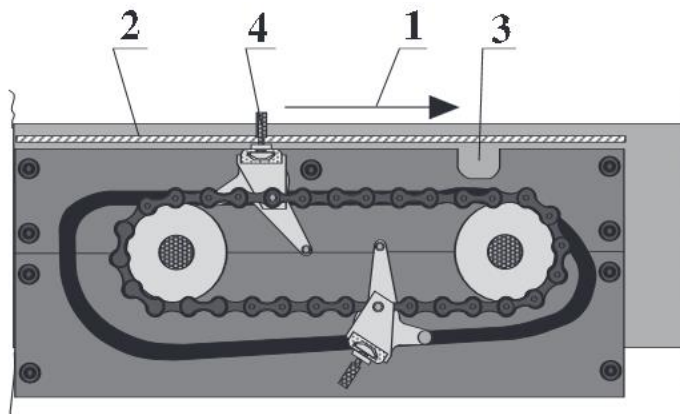


Рис. 1.4. Двухланцюгова розподільча система

Спрощене зображення функціонального модуля «верхній захватний цепок» зображено на рис. 1.5. Він починає відповідати за транспортування коли група виробів надходить від ділильної системи до місця зустрічі з відрізком плівки.

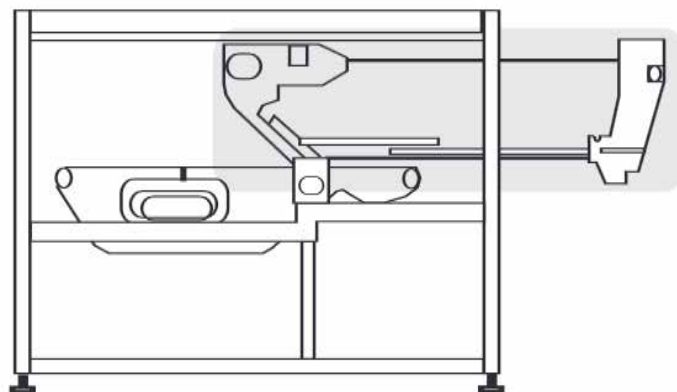


Рис. 1.5. Функціональний модуль верхній захватний цепок

Модуль верхній захватний цепок включає в себе:

- датчики контролю продукту;
- в якості опції – регулювання напрямних під різні формати за допомогою різних регулювальних пристроїв;
- в якості опції – змінні комплекти, які повинні змінюватися при зміні форматів або налаштовуватися різними регулювальними пристроями на залежні від формату розміри.

Спрощене зображення функціонального модуля, який відповідає за обробку плівкою зображений на рис. 1.6.

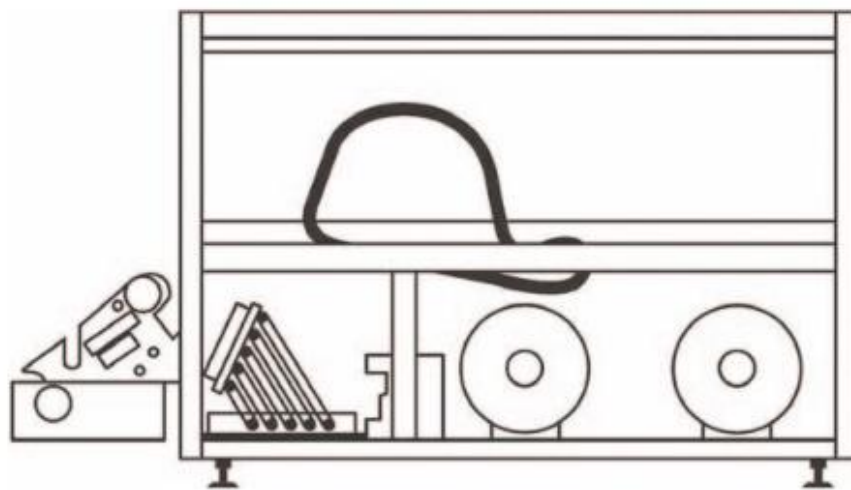


Рис. 1.6. Функціональний модуль обробка плівки

Модуль обробка плівки включає в себе:

- функціональний модуль – система транспортування плівки (з приводом від серводвигуна або з приводом через муфту);
- змотує плівку через балансир з одного з двох рулонів;
- сердечники для установки рулонів з плівкою;
- ніж для різання плівки з приводом від серводвигуна через муфту;
- датчики контролю плівки;
- антистатичні пристрої для під'єднання антистатичних стрижнів на один пристрій для зняття статичного заряду з плівки;
- функціональний модуль – обгортання в плівку;
- системою обгортки в плівку;

- стрижнями накидає плівку на групу продукту з приводом від серводвигуна;
- із захисною функцією від електроперевантаження приводу обгорткового механізму серводвигуном;
- наводить транспортер системи обгортки плівкою і відповідний транспортер.

Спрощене зображення функціонального модуля «тунель» зображено на рис. 1.7. Цей модуль відповідає за нагрів плівки, щоб вона обтягла групу виробів.

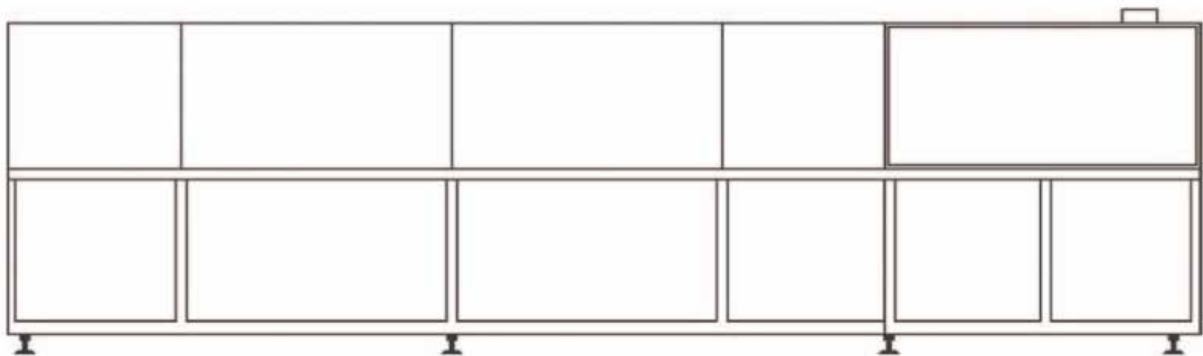


Рис. 1.7. Функціональний модуль тунель

Модуль «тунель» включає в себе:

- термоусадочний тунель;
- кілька зон нагріву;
- двигуни повітродувної установки;
- регулювальні вузли;
- для регулювання інтенсивності подачі повітря;
- з регульованим приводом ланцюгового транспортера;
- включаючи;
- різні елементи управління машиною / тунелем;
- електронні плати;
- клемні колодки, різне електрообладнання і т.д . ;
- аварійний вимикач.

### 1.4. Розробка функціональної схеми автоматизації процесу пакування готової продукції в ПЕТ – пляшках

Функціональна схема – схема, що роз'яснює певні процеси, що відбуваються у певних функціональних частинах виробу (устаткування) чи у виробі (устаткуванні) в цілому. На функціональній схемі показано вимірювальні, виконавчі та обчислювальні пристрої, які використовуються для побудови системи керування.

Функціональна схема установки пакування в ПЕТ – пляшках показана на рис. 1.8.

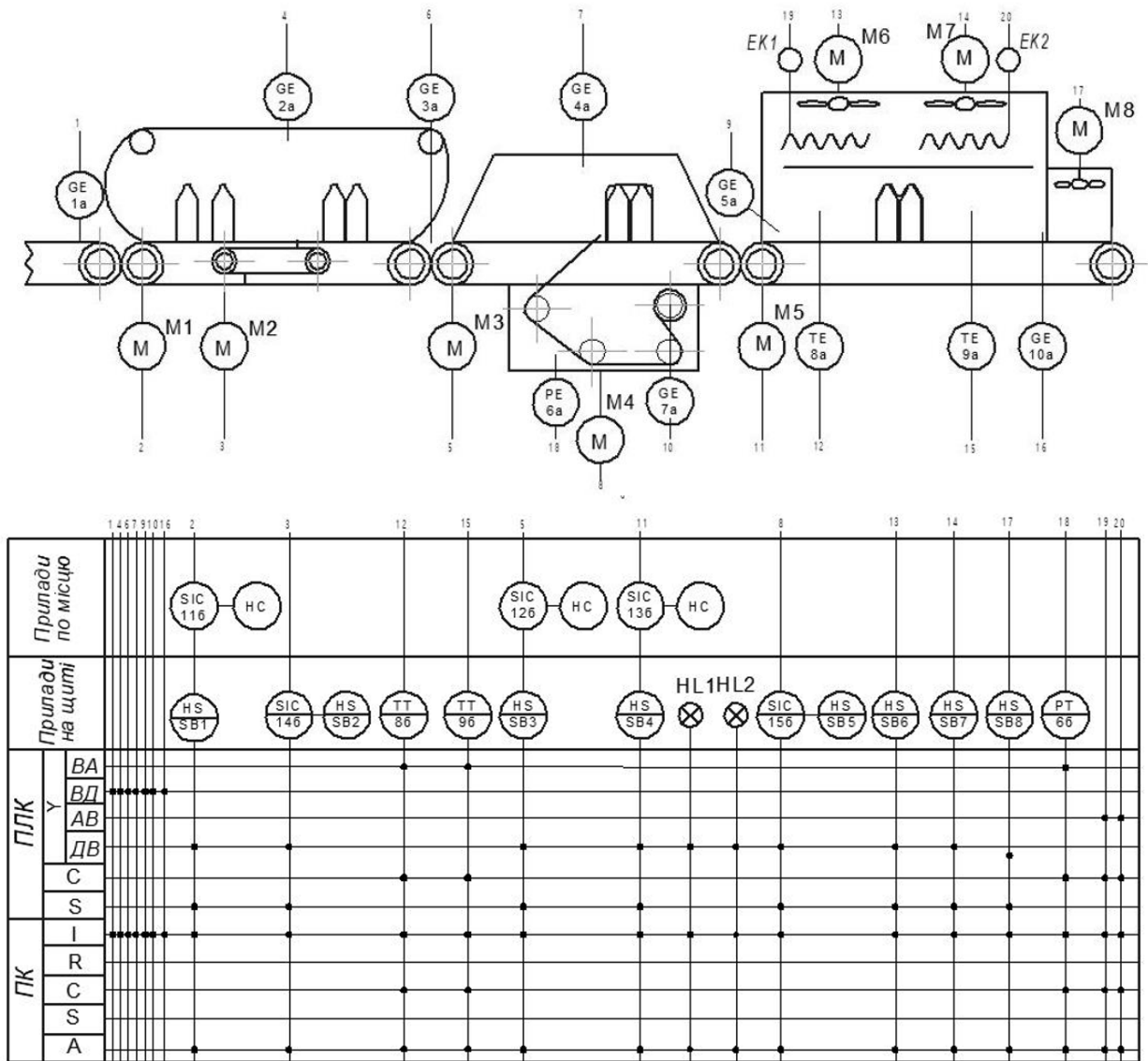


Рис. 1.8. Функціональна схема об'єкту автоматизації

Коли виріб доставляється до установки починає працювати модуль подачі продукту і спрацьовує оптичний датчик GE (поз. 1а) вмикається двигун M1(контур 2) продукція проходить крізь механізм поділу на потоки і доставляється до вузла формування блоку спрацьовує оптичний датчик GE (поз. 2а) який перевіряє наявність виробу, вмикається двигун M2 (контур 3). Далі блок з заданої кількості пляшок прямує до етапу обгортання спрацьовує оптичний датчик GE (поз. 3а), вмикається M3 (контур 5). Коли виріб досягає необхідного місця починається обгортання спрацьовують оптичні датчики GE (поз. 4а), GE (поз. 7а) та датчик тиску PE (поз. 6а) і вмикається M4 (контур 8) сформований блок упаковки продовжує транспортуватись доходячи до термотуннеля де спрацьовує оптичний датчик GE (поз. 5а) вмикається двигуни M5, M6, M7 (контури 11, 13, 14) датчики температури TE (поз. 8а) та TE (поз. 9а) починають виміри ТЕНи ЕК1, ЕК2 поступово нагрівають повітря. Починається завершальний етап остидження плівки спрацьовує оптичний датчик GE (поз. 10а) вмикається M8 (контур 17).

### **1.5. Розробка завдання на систему автоматизації**

Визначення технологічних вимог до системи автоматизації є ключовим етапом при розробці системи, від цього залежить її ефективність та загальна працездатність. Технологічні вимоги здебільшого подаються у вигляді таблиць, у якій необхідно вказати назву технологічного обладнання, до кожного агрегату наводяться ті технологічні параметри котрі необхідно контролювати їх одиниці виміру, оптимальні, гранично допустимі та аварійні значення також функції, що повинні виконуватись системою контролю та сигналізації.

Технологічні вимоги до системи автоматизації пакування напоїв у ПЕТ-пляшці наведені в таблиці 1.2.

## Технологічні вимоги до системи автоматизації

№	Машина, агрегат, установка	Параметр, місце відбору сигналу	Припустиме значення параметра	Вид автоматизації	Характер контролю чи управління	Засоби управління та контролю, реалізації управляючої дії	Додаткові умови
1	Конвеєр подачі ПЕТ пляшки	Швидкість подачі	6000 од./год.	Регулювання	Стабілізація	Вплив на двигун конвеєра	
		Контроль наявності пляшки	Є/нема	Контроль	Відображення реєстрація	АРМ оператора Щит управління	
2	Модуль обробки плівки	Контроль наявності плівки	Є/нема	Контроль	Відображення реєстрація	АРМ оператора Щит управління	
		Контроль температур и ножа	250°C	Регулювання	Стабілізація		
3	Модуль тунель	Швидкість подачі	3000 од./год.	Регулювання	Стабілізація	Вплив на двигун конвеєра	
		Контроль наявності пляшки	Є/нема	Контроль	Відображення реєстрація	АРМ оператора Щит управління	
		Контроль температури ТЕНів	180°C	Регулювання	Стабілізація	Вплив на ТЕНи тунеля	

## РОЗДІЛ 2

### ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСТРУДЕРА ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ПАКУВАЛЬНОЇ ПЛІВКИ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

#### 2.1. Процеси, що здійснюються із полімером при екструзії

Процеси, що відбуваються із полімером всередині екструдера, розглянемо на прикладі одношнекової екструзії матеріалу. Технологічний процес екструзії складається з послідовної пластифікації та переміщення матеріалу шнеком, що обертається, у зонах матеріального циліндру. Розрізняють наступні зони (рис. 2.1) екструдера: зона подачі, або живлення (1 зона), зона пластифікації (2 зона), зона дозування, або виштовхування розплаву (3 зона).

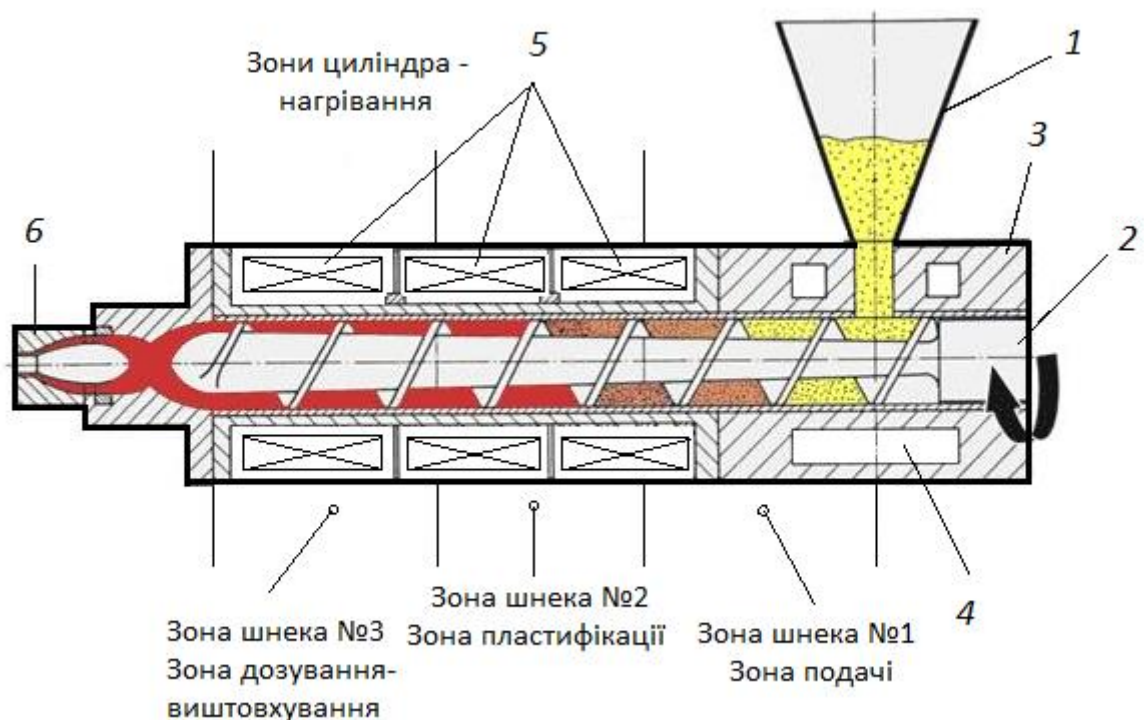


Рис. 2.1. Конструктивна схема одношнекового екструдера:  
 1 – завантажувальний бункер; 2 – шнек; 3 – матеріальний циліндр; 4 – порожнина для циркуляції води системи охолодження; 5 – електронагрівач; 6 – формуюча голівка з адаптером

Слід зауважити, що розділення шнеку на зони 1-3 є достатньо умовним, воно здійснюється за технологічною ознакою і вказує на те, яку операцію в основному виконує дана ділянка шнеку. Матеріальний циліндр також має певні довжини зон обігріву, які визначаються розташуванням нагрівачів на його поверхні та їх температурою. Границі зон шнеку 1-3 і зон обігріву циліндру можуть не співпадати. Для забезпечення успішного переміщення матеріалу велике значення мають умови просування твердого матеріалу із завантажувального бункера і заповнення міжвиткового простору, що знаходиться під воронкою бункера.

**1. Завантаження сировини.** Вихідний матеріал для екструзії, що подається в бункер, може знаходитись у вигляді гранул, порошку, стрічок. В екструдері, який розглядається в даному проєкті, для екструзії використовується гранульований поліетилен. Гранули полімеру менш схильні до "зависання" і утворення корок в бункері, ніж порошок, а також гранули легше пластифікуються і гомогенізуються.

Завантаження міжвиткового простору шнека під воронкою бункера відбувається на відрізку довжини шнека, що дорівнює  $(1-1,5)\varnothing$ .

При тривалій роботі екструдера можливий перегрів циліндру над воронкою бункера і самого бункера. В цьому випадку гранули починають злипатися, що може призвести до перекриття їх подачі на шнек. Для запобігання перегрівання цієї частини циліндру в ньому передбачені порожнини для циркуляції охолоджуючої води. Зазвичай, зона завантаження є єдиною зоною сучасних екструдерів, яка охолоджується.

**2. Зона подачі (1).** Гранули полімеру, що потрапляють із бункера, заповнюють міжвитковий простір шнека зони 1 і ущільнюються.

**3. Зона пластифікації і плавлення (2).** У зоні 2 відбувається підплавлення полімеру, що дотикається до поверхні циліндра. У тонкому шарі розплаву полімеру відбуваються інтенсивні зсувові деформації, і, як наслідок, матеріал пластифікується, що призводить до інтенсивного змішувального ефекту.

Основне збільшення тиску розплаву відбувається на межі зон 1 і 2. На цій межі корок, що утворюється із пресованого матеріалу, ковзає по шнеку: в зоні 1 це твердий матеріал, в зоні 2 він такий, що плавиться. Наявність цього корку вносить основний вклад у підвищення тиску розплаву. Накопичений на виході з циліндру тиск витрачається на подолання опору сіток, протікання розплаву в каналах головки та формування екструдованого профілю.

**4. Зона дозування та виштовхування (3).** Розплавлена маса полімеру продовжує гомогенізуватися, однак все ще не є однофазною і складається з розплавлених та твердих частинок. У кінці зони 3 пластик стає повністю гомогенним і готовим до продавлювання через очисні сітки та формуючу голівку.

До основних параметрів переробки пластмас методом екструзії відносяться:

- температура по зонам екструдера;
- тиск розплаву;
- температура зон формуючої голівки;
- режими охолодження екструдованого профілю.

Основними технологічними характеристиками екструдера є довжина шнека  $L$ , діаметр шнека  $D$ , співвідношення  $L/D$ , швидкість обертання шнека  $N$ , а також профіль шнека і ступінь зміни об'єму каналу шнека.

Основною характеристикою формуючого інструменту (формуючої голівки разом з фільтруючими сітками) та калібрувального вузла є коефіцієнт опору течії розплаву  $K$ .

Перепад тиску на фільтруючих сітках є показником засміченості, тобто збільшення опору сіток, і відповідно, сигналом для їх заміни.

## 2.2. Розробка математичної моделі теплових процесів в екструдері для виробництва пакувальної плівки

Робоча зона екструдера (рис. 2.1) складається із корпусу, шнека і нагрівальних елементів поверхневого типу. Вихід готової продукції та продуктивність преса в значній мірі залежить від температури гранул полімеру.

Математичний опис динаміки температурних режимів екструдера подано системою диференціальних рівнянь.

Для одержання математичного опису динаміки процесу нагрівання гранул полімеру в екструдері установки для виробництва пакувальної плівки приймемо такі припущення:

- градієнт температури в стінках корпусу матеріального циліндра екструдера в радіальному напрямку відсутній із врахуванням того, що корпус нагрівається за рахунок електричних нагрівальних елементів;

- теплофізичні характеристики гранул полімеру і конструктивних елементів екструдера не змінюються в часі і за координатою  $x$  та не залежать від температури;

- нехтуємо нагріванням гранул за рахунок теплоти, еквівалентної механічній енергії, що витрачається на переміщення матеріалу; коефіцієнти теплообміну і теплопередачі не залежать від температури і в часі не змінюються і дорівнюють середнім значенням за процес;

- не беремо до уваги градієнт температур при теплопередачі теплопровідністю в радіальному і осьовому напрямках в корпусі та потоці матеріалу;

- розподіл теплоти проходить в напрямку руху матеріалу(вісь  $x$ ).

Для зменшення порядку рівнянь віднесемо теплоємність шнека до теплоємності полімерних гранул.

Прийmemo такі позначення:  $\Theta_m(\tau, x)$  – температура полімерного матеріалу,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\Theta_k(\tau)$  – температура матеріального корпусу,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\Theta_h(\tau)$  – температура шнека;  $t_c$  – температура зовнішнього середовища,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $c_k m_k$  – теплоємність матеріального корпусу,  $\text{Дж/град}$ ;  $C_h$  – питома теплоємність полімерного матеріалу і шнека,  $\text{Дж/град}$ ;  $m_m, m_u$  – маса гранул полімеру в об'ємі екструдера і шнека,  $\text{кг}$ ;  $c_m, c_u, c_k$  – відповідно питома теплоємність гранул полімеру, шнека та корпусу,  $\text{Дж/кг}\cdot\text{град}$ ;  $\alpha_{zm}, \alpha_{8m}$  – коефіцієнти теплопередачі від корпусу матеріального циліндру до зовнішнього середовища і полімерного матеріалу, що рухається,  $\text{Вт/м}^2\cdot\text{град}$ ;  $f_z, f_6$  – зовнішня та внутрішня поверхня корпусу циліндра,  $\text{м}^2$ ;  $f_h$  – поверхня шнека,  $\text{м}^2$ ;  $L$  – довжина робочої зони екструдера,  $\text{м}$ ;  $G$  – подача матеріалу в корпусі (середня продуктивність екструдера),  $\text{кг/с}$ ;  $P$  – потужність нагрівальних елементів,  $\text{Вт}$ ;  $q = P/L$  – питома виділення теплоти,  $\text{Вт/м}$ .

Розглянемо елемент робочої зони преса довжиною  $dx$ . Відповідно до теплофізичної моделі процесу рівняння теплового балансу, що описує зміну температури, буде мати вигляд для корпусу екструдера:

$$c_k S_k \rho_k dx d\Theta_k = P(x) dx d\tau - \frac{\alpha_6 f_6}{L} (\Theta_k - \Theta_m) - \frac{\alpha_3 f_3}{L} (\Theta_k - t_c) dx d\tau, \quad (2.1)$$

для полімерного розплаву:

$$c \rho_m S_m dx d\Theta_m = \frac{\alpha_6 f_6}{L} (\Theta_k - \Theta_m) dx d\tau - \frac{\alpha_h f_h}{L} (\Theta_m - \Theta_h) dx d\tau, \quad (2.2)$$

для шнека екструдера:

$$c_h S_h \rho_h S_m dx d\Theta_h = \frac{\alpha_h f_h}{L} (\Theta_m - \Theta_h) dx d\tau, \quad (2.3)$$

де:  $c_k$  – теплоємність корпусу екструдера,  $\text{Дж/(кг}\cdot\text{град)}$ ;  $S_k, S_m, S_h$  – відповідно площа перетину корпусу, полімерного матеріалу та шнека,  $\text{м}^2$ ;  $\rho_k, \rho_m$  – густина корпусу екструдера та матеріалу,  $\text{г/м}^3$ ;  $P(x)$  – прикладена

потужність нагрівачів,  $Вт$ ;  $L$  – довжина шнека,  $м$ ;  $\alpha_e$  – тепловіддача від внутрішньої поверхні екструдера,  $Вт/(^{\circ}C \cdot м^2)$ ;  $f_e$  – площа внутрішньої поверхні екструдера,  $м^2$ ;  $\alpha_s$  – тепловіддача від зовнішньої поверхні екструдера,  $Вт/(^{\circ}C \cdot м^2)$ ;  $f_s$  – площа зовнішньої поверхні екструдера,  $м^2$ ;  $\Theta_c$  – температура корпуса,  $^{\circ}C$ ;  $\Theta_m$  – температура полімерного розплаву,  $^{\circ}C$ .

Розкриваючи повні диференціали  $d\Theta = \frac{\partial \Theta}{\partial \tau} \partial \tau + \frac{\partial \Theta}{\partial x} dx$  температур корпуса екструдера і матеріалу з урахуванням, що  $\frac{dx}{\partial \tau} = V$  ( $V$  – швидкість руху для корпуса;  $V=0$ ), а  $S\rho = \frac{G}{V}$ ,  $m = S\rho L$ .

Після перетворень одержимо математичний опис теплових процесів у вигляді системи рівнянь:

$$\begin{cases} m_k c_k \frac{\partial \Theta_k}{\partial \tau} = P(x) - \alpha_a f_a (\Theta_e - \Theta_i) - \alpha_c f_c (\Theta_k - t_c); \\ m_i c_i \frac{\partial \Theta_i}{\partial \tau} + GcL \frac{\partial \Theta_i}{\partial x} = \alpha_a f_a (\Theta_e - \Theta_i) - \alpha_h f_h (\Theta_e - \Theta_i); \\ m_h c_h \frac{\partial \Theta_h}{\partial \tau} = \alpha_h f_h (\Theta_i - \Theta_h); \end{cases} \quad (2.4)$$

Система рівнянь (2.4) не має аналітичного розв'язку відносно  $\Theta_k(\tau)$  і  $\Theta_m(\tau)$ . Для визначення динамічних температурних режимів скористаємось наближеним методом [7].

Для визначення градієнту температури в напрямку руху полімерного матеріалу розглянемо статичні характеристики об'єкта за умови  $\frac{d\Theta_k}{\partial \tau} = \frac{d\Theta_m}{\partial \tau} = \frac{d\Theta_h}{\partial \tau} = 0$ ;  $\frac{d\Theta_m}{\partial \tau} = 0$ . Система рівнянь (2.4) при цьому буде описувати сталий (встановлений) режим.

$$\begin{cases} P - \alpha_e f_e (\Theta_k - \Theta_m) - \alpha_s f_s (\Theta_k - t_s); \\ GcL \frac{d\Theta_m}{dx} = \alpha_e f_e (\Theta_k - \Theta_m) - \alpha_h f_h (\Theta_m - \Theta_h); \\ \Theta_h = \Theta_m; \end{cases} \quad (2.5)$$

Розподіл температури полімерного розплаву визначимо за довжиною робочої зони екструдера.

З першого рівняння системи (2.5) отримаємо значення температури корпусу  $\Theta_k$ :

$$\Theta_k = a + b\Theta_m, \quad (2.6)$$

$$\text{де: } a = \frac{P(x) + \alpha_3 f_3 t_3}{\alpha_3 f_3 + \alpha_6 f_6}; \quad b = \frac{\alpha_6 f_6}{\alpha_3 f_3 + \alpha_6 f_6}.$$

Підставляючи значення  $\Theta_k$  у друге рівняння системи (2.5), одержимо:

$$T_m \frac{d\Theta_m}{dx} = \alpha - (1-b)\Theta_m, \quad (2.7)$$

$$\text{де } T_m = \frac{cGL}{\alpha_6 f_6 + \alpha_3 f_3}.$$

Розв'язок рівняння (2.7) отримуємо для граничних умов:  $x = 0$ ,  $\Theta_m = \Theta_1$ ;  $P(x) = P = \text{const}$  у вигляді:

$$\Theta(x) = \frac{a}{1-b} - \left( \frac{a}{1-b} - \Theta_1 \right) e^{-\frac{x}{T_m}(1-b)} \quad (2.8)$$

Розподіл температури полімерного розплаву в робочій зоні екструдера для сталого режиму наведено на рис. 2.2. Аналіз графічних залежностей  $tz(x)$  показує, що частина робочої зони використовується не ефективно, тобто полімерний розплав за певних умов не досягає заданої технологічними вимогами температури.

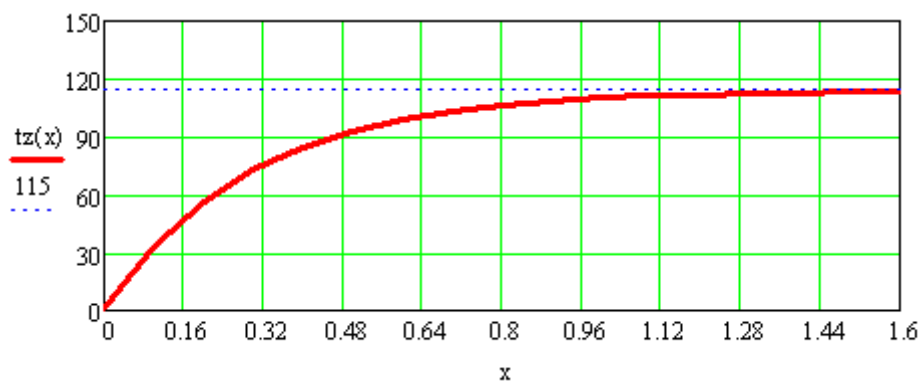


Рис. 2.2. Розподіл температури матеріалу в робочій зоні екструдера для сталого режиму

В роботі [7] автор пропонує збільшити потужність, що передається в корпус екструдера, для створення рівномірного температурного поля екструзії полімерів під час переробки.

Визначимо градієнт температури полімерного матеріалу по координаті напрямку руху і продеференціюємо рівняння (2.8)

$$\frac{d\Theta_m(x)}{dx} = \frac{1-b}{T_x} \left( \frac{a}{1-b} - \Theta_1 \right) e^{-\frac{1-b}{T}x} \quad (2.9)$$

Підставляючи отримане значення в друге рівняння системи (2.4), після відповідних перетворень матимемо:

$$m_m c_m \frac{d\Theta_m}{d\tau} = -\alpha_e f_e (a - (1-b)\Theta_1) e^{-\frac{(1-b)\alpha_e f_e x}{GcL}} + \alpha_e f_e \Theta_k + \alpha_h f_h \Theta_h - (\alpha_e f_e + \alpha_h f_h) \Theta_m \quad (2.10)$$

Таким чином, замість системи рівнянь (2.4) в частинних похідних отримали систему рівнянь в звичайних похідних, яка має аналітичний розв'язок.

Позначимо першу складову лівої частини рівняння (2.10) через функцію координати  $F(x)$  (сталу за часом). Тоді математичну модель динаміки температурних режимів запишемо у вигляді:

$$\begin{cases} \frac{m_k c_k}{\alpha_e f_e + \alpha_k f_k} \frac{\partial \Theta_k}{\partial \tau} + \Theta_k = \frac{P}{\alpha_e f_e + \alpha_k f_k} - \frac{\alpha_e f_e}{\alpha_e f_e + \alpha_k f_k} \Theta_m + \frac{\alpha_3 f_3}{\alpha_e f_e + \alpha_k f_k} t_3; \\ \frac{m_m c_m}{\alpha_k f_k + \alpha_h f_h} \frac{\partial \Theta_m}{\partial \tau} + \Theta_m = -F(x, G, \Theta_1) + \frac{\alpha_k f_k}{\alpha_k f_k + \alpha_h f_h} \Theta_k - \frac{\alpha_h f_h}{\alpha_k f_k + \alpha_h f_h} \Theta_h; \\ \frac{m_h c_h}{\alpha_h f_h} \frac{\partial \Theta_h}{\partial \tau} + \Theta_h = \Theta_m; \end{cases} \quad (2.11)$$

Для спрощення математичного опису, не змінною для загальної фізичної картини теплових процесів, приймаємо, що температура на поверхні шнека дорівнює температурі полімерного матеріалу, а теплоємність шнека додамо до теплоємності матеріалу, використавши поняття еквівалентної теплоємності:  $mc = m_m c_m + m_h c_h$ .

Введемо такі позначення:

$$T_{\kappa} = \frac{m_{\kappa} c_{\kappa}}{\alpha_{\kappa} f_{\kappa}}; \quad a_1 = \frac{\alpha_{\kappa} f_{\kappa} + \alpha_{\kappa} f_{\kappa}}{\alpha_{\kappa} f_{\kappa}}; \quad a_1 = \frac{P + \alpha_{\kappa} f_{\kappa} t_3}{\alpha_{\kappa} f_{\kappa}}; \quad T_{\eta} = \frac{m_{\kappa} c_{\kappa} + m_h c_h}{\alpha_{\kappa} f_{\kappa}}; \quad a_2 = 1;$$

$$b_2 = \alpha_{\kappa} f_{\kappa} (a - (1-b)\Theta_{\kappa 1}) e^{-\frac{(1-b)\alpha_{\kappa} f_{\kappa} x}{cL}} = b_2(x).$$

З урахуванням зроблених позначень, перше та друге рівняння системи (2.11) запишемо у вигляді:

$$T_{\kappa} \frac{d\Theta_{\kappa}}{d\tau} + a_1 \Theta_{\kappa} - b_1 = \Theta_{\kappa} \quad (2.12)$$

$$T_{\kappa} \frac{d\Theta_{\kappa}}{d\tau} + \Theta_{\kappa} - b_2(x) = \Theta_{\kappa} \quad (2.13)$$

Зводячи рівняння (2.12) і (2.13) до одного, матимемо:

$$T_{\kappa} T_{\kappa} \frac{d^2 \Theta_{\kappa}}{d\tau^2} + (T_{\kappa} + a_1 T_{\kappa}) \frac{d\Theta_{\kappa}}{d\tau} + (a_1 + 1) \Theta_{\kappa} = a_1 b_2(x) \quad (2.14)$$

Розв'язок неоднорідного диференціального рівняння (2.14) за початкових умов:  $\tau = 0$ ;  $\Theta_{\kappa} = \Theta_{\kappa 0}$ ,  $d\Theta_{\kappa}/d\tau = 0$  (де  $\Theta_{\kappa 0}$  – початкове значення температури полімерних гранул) отримаємо у вигляді:

$$\Theta_{\kappa}(\tau, x) = \frac{\Theta_{\kappa 0} - D_1(x)}{C(r_1 - r_2)} (r_1 e^{r_2 \tau} - r_2 e^{r_1 \tau}) + \frac{D_1(x)}{C} \quad (2.15)$$

де:  $r_{1,2} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$  - корені характеристичного рівняння;  $A = T_{\kappa} T_{\kappa}$ ;

$$B = T_{\kappa} + a_1 T_{\kappa}; \quad c = a_1 - 1; \quad D_1(x) = a_1 b_2(x).$$

Аналогічно отримаємо рівняння зміни температури корпусу.

$$\Theta_{\kappa}(\tau, x) = \frac{C\Theta_{\kappa 0} - D_2(x)}{C(r_1 - r_2)} (r_1 e^{r_2 \tau} - r_2 e^{r_1 \tau}) + \frac{D_2(x)}{C} \quad (2.16)$$

де:  $D_2(x) = a_1 b_2(x)$ .

За отриманими рівняннями будуюмо розгінні характеристики екструдера для виробництва пакувальної плівки (рис. 2.3).

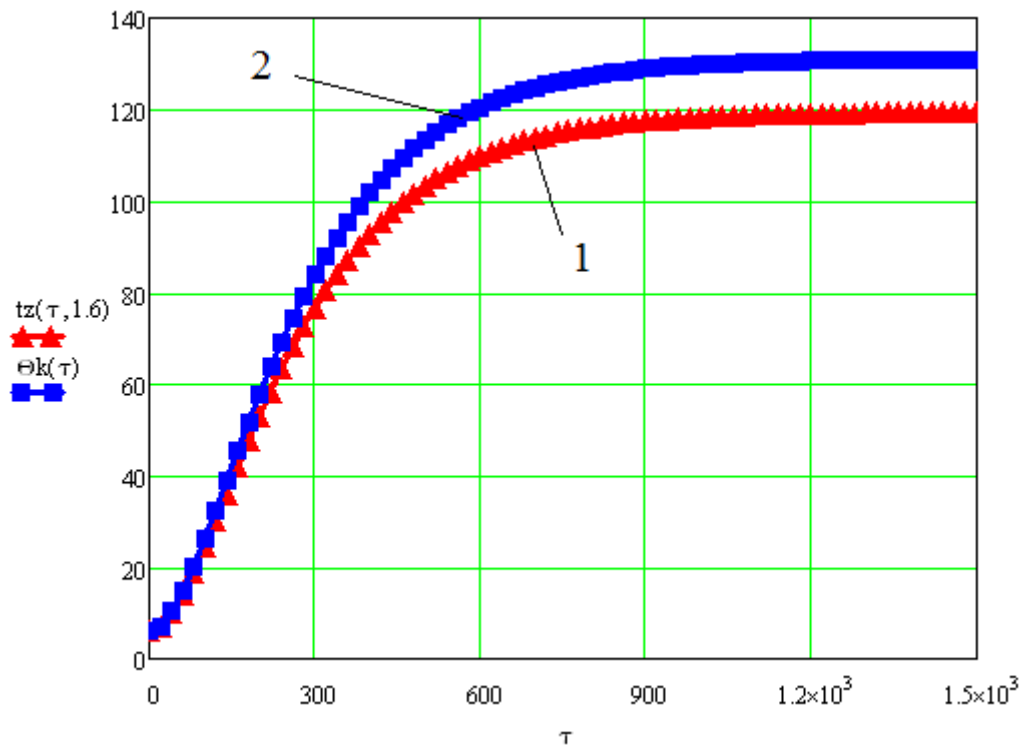


Рис. 2.3. Розподіл температури полімерного розплаву (1) та корпусу екструдера (2) в робочій зоні при сталому режимі ( $\Theta_k, ^\circ\text{C}$ ;  $t_z, ^\circ\text{C}$ ;  $x, \text{м}$ )

**Висновки.** У результаті математичного моделювання виявлено можливості підвищення ефективності роботи екструдера шляхом використання диференційованих режимів нагріву матеріального корпусу в робочій зоні.

### 2.3. Аналіз динаміки об'єкта управління та визначення його передатної функції

Для визначення передатної функції екструдера для виробництва пакувальної плівки для каналу керування був використаний графічний метод [7]. Для цього розгінна характеристика (рис. 2.3, 1) була пронормована за виразом

$$y(t_i) = \frac{y(t_i) - y(t_0)}{y(\infty) - y(t_0)} = \frac{y(t_i) - 6}{120 - 6} \quad (2.17)$$

Результати розрахунку занесені в таблицю (додаток А), нормована крива розгону екструдера зображена на рис. 2.4.

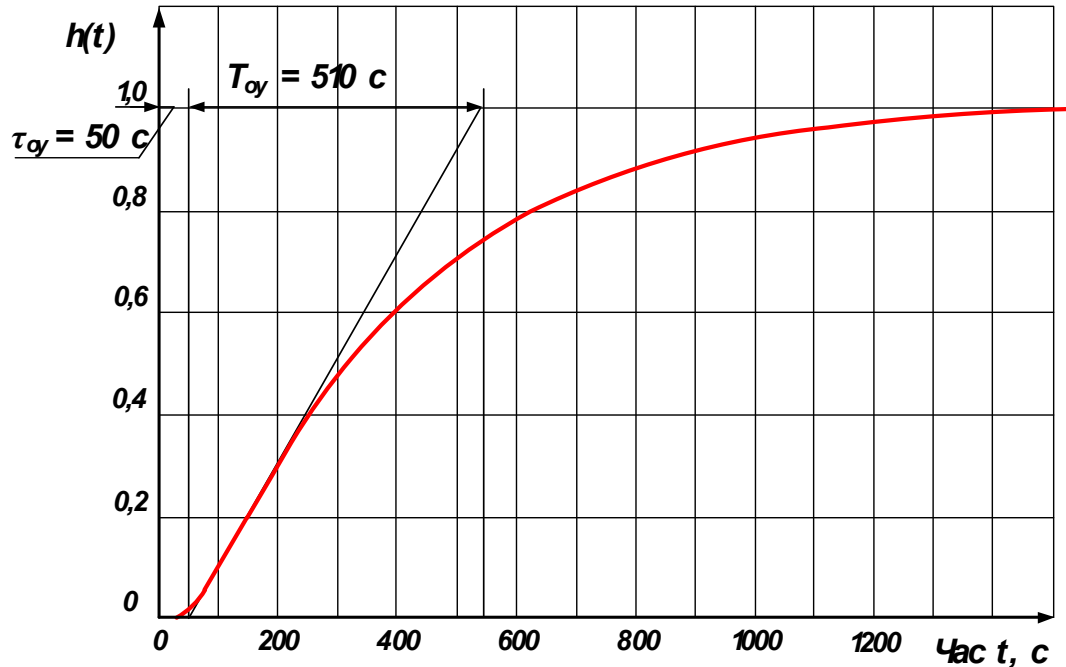


Рис. 2.4. Нормована розгінна характеристика екструдера для каналу керування температурним режимом екструзії полімерного матеріалу

Для статичних об'єктів передатна функція, отримана за кривою розгону, представляється у вигляді інерційної ланки із запізненням.

$$W(s) = \frac{k_{oy} \cdot e^{-\tau_{oy} \cdot s}}{T_{oy} \cdot s + 1} \quad (2.18)$$

де  $k_{oy}$  - коефіцієнт передачі об'єкта;  $T_{oy}$  - постійна часу об'єкта, що характеризує його інерційність, с;  $\tau_{oy}$  - час чистого запізнення, с.

Чисельне значення постійної часу  $T_{oy}$  та часу запізнення  $\tau_{oy}$  об'єкта знаходять за допомогою дотичної, яку проводять до точки перегину нормованої розгінної характеристики (рис. 2.4). Точка перегину відповідає середині відрізка часу, на якому спостерігається максимальний приріст ординати кривої розгону.

Коефіцієнт передачі об'єкта управління визначаємо за формулою

$$k_{OY} = \frac{T_k - T_n}{P_k - P_n} \quad (2.19)$$

де  $T_K$  та  $T_{II}$  – відповідно кінцева та початкова температура полімерного розплаву, °C;

$P_K$  та  $P_{II}$  – відповідно кінцеве та початкове відносне значення споживаної потужності електронагрівача, що відповідають значенням температури  $T_K$  та  $T_{II}$ , %.

$$T_K = 120^\circ C, T_{II} = 6^\circ C; P_K = 100\%, P_{II} = 0\% .$$

$$k_{OY} = \frac{120 - 6}{100 - 0} = 1,14 \left[ \frac{^\circ C}{\% \text{ потужності}} \right] .$$

Значення постійної часу та часу чистого запізнення, визначені з нормованої розгінної характеристики, складають

$$T_{OY} = 510 \text{ с}, \tau_{OY} = 50 \text{ с} .$$

Передатна функція екструдера для каналу керування температурним режимом екструзії полімерного матеріалу

$$W_{OY}(s) = \frac{1,14 \cdot e^{-50 \cdot s}}{510 \cdot s + 1} .$$

### РОЗДІЛ 3

## ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНИМ РЕЖИМОМ ЕКСТРУДЕРА ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ПАКУВАЛЬНОЇ ПЛІВКИ ТА ЗАСОБІВ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ

### 3.1. Вибір алгоритму керування

Будь-яка система автоматичного керування складається з регулятора та об'єкта керування. Динамічні властивості останнього відіграють вирішальну роль при виборі найбільш ефективного алгоритму керування.

Встановлено, що критерієм для правильного вибору алгоритму керування може служити значення відношення часу чистого запізнення об'єкта до його постійної часу, тобто  $\frac{\tau_{ov}}{T_{ov}}$  [10]. Для цього передатна функція для статичного об'єкта повинна бути представлена у вигляді (2.18).

При  $\frac{\tau_{ov}}{T_{ov}} < 0,2$  вибирають регулятор позиційної дії, при  $\frac{\tau_{ov}}{T_{ov}} > 1$  - регулятор імпульсного типу, а якщо  $0,2 \leq \frac{\tau_{ov}}{T_{ov}} \leq 1$  - регулятор неперервної дії.

Крім того, для обґрунтування алгоритму керування і вибору регулятора, який відповідає цьому алгоритму, необхідно знати не тільки властивості об'єкта та вимоги до технологічного процесу, але й деякі конструктивні особливості самих регуляторів. Промислові регулятори реалізують алгоритм керування з певною похибкою, що обов'язково повинно враховуватись при виборі усіх технічних засобів, що входять до складу системи автоматизації.

Передатна функція екструдера  $W_{ov}(s) = \frac{1,14 \cdot e^{-50 \cdot s}}{510 \cdot s + 1}$ , для нього відношення  $(\tau/T) = (50/510) = 0,098$ , тому за вказаними співвідношеннями необхідно застосувати алгоритм керування позиційної дії.

### 3.2. Розробка блок-схеми алгоритму роботи системи автоматизації екструдера для виробництва пакувальної плівки та вибір ПЛК для його реалізації

Згідно завдання технолога необхідно забезпечити реалізацію алгоритму регулятора температури, працюючого по гістерезисному закону, а також техніку підтримки температур в заданих межах.

Необхідно реалізувати алгоритм терморегулятора, що працює в 5 режимах:

- тип логіки 0. регулятор вимкнено;
- тип логіки 1 (прямий гістерезис) застосовується в тому випадку, коли використовується для управління роботою нагрівача (наприклад, ТЕНа) або сигналізації про те, що значення поточного виміру  $T_{\text{пот}}$  менше уставки  $T$ . ( $T - \Delta$ ), виключає при  $T_{\text{пот}} > (T + \Delta)$  і заново включається при  $T_{\text{пот}} < (T - \Delta)$ , здійснюючи те саме двопозиційне регулювання за станом  $T$  з гістерезисом  $\pm \Delta$ ;
- тип логіки 2 (зворотній гістерезис) застосовується в разі використання прибору для сигналізації про перевищення верхньої межі температури. При цьому вихідний пристрій первинно включається при значенні  $T_{\text{пот}} > (T + \Delta)$ , виключає при  $T_{\text{пот}} < (T - \Delta)$ ;
- тип логіки 3 застосовується при використанні приладів для сигналізації про входе контрольованих величин в заданих межах. При цьому вихідний пристрій включається при  $(T - \Delta) < T_{\text{пот}} < (T + \Delta)$ ;
- тип логіки 4 (U-подібна) застосовується при використанні приладів для сигналізації про виходи контрольованих величин для заданих меж. При цьому вихідний пристрій включає при  $T_{\text{пот}} < (T - \Delta)$  і  $T_{\text{пот}} > (T + \Delta)$ .

Завдання уставки ( $T$ ) і гістерезиса ( $\Delta$ ) проводиться при програмуванні параметрів регулювання прибору, або технологом з ПК без доступу до програмування ПЛК (тобто внесення мають діяти впродовж зміни).

Наглядна робота може бути пояснена за допомогою діаграм на рис. 3.1.

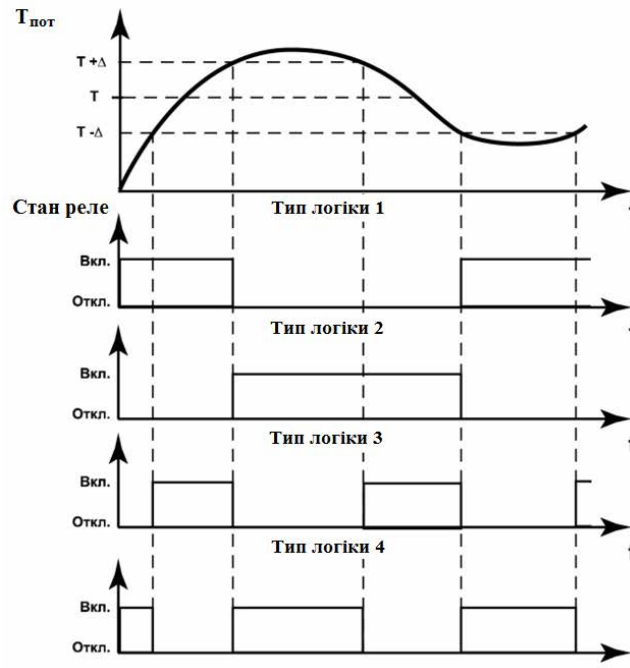


Рис. 3.1. Діаграма роботи логічного пристрою в різних режимах

Основною задачею алгоритм роботи є виконання відповідної послідовності запуску екструдера. Тому алгоритм роботи програмами автоматичного керування роботою екструдера буде відповідати технічним вимогам до «Запуску процесу» (рис. 3.2).

Відповідно до вище наведеної блок-схеми алгоритму роботи екструдера, технологічний процес починається із введення значень контролера в нульове положення (скидання параметрів). Наступним кроком оператор натискає на кнопку «Старт», електродвигун приводу шнеку екструдера вмикається на одну хвилину, під час якої оператор перевіряє струм холостого ходу, і якщо він перевищує допустимий, оператор натискає на кнопку «Стоп».

При рівні струму електродвигуна, що відповідає паспортним значенням, вмикаються усі три ТЕНи на 10 хвилин. Відбувається розігрів корпусу екструдера. Далі усі ТЕНи вимикається, і протягом 10 хвилин відбувається незначне охолодження корпусу екструдера.

Наступним кроком починається процес екструзії. Вмикається електродвигун приводу шнеку екструдера та 1 група нагріву, що складається із двох ТЕНів основного нагріву потужністю  $3+3=6$  кВт (ТЕНи-1). Ця група ТЕНів неперервно працює протягом процесу екструзії, завдяки чому здійснюється нагрівання зони пластифікації пресу.

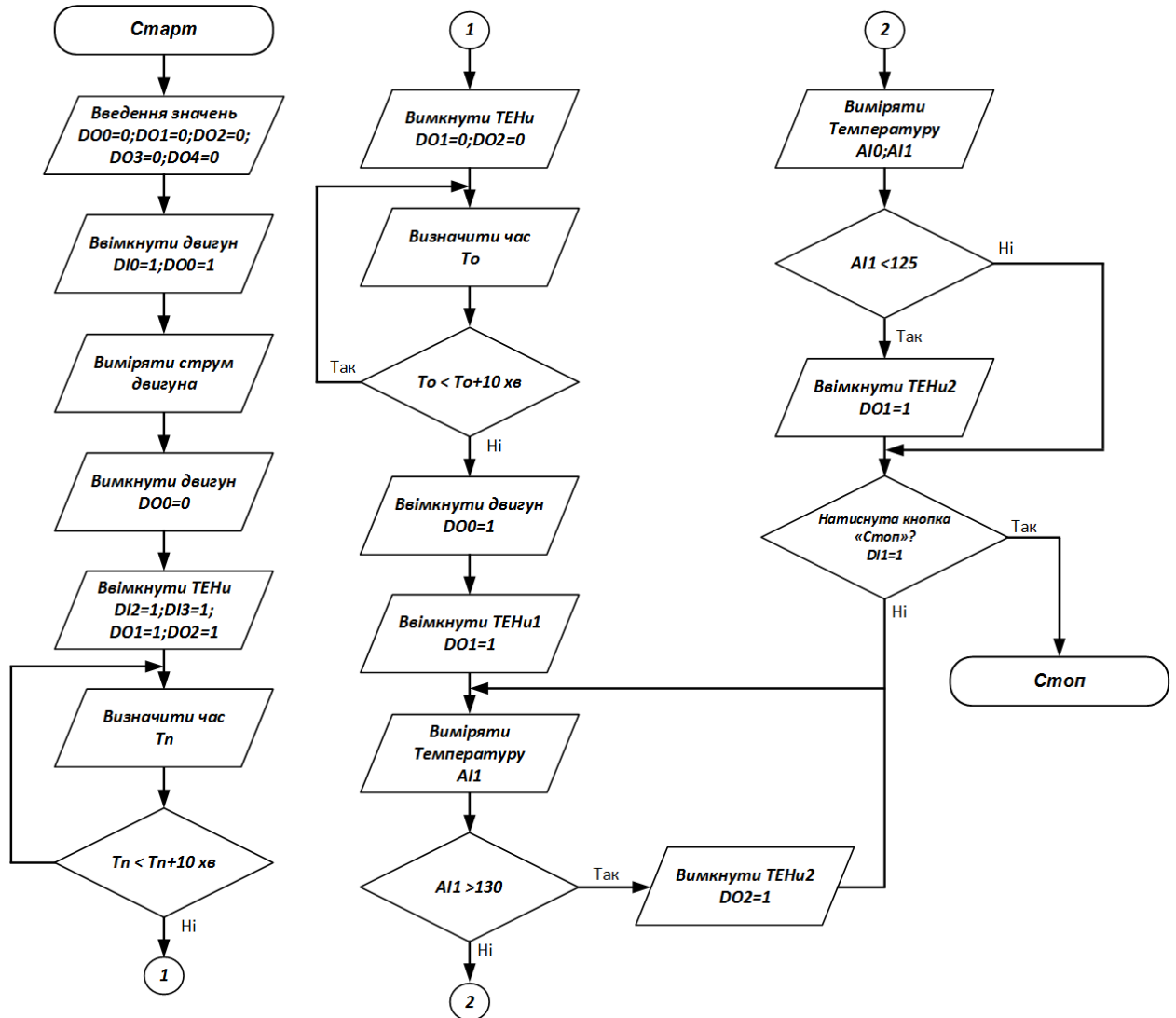


Рис. 3.2. Блок-схема алгоритму керування обладнанням екструдера для виробництва пакувальної плівки

Сам процес регулювання температури корпусу екструдера здійснюється за допомогою третього ТЕНу потужністю 3 кВт (зона дозування-виштовхування – група нагріву ТЕНи-2), чим і досягається підвищення ефективності процесу виробництва пакувальної плівки.

При цьому вимірюється температура корпусу екструдера, порівнюється зі значенням  $130^{\circ}\text{C}$ , і якщо вона перевищує заданий рівень, то група нагріву ТЕНи-2 вимикаються, якщо ні, то відбувається порівняння зі значенням  $125^{\circ}\text{C}$ , якщо вона нижча за це значення, то група ТЕНи-2 вмикається. Мала різниця між верхнім та нижнім порогом спрацювання за температурою корпусу екструдера пояснюється великою масою корпусу, тому об'єкт дуже повільно нагрівається та охолоджується.

В алгоритмі програма постійно відслідковує стан кнопки «Стоп» для того, щоб можна було зупинити процес екструзії на кожному етапі.

Згідно із завданням на виконання кваліфікаційної магістерської роботи, для керування обладнанням системи керування необхідно використати промисловий програмований логічний контролер компанії Schneider Electric. Як буде показано в 4 розділі магістерської роботи, для керування виконавчими механізмами буде використаний програмований логічний контролер Modicon M340 Schneider Electric.

### **3.3. Вибір первинного вимірювального перетворювача САК**

Основні вимоги, що висуваються до вибору первинних вимірювальних перетворювачів докладно описані в [16].

Так, при обґрунтуванні вибору ПВП температурного режиму екструзії полімерних гранул необхідно в першу чергу звернути увагу на те, вимірювання якого діапазону зміни температури відповідно до технологічних умов він повинен забезпечити.

Діапазон температури корпусу екструдера за нормативними показниками для поліетиленових гранул знаходиться у межах  $110\dots 130^{\circ}\text{C}$ .

Для того, щоб ПВП у процесі вимірювання температури на заданому рівні не вносив недопустиму динамічну похибку вимірювання, його постійна часу  $T_{ПВП}$  повинна бути на порядок меншою від постійної часу об'єкта  $T_{OV}$ .

Постійна часу об'єкту  $T_{OV} = 510$  с. З огляду на сказане, максимальна постійна часу перетворювача повинна бути не більше  $510/10 = 51$  с..

Враховуючи вимоги за діапазоном вимірювання та інерційністю, а також особливості підключення датчика температури до ПЛК, для вимірювання температури корпусу екструдера обраний термоперетворювач опору загальнопромислового виконання ОВЕН ДТС125Л [25], технічні характеристики якого наведені в таблиці 3.1.

Термоперетворювачі з уніфікованим вихідним сигналом типу ОВЕН ДТС125Л призначені для неперервного перетворювання температури середовища (газів, пари, рідин та сипких середовищ) у пропорційний струмовий сигнал 4-20 мА дистанційної передачі.

Таблиця 3.1.

Основні технічні характеристики термоперетворювача опору ОВЕН ДТС125Л

Діапазон вимірюваних температур, °С	0...+180
Номинальна статична характеристика (НСХ)	100М
Клас допуску	В
Показник теплової інерції, с	8 (при Ø гільзи 6мм)
Ступінь захисту від пилу та вологи	IP55
Матеріал захисної арматури	Ст. 12Х18Н10Т
Діапазон умовного тиску, мПа	0,4...4,0
Стійкість до вібрації	Група вик. N3
Кліматичне виконання	У3

Термоперетворювачі ОВЕН ДТС125Л (ДСТУ 2858-94) (рис. 3.3) призначені для роботи із контролерами ОВЕН ПЛК, з пристроями ОВЕН, а також сумісні із контролерами інших вітчизняних та закордонних виробників.



Рис. 3.3. Термоперетворювач опору з уніфікованим вихідним сигналом ОВЕН ДТС125

Вимірюваний параметр – температура – лінійно перетворюється термочутливим елементом у пропорційну зміну омичного опору, який, в свою чергу, перетворюється вимірювальним перетворювачем у струмовий вихідний сигнал.

За динамічними властивостями датчик є інерційною ланкою, передатна функція якого має вигляд  $W_{ПВП}(s) = \frac{k_{ПВП}}{T_{ПВП} \cdot s + 1}$ .

Коефіцієнт передачі  $k_{ПВП}$  (чутливість), визначається за формулою

$$k_{ПВП} = \frac{\Delta I}{\Delta T} = \frac{20 - 4}{180 - 0} = 0,089 \frac{mA}{^{\circ}C}, \quad (3.1)$$

де  $\Delta T$  – різниця значень вимірюваних датчиком температур,  $^{\circ}C$  (таблиця 3.1);

$\Delta I$  – різниця струмів, що відповідає значенням температур в робочому діапазоні, мА.

Враховуючи, що показник теплової інерції сприймаючого елемента складає  $T_{ПВП} = 8$  с (таблиця 3.1), передатна функція датчика ОВЕН ДТС125

$$W_{ПВП}(s) = \frac{k_{ПВП}}{T_{ПВП} \cdot s + 1} = \frac{0,089}{8 \cdot s + 1}.$$

### **3.4. Вибір виконавчого механізму САК та визначення його передатної функції**

В устаткуванні для виробництва пластмасових виробів та пакувальної плівки широке поширення отримав електроелементний непрямий нагрів елементами опору, при якому використовують нагрівачі, виконані у вигляді дроту із спеціальних сплавів (переважно ніхрому) і жаротривких матеріалів [13].

Такі нагрівальні елементи відрізняються компактністю, простотою, чистотою та зручністю в експлуатації. Енергетичні показники, рівномірність нагріву, інерційність систем теплопостачання в значній мірі залежать від ступеня теплового контакту нагрівачів з поверхнею корпусу, а також від конструктивного виконання самих електроелементних нагрівачів. Електронагрівачі опору виконуються а вигляді трьох основних модифікацій – спіральних, стрічкових та трубчастих – ТЕНів.

Найбільш поширені стрічкові нагрівачі, робочі спіралі яких ізолювані вогнетривкими глиноземистими матеріалами, герметично розміщеними в обоймі з нержавіючої сталі. Їх також виконують із стрічкового ніхрому, намотуваного з певним кроком на ізоляційну основу. Більш високої щільності теплових потоків забезпечують спіральні нагрівачі. Вони являють собою набір щільно прилягаючих один до одного керамічних пластин з отворами, в яких знаходиться спіраль із ніхрому.



Рис. 3.4. Керамічний електронагрівач потужністю 3 кВт

Виконавчим механізмом системи автоматичного керування температурним режимом виробництва пакувальної плівки є три керамічні електронагрівачі ДЕ 3127-63Ц1-914-050-01 (рис. 3.4), всередині яких у порожнистих отворах розміщена ніхромова спіраль. Один електронагрівач складається із двох з'єднаних послідовно між собою смуг довжиною 300мм, набраних із керамічних пластин. Електронагрівач повністю огортає назовні проточну частину корпусу нагріву у відповідній зоні.

Напруга живлення кожного нагрівача 220 В (50 Гц), споживана потужність кожного з них складає 3 кВт.

Перший та другий нагрівач розташовані у зоні пластифікації (група нагрівачів ТЕНи-1), третій – в зоні дозування (група ТЕНи-2).

Максимальне значення температури на поверхні керамічного електронагрівача складає 360°C.

Передатна функція керамічного електронагрівача є інерційною ланкою вигляду  $W_{BM}(s) = \frac{k_{BM}}{T_{BM} \cdot s + 1}$ .

де  $k_{BM}$  - коефіцієнт передачі електронагрівача, який визначається як

$$k_{BM} = \frac{T_{MAX}}{P_{MAX}} = \frac{360}{3000} = 0,12 \frac{^{\circ}C}{Вт}, \quad (3.2)$$

де  $T_{MAX}$  - найбільше значення температури на поверхні керамічного електронагрівача,  $^{\circ}C$ ;

$P_{MAX}$  - споживана потужність електронагрівача, Вт.

Оскільки керамічних електронагрівачів три, загальний коефіцієнт передачі

$$k_{BM} = 3 \cdot 0,12 = 0,36 \frac{^{\circ}C}{Вт}.$$

$T_{BM}$  - постійна часу електронагрівача, визначається як

$$T_{BM} = \frac{G \cdot c}{\lambda \cdot S}, \quad (3.3)$$

де  $c$  – питома теплоємність, Дж/( $^{\circ}C \cdot кг$ );

для кераміки  $c = 800$  Дж/(кг $\cdot^{\circ}C$ );

$\lambda$  – коефіцієнт тепловіддачі ніхрому, Вт/(м $^2 \cdot ^{\circ}C$ );  $\lambda = 240$  Дж/(с $\cdot^{\circ}C \cdot м^2$ );

$G$  – вага електронагрівача, кг;  $G = 0,7$ кг;

$S$  – площа поверхні електронагрівача, м $^2$ ;

$$S = 2 \cdot n_{III} \cdot a \cdot b, \quad (3.4)$$

де  $n_{III}$  - кількість пластин, шт.;  $n_{III} = 30$  шт;

$a$  - довжина пластини, м;  $a = 0,04$  м;

$b$  - ширина пластини, м;  $b = 0,01$  м.

$$S = 2 \cdot 30 \cdot 0,04 \cdot 0,01 = 0,024 \text{ м}^2.$$

$$\text{Тоді } T_{BM} = \frac{0,7 \cdot 800}{240 \cdot 0,024} = 100 \text{ с.}$$

$$W_{BM}(s) = \frac{k_{BM}}{T_{BM} \cdot s + 1} = \frac{0,36}{100 \cdot s + 1}.$$

### 3.5. Аналіз якості функціонування САК температурним режимом виробництва пакувальної плівки

Досліджувана система автоматичного керування належить до класу нелінійних систем. Одним з методів для дослідження стійкості нелінійних систем та визначення їх показників якості є метод Гольдфарба.

В основу метода Гольдфарба покладено критерій стійкості Найквіста.

Амплітудно-фазова частотна характеристика розімкнутої нелінійної системи

$$W_{PO3}(j \cdot \omega) = W_{НЛ}(j \cdot \omega) \cdot W_{ЛЧ}(j \cdot \omega). \quad (3.5)$$

За критерієм Найквіста умова стійкості знаходження гармонічно лінеаризованої системи на границі стійкості, тобто умова існування автоколивань, має вигляд

$$W_{НЛ}(j \cdot \omega) \cdot W_{ЛЧ}(j \cdot \omega) = -1. \quad (3.6)$$

Звідси маємо

$$W_{ЛЧ}(j \cdot \omega) = -\frac{1}{W_{НЛ}(j \cdot \omega)}. \quad (3.7)$$

Відомо, що амплітудно-фазова частотна характеристика (АФЧХ) нелінійної ланки  $W_{НЛ}(j \cdot \omega)$  залежить тільки від амплітуди  $a$  і не залежить від частоти  $\omega$ . АФЧХ лінійної частини  $W_{ЛЧ}(j \cdot \omega)$ , навпаки, не залежить від амплітуди  $a$ , а залежить тільки від частоти  $\omega$ . Тому рішення рівняння (3.7) може бути знайдено графічно, як перетин двох кривих на комплексній площині, одна з яких відповідає зміні частоти в характеристиці  $W_{ЛЧ}(j \cdot \omega)$  в діапазоні  $0 < \omega < \infty$ , інша – зміні амплітуди в зворотній характеристиці  $-\frac{1}{W_{НЛ}(j \cdot \omega)}$  в діапазоні змін  $0 < a < \infty$ .

Якщо криві перетинаються, то слід вважати, що періодичне рішення існує, і в системі існують стійкі автоколивання з амплітудою  $a$  і частотою  $\omega$ .

Визначивши приблизно періодичне рішення системи, необхідно оцінити його стійкість, щоб встановити, чи відповідає воно реально існуючим у системі автоколиванням.

Статична характеристика двопозиційного регулятора із прямим гістерезисом ("нагрівач") має вигляд, зображений на рис. 3.5.

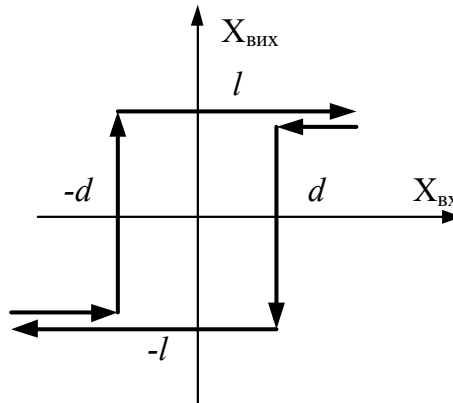


Рис. 3.5. Статична характеристика двопозиційного регулятора із прямим гістерезисом ("нагрівач")

Для подальших розрахунків вважаючи, що струм через обмотку реле  $i(t)$  пропорційний відхиленню температури  $\Theta$ , прийmemo параметри статичної характеристики релейного елемента  $l = \frac{U_{жк}}{2} = 110 \text{ В}$ ,  $d = 2^\circ \text{C}$ .

Передатна функція лінійної частини системи має вигляд

$$W_{ЛЧ}(j \cdot \omega) = W_{СЕ}(j \cdot \omega) \cdot W_{ВМ}(j \cdot \omega) \cdot W_{ОУ}(j \cdot \omega). \quad (3.8)$$

$$W_{ЛЧ}(j \cdot \omega) = \frac{0,089}{8 \cdot j \cdot \omega + 1} \cdot \frac{0,36}{100 \cdot j \cdot \omega + 1} \cdot \frac{1,14 \cdot e^{-50 \cdot j \cdot \omega}}{510 \cdot j \cdot \omega + 1}$$

Передатна функція нелінійної ланки при її гармонічній лінеаризації у випадку двопозиційного регулятора

$$W_{ЛЧ}(j \cdot \omega) = q + \frac{q_1}{\omega} \cdot j \cdot \omega. \quad (3.9)$$

Коефіцієнти гармонічної лінеаризації у цьому випадку визначаються як

$$q = \frac{4 \cdot l}{\pi \cdot a} \cdot \sqrt{1 - \frac{d^2}{a^2}} \quad (3.10)$$

$$q_1 = -\frac{4 \cdot l \cdot d}{\pi \cdot a^2} \quad (3.11)$$

За допомогою математичного пакету Mathcad будемо залежності дійсних і уявних частин функції  $W_{ЛЧ}(j \cdot \omega)$  від частоти  $\omega$  і функції  $-\frac{1}{W_{НЧ}(j \cdot \omega)}$  від амплітуди  $a$  (рис. 3.6).

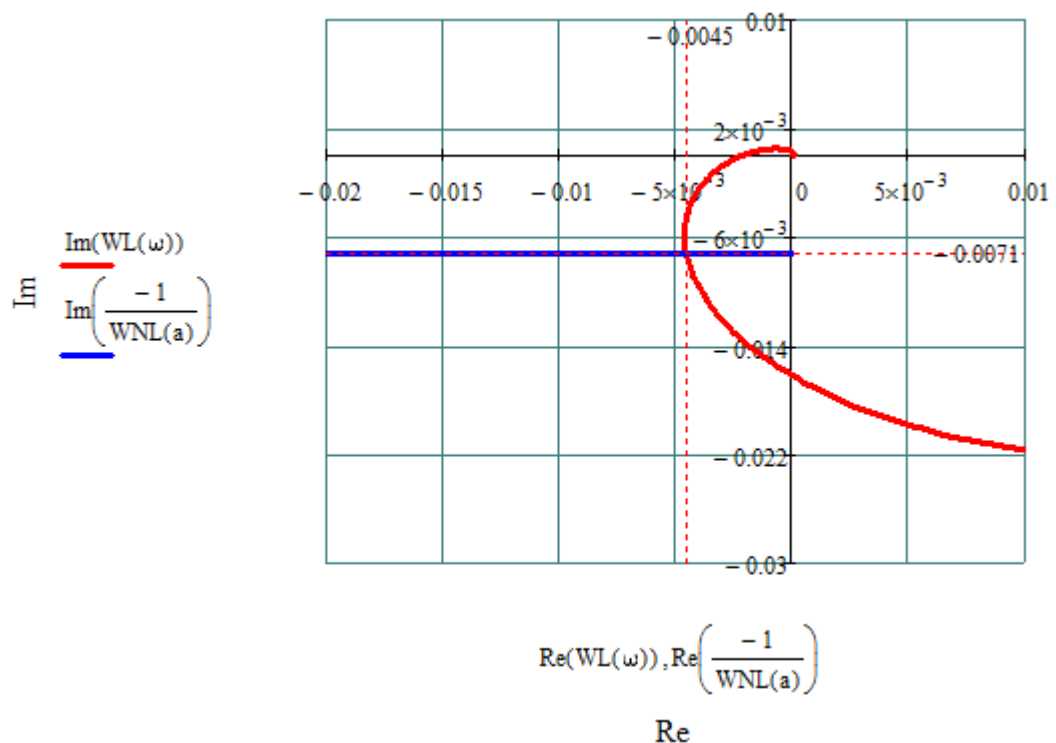


Рис. 3.6. АФЧХ лінійної та нелінійної частини системи автоматичного керування

Уявна частина характеристики  $-\frac{1}{W_{НЧ}(j \cdot \omega)}$  не залежить від частоти, тому характеристика проходить паралельно осі абсцис. Перетин відбувається при амплітуді  $a = 2,3^\circ \text{C}$ .

Визначимо частоту автоколивань за амплітудно-частотною характеристикою лінійної частини системи (рис. 3.7).

За рис. 3.6 АФЧХ лінійної частини системи перетинається з  $-\frac{1}{W_{нч}(j \cdot \omega)}$  у точці з координатами  $\text{Re}(W_{лч}(j\omega)) = -0,0045$ ,  $\text{Im}(W_{лч}(j\omega)) = -0,0071$ .

Амплітудно-частотна характеристика лінійної частини

$$A_{лч}(\omega) = \sqrt{(\text{Re}(W_{лч}(j\omega))^2 + (\text{Im}(W_{лч}(j\omega)))^2}$$

$$A_{лч}(\omega) = \sqrt{(-0,0045)^2 + (-0,0071)^2} = 0,0224.$$

Частота, що відповідає амплітуді  $A_{лч}(\omega) = 0,0224$ , дорівнює  $\omega = 0,0055 \frac{1}{c}$  (рис. 3.7).

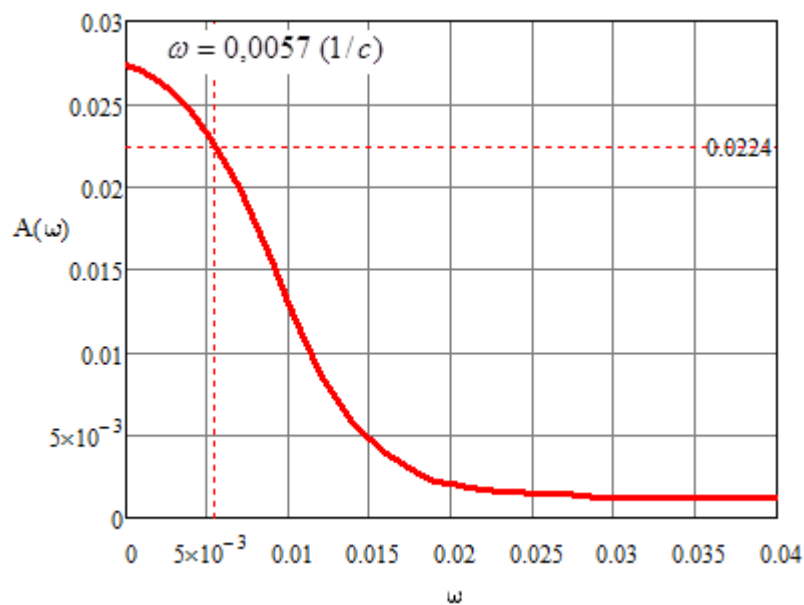


Рис. 3.7. АЧХ лінійної частини системи автоматичного регулювання

Отже в розроблюваній системі керування існують автоколивання температури з частотою  $\omega = 0,0057(1/c)$  і амплітудою  $a=2,4^\circ\text{C}$ . Ці автоколивання є стійкими, оскільки збільшення амплітуди  $a$  впродовж характеристики нелінійної ланки  $-\frac{1}{W_{нч}(j \cdot \omega)}$  у точці її перетину з  $W_{лч}(j \cdot \omega)$  відбувається із середини  $W_{лч}(j \cdot \omega)$  назовні.

Частота автоколивань  $\omega = 0,0057 (1/c)$  відповідає періоду автоколивань

$$T = \frac{2 \cdot \pi}{\omega} = \frac{2 \cdot 3,14}{0,0057} = 1280 c. \quad (3.12)$$

Перевіримо, чи близькі автоколивання до синусоїдальних, тобто, чи виконується умова того, що лінійна частина є фільтром низьких гармонік. Оскільки характеристика нелінійної ланки непарна, то другої гармоніки з частотою  $\omega_2 = 2 \cdot 0,0057 = 0,0114 (1/c)$  на виході нелінійної ланки не буде. Визначимо відношення амплітуди основної гармоніки до амплітуди першої ближчої до основної (третьої з частотою  $\omega_3 = 3 \cdot 0,0057 = 0,0171 (1/c)$ ) гармоніки, скориставшись побудованою АЧХ (рис. 3.7).

$$\frac{A|_{\omega=0,0057}}{A|_{\omega=0,0171}} = \frac{0,0224}{0,0026} = 9.$$

Отже, основна гармоніка в 9 разів більша, ніж найближча з вищих гармонік, що дозволяє вважати автоколивання на вході в нелінійну ланку близькими до синусоїдальних і тим самим обґрунтовує можливість застосування до даної системи методу гармонічної лінеаризації.

Побудуємо графік автоколивань за допомогою математичного пакету Simulink середовища MATLAB (рис. 3.8, 3.9).

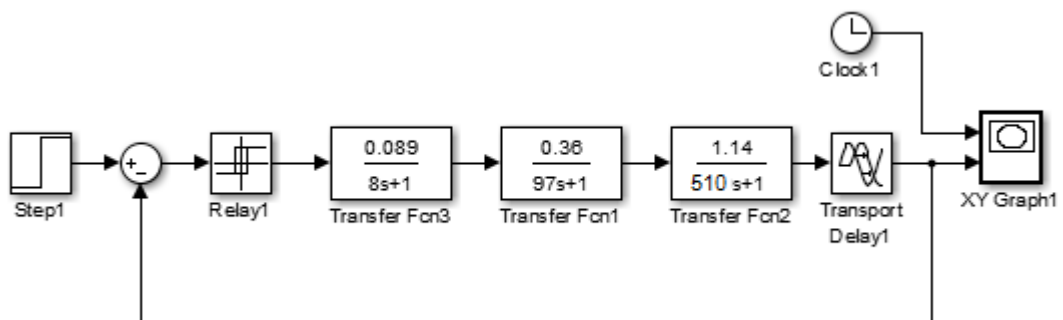


Рис. 3.8. Структурна схема системи автоматичного керування в пакеті Simulink середовища MATLAB

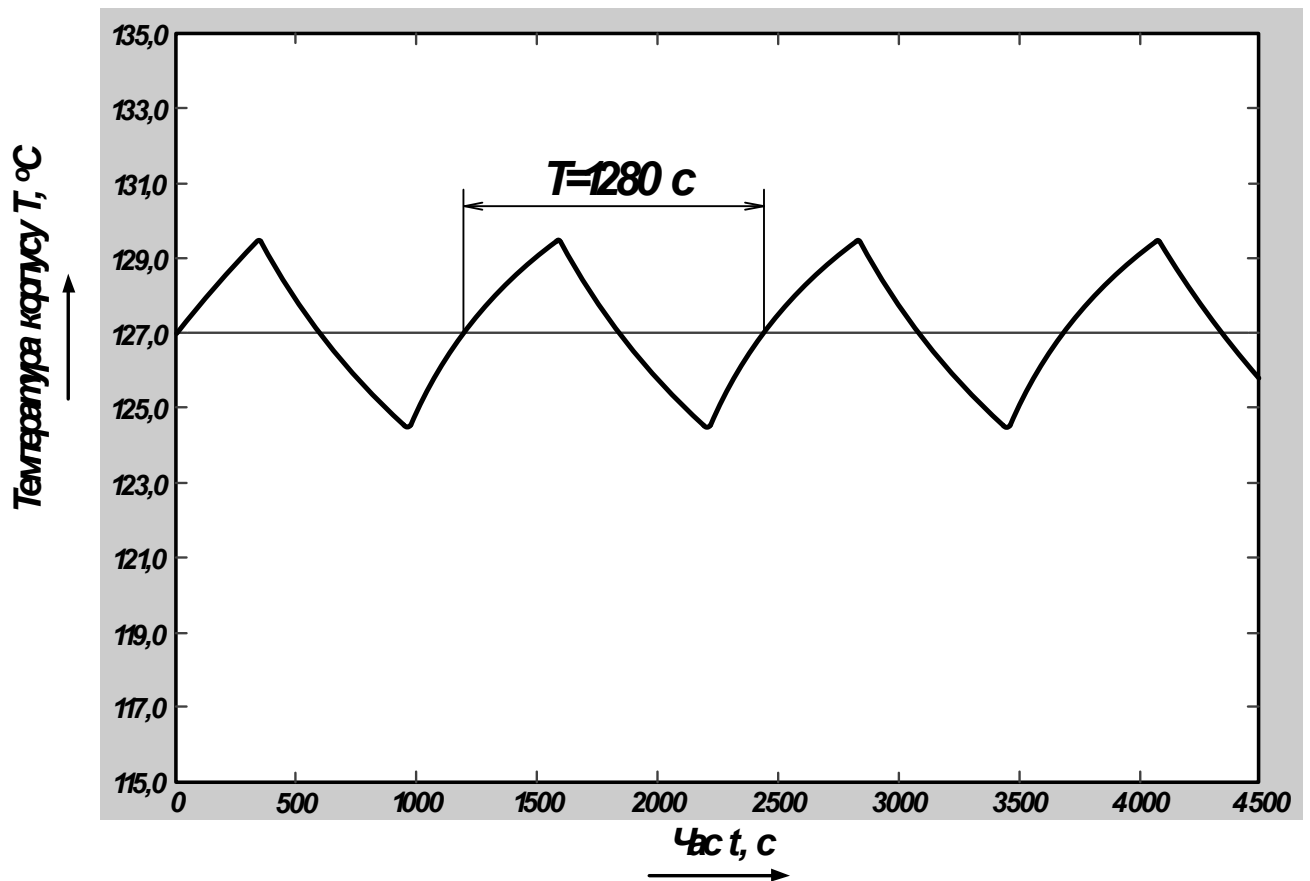


Рис. 3.9. Перехідний процес в САК температурним режимом екструдера для виробництва пакувальної плівки

В результаті проведених розрахунків встановлено, що в системі автоматичного керування температурним режимом екструдера для виробництва пакувальної плівки існують стійкі автоколивання з амплітудою  $a=2,4^{\circ}\text{C}$  та періодом  $T=1280$  с.

## РОЗДІЛ 4

### ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЛІНІЄЮ ГРУПОВОЇ ТЕРМОУСАДНОЇ УПАКОВКИ

#### 4.1. Обґрунтування вибору технічних засобів для вимірювання, виконавчих механізмів (ВМ) та регулюючих органів (РО)

Оптичний датчик ВБ3.18М.65.Т4000.Х.1.К показано на рис. 4.1, та призначений для реєстрації і підрахунку кількості будь-яких об'єктів і володіє більшою дальністю дії в порівнянні з іншими безконтактними датчиками. Датчик має регулятор чутливості, що дозволяє робити налаштування за фактичною контрастністю об'єкта на тлі навколишніх предметів [23].



Рис. 4.1. Вигляд оптичного датчика ВБ3.18М.65.Т4000.Х.1.К

Оптичні датчики широко застосовуються в автоматизованих системах управління для реєстрації наявності та кількості предметів, виявлення на їх поверхні наклейок, міток і написів, а також для позиціонування та сортування предметів.

За допомогою оптичних датчиків можна контролювати відстань, габарити, рівень, колір і ступінь прозорості об'єктів незалежно від матеріалу його виготовлення. Схема підключення датчика зображена на рис. 4.3.

Перевагою оптичних датчиків є велика відстань виявлення, яке може досягати декількох метрів, і можливість регулювання чутливості механізму.

Принцип дії оптичних безконтактних датчиків заснований на зміні прийнятого датчиком світлового потоку. Оптичні датчики складаються з 2-х функціонально закінчених вузлів – джерела оптичного випромінювання і приймача цього випромінювання, що наглядно показано на рис. 4.2.

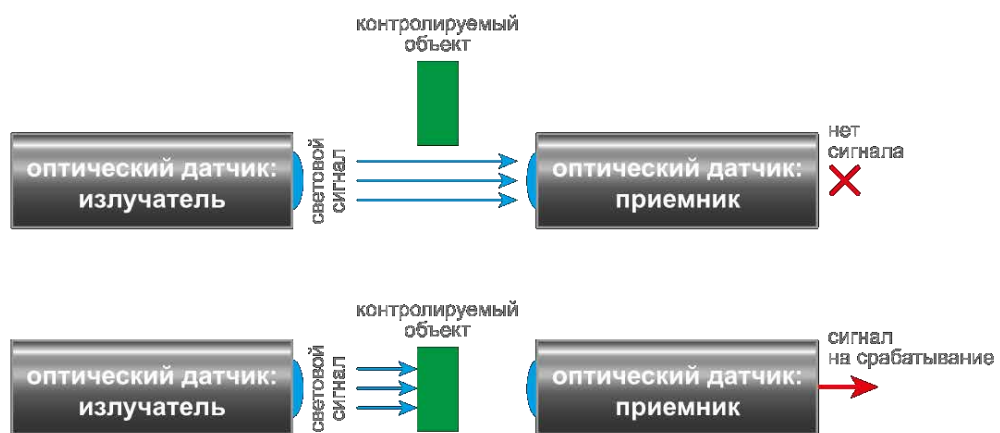


Рис. 4.2. Принцип роботи оптичного датчика

Технічні характеристики оптичного датчика БЗ.18м.65.Т4000.Х.1.К:

- вид випромінювання: інфрачервоний;
- оптика: поліамід;
- ступінь захисту: IP67;
- діапазон робочих: від -20°C до 70°C;
- пульсації напруги живлення: не більше 15%;
- відстань спрацьовування: до 4000 мм;
- зовнішня освітленість максимальна: 5000 лк;
- напруга живлення: від 10 В до 30В;
- споживаний струм: не більше 30 мА;
- захист від напруги зворотної полярності: є;

- світлова індикація: є;
- спосіб підключення: кабель 2x0,35 мм<sup>2</sup>;
- матеріал корпусу: латунь;
- маса: не більше 150 г.

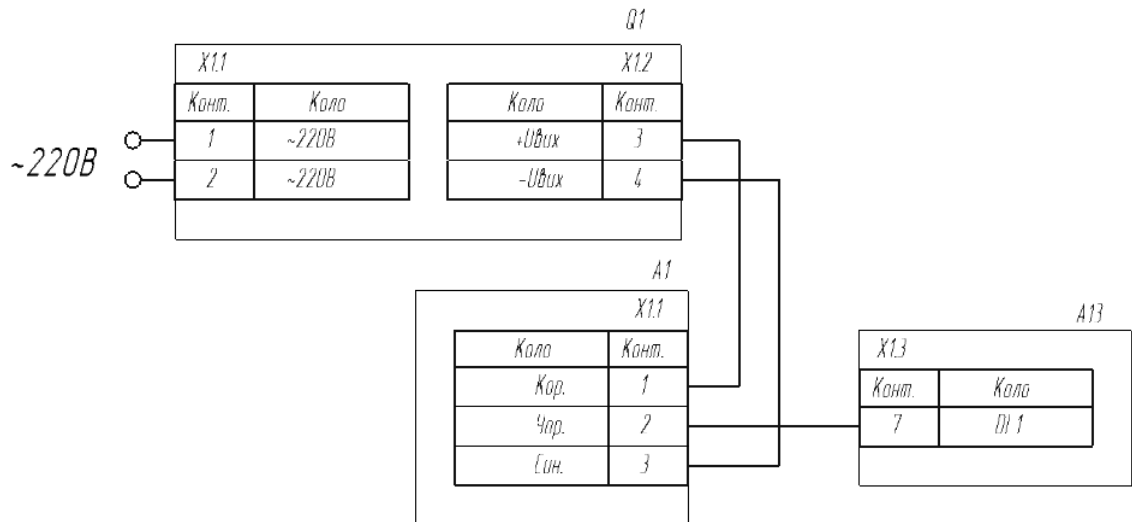


Рис. 4.3. Схема підключення оптичного датчика

В системі автоматизації була встановлена термопара ТС1105100 для виміру температури на етапі нагріву виробу. Обладнанню, що зараз перебуває в експлуатації, морально застаріло, часто ламається тому підприємство несе збитки. Для модернізації системи було прийнято рішення замінити термопару на нову ОВЕН ДТПІ4.

Термопара ДТПІ4 на основі КТСМ (Кабель термопарний з мінеральною ізоляцією у сталевій оболонці) призначена для вимірювання температури рідких, твердих і газоподібних середовищ, у т.ч. з високою температурою, неагресивних до матеріалу корпусу датчика, що показаний на рис. 4.4 [19].

Як матеріали термоелектродів для КТМС застосовуються різні сплави, що визначає характеристики термопар і можливості їх застосування.

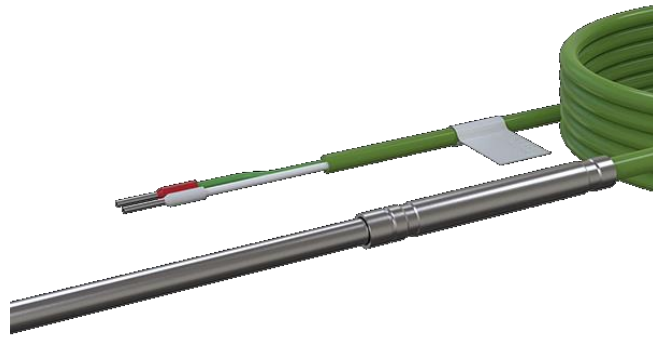


Рис. 4.4. Вигляд термопары ДТПІ4

Функціональні переваги термопар з КТМС в порівнянні з дротяними термопарами:

- низький показник теплової інерції (2 сек. - для КТМС діаметром 4,5 мм) для реєстрації швидкоплинних процесів;
- висока стабільність і збільшений робочий ресурс (перевищення в 2-3 рази в порівнянні зі звичайними);
- можливість вигину, монтажу у важкодоступних місцях і кабельних каналах;
- різні варіанти установки: приварювати, припаювати або кріпити термопару (хомутом, на гвинт) до поверхні;
- для додаткового захисту термоелектродів від впливу навколишнього середовища термопары можуть виконуватись в захисних чохлах.

У загальному випадку термопара являє собою два термоелектрода з різних металів, спаяних між собою. Один спай («робочий») поміщають в вимірювану середу, інший («холодний») повинен перебувати при температурі 0 °С. При різних температурах спаїв по термоелектродах протікає ЕРС, прямо пропорційна різниці цих температур. Робочий спай захищається від прямого зіткнення із середовищем захисної арматурою.

Технічні характеристики термопар з кабельним виводом (моделі хх4):

- тип: ДТПj;
- межі виміру: від -40 °С до +400 °С;

- матеріал захисної оболонки КТМС: сталь AISI 316;
- діаметр оболонки: 3,0 мм; 4,5 мм;
- тиск: до 6,3 мПа.

Датчик тиску Transducer PCS FSR406 - це легка вага, невеликий обсяг, висока точність зондування, надтонкий датчик тиску типу опору показано на рисунку 4.5 [24].



Рис. 4.5. Вигляд датчика тиску Transducer PCS FSR406

Розміри датчика становлять 1.75 x 1.5 мм (JN 45x38mm), Чим більше сила, тим менше значення опору. Цей датчик може виявити тиск 0-10 кг.

Основні технічні характеристики резистивних датчиків тиску враховуються при визначенні моделі датчика тиску Interlink 402, але практично всі інші датчики мають схожі параметрами. Розмір: 1/2 (12.5 мм) чутливою поверхні. Діапазон опорів: нескінченність розімкнутий ланцюг (немає зовнішнього тиску), від 100 Ом (легке тиск) до 200 Ом (максимальний тиск). Діапазон сили: від 0 lb до 20 lb (від 0 Н до 100 Н) на кожен 0.125 квадратний дюйм поверхні. Джерело живлення: будь-яке використовує силу струму менше 1 мА (залежить від резисторів і напруги живлення).

Так як резистивні датчики тиску по суті є резисторами, у них немає полярності. Це означає, що ви можете підключати контакти, не з'ясовуючи, де мінус, а де плюс.

Нормуючий перетворювач ОВЕН НВТ-1 показаний на рис. 4.6, призначений для перетворення значення температури вимірної за допомогою

термопари або термоопору, в уніфікований сигнал постійного струму від 0 мА до 20 мА [26].



Рис. 4.6. Вигляд універсального нормуючого перетворювача НПТ-1

Може використовуватися у вторинних приладах систем автоматичного контролю, регулювання та управління технологічними процесами в різних галузях промисловості, а також в комунальному господарстві, диспетчеризації, інформаційно-вимірювальних комплексах.

При конфігуруванні ОВЕН НВТ-1 підключається до USB порту персонального комп'ютера за допомогою стандартного кабелю miniUSB показано на рис. 4.7.

Основні функції універсального нормуючого перетворювача ОВЕН НВТ-1:

- перетворення сигналів термодатчиків в уніфікований сигнал від 0 мА до 20мА;
- універсальний вхід;
- підтримка більшості відомих типів термодатчиків;
- висока точність перетворення;
- висока роздільна здатність;

- налаштування по інтерфейсу USB 2.0;
- кліматичне виконання від  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- висока надійність;
- номінальне значення напруги живлення (постійного струму)  $24\text{ В}$ ;
- для робочого режиму  $35\text{ мА}$ ;
- для режиму конфігурації (живлення здійснюється від USB-Host)  $50\text{ мА}$ ;
- номінальний діапазон вихідного струму перетворювача від  $0\text{ мА}$  до  $20\text{ мА}$ , від  $4\text{ мА}$  до  $20\text{ мА}$ ;
- опір кожного з'єднувального проводу, що з'єднує перетворювач з датчиками, не більше  $100\text{ Ом}$ ;
- допустиме відхилення опорів проводів при трьохпровідній схемі підключення тс, не більше  $0,01\%$  від  $r_0$ ;
- номінальне значення опору навантаження (напрузі живлення  $24\text{ В}$ )  $250\text{ Ом} \pm 5\%$ ;
- інтерфейс зв'язку з ПК USB2.0 Full Speed.

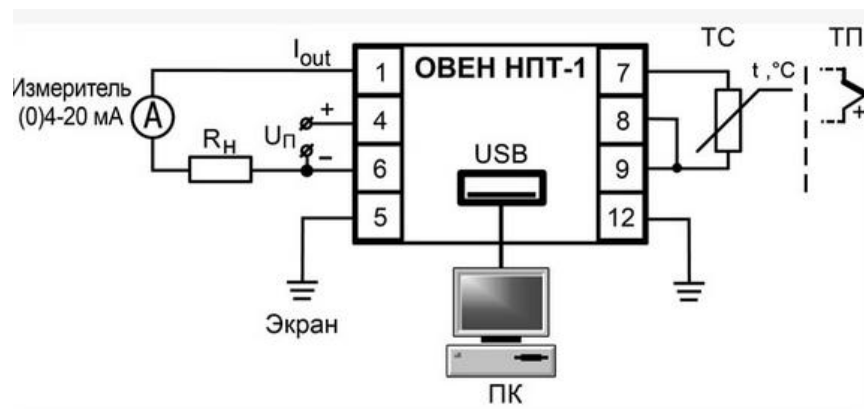


Рис. 4.7. Схема підключення універсального нормуючого перетворювача НРТ-1

Для регулювання швидкості двигуна обрано частотний перетворювач Lenze 8200 Vector через його технічні параметри, простоти монтажу та кількість входів/виходів який показано на рис. 4.8 [26].



Рис. 4.8. Вигляд частотного перетворювача Lenze 8200 Vector

Користуючись новою ергономічною клавіатурою, перетворювач частоти налаштовується дуже швидко.

Нова програма Global Drive Control значно полегшує програмування частотного перетворювача. Зумовлені базові конфігурації дозволяють дуже легко, а найголовніше – швидко ввести в експлуатацію перетворювач. Функціональні модулі Lenze 8200 Vector з притискуються пружинами контактами дозволяють легко і просто підключати прилад. Екранування силових кабелів і кабелів управління Lenze 8200 Vector дозволяє робити простіше електромонтаж відповідно до електромагнітної сумісності. Просте закріплення екранів кабелів забезпечує великий контакт екранів кабелів для оптимальної.

Діапазон потужностей Lenze 8200 Vector: від 0.25 кВт до 7.5 кВт, 230кВт або 240 В; від 0.55 кВт до 90 кВт, 400 В або 500 В.

Перевантажувальна здатність Lenze 8200 Vector 180% від номінального моменту протягом 60 секунд від 15 кВт.

Робочі режими Lenze 8200 Vector:

— закон управління напруга або частота лінійне або квадратичне, векторне управління;

- управління моментом без датчика ОС моменту;
- глибина регулювання швидкості (без датчика ОС);
- частота інвертора: 1кГц, 2кГц, 4кГц, 8кГц, 16 кГц;
- вихідна частота до 650 Гц.

На сьогоднішній день модель AIR 90LB2 – є найпотужнішою моделлю з усіх однофазних електродвигунів, представлених на українському ринку. Електродвигун AIR 90 LB2 асинхронний показано на рисунку 4.9 [22].



Рис. 4.9. Вигляд двигуна ПК AIR 90 LB2

Його маркування розшифровується наступним чином: AIR – це серія електродвигуна («А» - асинхронний, І - уніфікована серія по стандарту («Інтерелетро»), Е – однофазний, 90 – це розмір електродвигуна (висота осі обертання, відстань між центром валу електродвигуна і його підставою, станиною), LB – настановний розмір по довжині станини (довжина пакета статора), 2 – число пар).

Дана модель електродвигуна поставляється у двох виконаннях:

- IM1081 – виконання електродвигуна, на лапах;
- IM2081 – комбіноване виконання електродвигуна лапи і фланець.

Технічна характеристика електродвигуна AIR 90 LB2:

- у стандартному виконанні: напруга 220 В, частота 50 Гц.;

- висота осі обертання: 90 мм.;
- виконання станини: чавунне;
- маса електродвигуна: 19,3 кг.;
- потужність електродвигуна: 3 кВт;
- клас ізоляції: F;
- частота обертання електродвигуна - 3000 об./хв.;
- $\cos\phi$  електродвигуна: 0,90;
- граничні відхилення напруги живлення від мінус 5% до 10%, частоти струму плюс-мінус 2,5% то номінальних значень;
- номінальний режим роботи: s1 по ГОСТ 183-74;
- умови експлуатації електродвигуна асинхронного АІР 90 LB2;
- температура навколишнього повітря: від  $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  для кліматичного виконання У2;
- відносна вологість: 100% при  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  для виконання.

Необхідно відзначити, що можна змінити напрямок обертання валу ротора, міняючи місцями фази на клеммах. На електродвигуні встановлений робочий конденсатор. Схема підключення зображена на рис. 4.10.

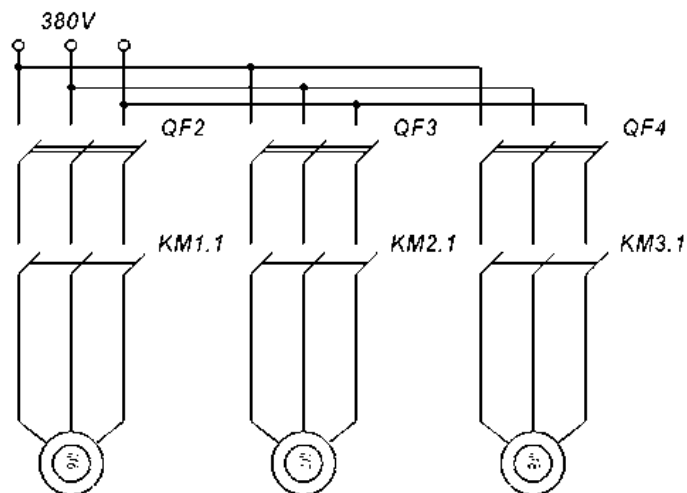


Рис. 4.10. Схема підключення двигуна ПК АІР 90 LB2

Для обертання валу обрано двигун АІР 180 М2 через його технічні параметри, простоти монтажу та кількість входів/виходів. Зовнішній вигляд АІР 180 М2 показано на рис. 4.11 [22].



Рис. 4.11. Вигляд двигуна AIP 180 M2

Технічні характеристики двигуна AIP 180 M2:

- електродвигун трифазний AIP 180 M2 30 кВт, 3000 об / хв.;
- потужністю від 0,75 кВт до 315 кВт;
- частотою обертання валу 750 об/хв., 1000 об/хв., 1500 об/хв., 3000 об/хв.;
- можливістю підключення до мереж 220 кВт, 380 кВт і 660 кВт.

Схема підключення електродвигуна через частотний перетворювач показано на рис. 4.12

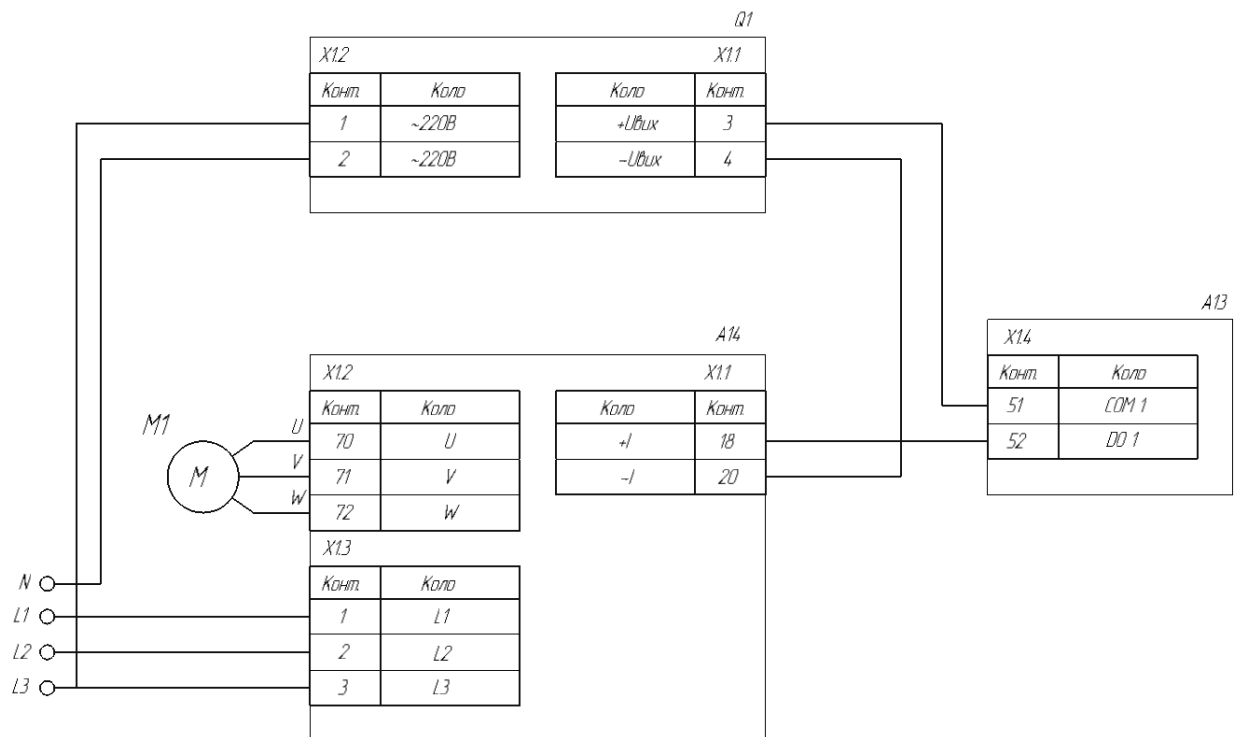


Рис. 4.12. Схема підключення двигуна AIP 180 M2

В системі автоматизації була встановлена ТЕН-125А13/2,7S220 U80 для нагріву повітря. Обладнанню, що зараз перебуває в експлуатації морально застаріло і не виконує свої задачі коректно. Для модернізації системи було прийнято рішення замінити ТЕН на сучасний з кращими параметри.

В системи для нагріву повітря встановлений ТЕН-125А13/2,5S220 U80. Конструкція ТЕНа ребрена, представляє собою двокінцевий ТЕН ребристий по всій поверхні або фрагментарно сталевую стрічкою показано на рис. 4.13 [19].



Рис. 4.13. Вигляд ТЕНу ТЕН125А13/2,5S220

Стрічка може бути виготовлена як з вуглецевої сталі марки 0,8Ю або 10 КП. Конструкція цих приладів проста: на металевій рамі або осьовій стоїть відцентровий вентилятор, до якого приєднаний ящик з ТЕНами (схема підключення – зірка – 220 В, або трикутник – 380 В) , при цьому кількість останніх залежить від обсягу приміщення, що обігривається. Повітря, що створюється вентилятором, проходячи через електричні нагрівачі, потрапляє в повітропровід, від нього – в систему повітропроводів, розмішених по приміщенню. Трубчастий електричний нагрівач (ТЕН) – це металева трубка, заповнена електричним теплопровідним ізолятором. Завдяки високій швидкості нагрівання і швидкого теплообміну зустрічається як на великих виробництвах, так і в побуті.

Повітряний ТЕН є електронагрівальним приладом, тому працює від електрики. В серцевині ТЕНа, точно в центрі електроізолятор, проходить

спеціальна ніхромова струмопровідна нитка з певним опором струму. Вона призначена для передачі питомої потужності на зовнішню поверхню трубчастого електричного нагрівача. Схема підключення ТЕНу до контролера зображена на рис. 4.14.

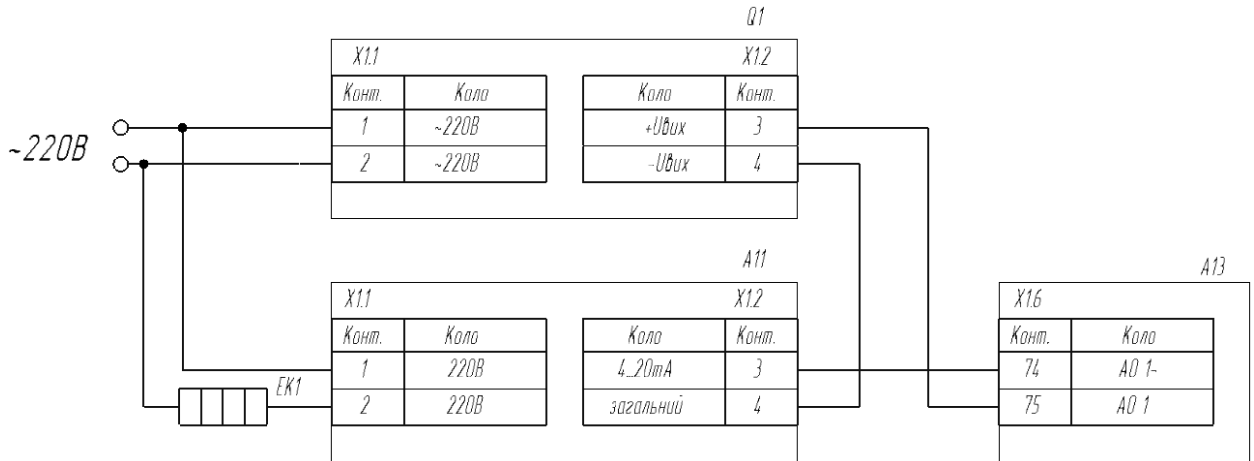


Рис. 4.14 . Схема підключення ТЕН-125А13/2,5S220

Електромагнітний пневморозподільник РЭПВ-3221-14 прилад для розподілу повітряних потоків і управління виконавчими пристроями пневмосистем зображений на рис. 4.15.



Рис. 4.15. Зовнішній вигляд пневморозподільника РЭПВ-3221-14

Характеристики пневморозподільника РЭПВ-3221-14:

- тип розподільника: 3/2, нормально закритий;
- приєднання: G<sup>1</sup>/<sub>8</sub>, G<sup>1</sup>/<sub>4</sub>, G<sup>3</sup>/<sub>8</sub>, G<sup>1</sup>/<sub>2</sub>;
- напруга живлення: ~ 220 В, 24 В, 12 В;
- пропускна здатність: від 850 л / хв. до 1500 л/хв.;

- робочий тиск: від 0,15 МПа до 0,8 МПа;
- температура: від  $-5^{\circ}\text{C}$  до  $60^{\circ}\text{C}$ .

Електромагнітний пневморозподільник РЕПВ-32 (V32) 3-лінійний 2-позиційний призначений для розподілу повітряних потоків і управління виконавчими пристроями пневмосистем. Моностабільні розподільники управляються за допомогою котушки, повернення за рахунок пружини.

Технічні характеристики пневморозподільника РЭПВ-3221-14:

- тип розподільника: 3/2, нормально закритий;
- робочий тиск: від 0,15 МПа до 0,8 МПа;
- максимальний тиск: 1,2 МПа;
- живлення:  $\sim 220\text{ В}$ , 24 В, 12 В;
- температура експлуатації: від  $-5^{\circ}\text{C}$  до  $60^{\circ}\text{C}$ ;
- ступінь захисту: IP65.

Для управління пневмоциліндрами односторонньої дії використовується пневморозподільник РЕПВ-32, який зображений на рис. 4.16, має можливість комутувати лінії живлення, споживача і вихлопу. Такий розподільник позначається як 3/2 (3-лінійний, 2-позиційний). Це означає, що він має 3 канали введення-виведення: вхід (від джерела повітря), вихід (для підключення робочого органу) і вихлоп (для викиду повітря при зворотному ході робочого органу) і 2 можливих положення золотника.

У вихідному положенні порт живлення Р (рис. 4.16) перекритий, робочий порт А з'єднаний з портом вихлопу R. При подачі живлення на котушку порт живлення Р з'єднується з робочим портом А, а порт вихлопу R перекривається. При знятті живлення золотник повертається у вихідне положення.

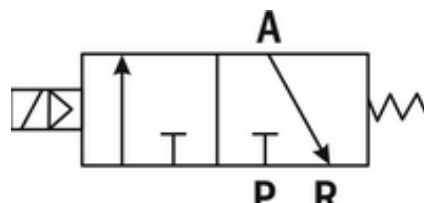


Рис. 4.16. Схема пневматичного розподільника РЭПВ-3221-14

Після вибору комплексу технічних засобів автоматизації складемо специфікацію приладів до функціональної схеми автоматизації системи керування процесом пакування готової продукції у ПЕТ-пляшках.

Таблиця 4.1.

## Специфікація приладів та засобів автоматизації

№ п/п	№ Позиції за схемою	Місце встановлення	Найменування і технічна характеристика виробу	Тип, Марка	Кількість	Виробник
1	1а-5а,7а,10а	По місцю	Оптичний датчик ВБ3.18М.65.Т4000.Х.1.К з виходом 4-20МА	оптичний	7	SIEMENS Німетчина
2	6а	По місцю	Датчик тиску Transducer PCS FSR406 діапазон тиску 0-10 кг		1	custom-sourcing
3	8а,9а	По місцю	Термопара ДТПІ4 з діапазоном вимірювання від -40 °С до +400 °С	на основі КТСМ	2	ОВЕН
4	66,86,96	На щіті	Універсальний нормуючого перетворювача НПТ-1		3	ОВЕН
5	116,126	По місцю	Частотний перетворювач Lenze 8200 Vector		3	Lenze
6	146,156.	На щіті	Частотний перетворювач Lenze 8200 Vector		2	Lenze
7	М1-М5	По місцю	Двигун ПК АІР 90 LB2		5	
8	М6-М8	По місцю	Двигун АІР 180 М2		3	
9	ЕК1,ЕК2	По місцю	ТЕН ТЕН125А13/2,5S220		2	

## РОЗДІЛ 5

### СХЕМИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

#### 5.1. Проектне компонування програмованого логічного контролера (ПЛК)

При створенні об'єкту автоматизації під час проектування системи необхідно визначити необхідний для даного об'єкту програмований логічний контролер (ПЛК), тому що саме від нього залежить кінцевий вигляд щитів управління системою.

При замовленні ПЛК створюється замовна специфікація, тобто документ у котрому зазначена необхідна конфігурація ПЛК а саме кількість входів та виходів ПЛК, їх тип та опис модулів розширення. У таблиці 5.1 наведена специфікація для даної системи:

Таблиця 5.1.

Конфігурація ПЛК

Модулі вводу/виводу		Примітка
Назва	Кількість	
BMX CPS 2020	1	Процесорний модуль Schneider Electric Modicon M340
BMX CPS 2000	1	Блок живлення ПЛК
BMX DDI 1602	1	Модуль дискретних входів (16 входів)
BMX DDO 1602	1	Модуль дискретних виходів (16 виходів)
BMX АММ 0600	1	Модуль змішаних аналогових сигналів (4 входи і 2 виходи)



Рис. 5.1. Компонування модулів ПЛК Modicon M340 (Schneider Electric)

### *Дискретні входи*

В даному проекті використовуються безконтактні оптичні датчики, які підключаються до входів модуля BMX DDI 1602, датчики мають живлення 24В постійної напруги. В залежності від сигналу з датчиків виконується управляюча дія згідно з написаною в ПЛК програмою.

### *Дискретні виходи*

В даному проекті використовуються реле за допомогою яких вмикаються двигуни також під'єднані лампочки для сигналізації та частотні перетворювачі, що під'єднані до модуля BMX DDO 1602.

### *Аналогові входи*

Вимірювання температури та тиску на об'єкті здійснюється за допомогою термометра опору ДТПІ4 і датчик тиску Transducer PCS FSR406 які підключений до контролера через універсальний нормуючий перетворювач НПТ-1. Сигнал від 4 мА до 20 мА з датчиків та перетворювачів надходить на клемну колодку та потрапляє на АЦП модуля BMX АММ 0600. В залежності від написаної програми відбувається управління.

### *Аналогові виходи*

В даному проекті використовуються ТЕНи для нагріву повітря в термотунелі які підключені через твердотілі реле з управляючим сигналом 4-20мА. Керуючі сигнали подаються до відповідних елементів від модуля BMX АММ 0600.

## 5.2. Загальна схема підключення датчиків та ВМ до ПЛК

На принциповій електричній схемі (рис. 5.2) ми підключаємо 1 блок живлення Метран-602, 7 оптичних датчиків ВБ3.18М.65.Т4000.х.1.К, 2 термопари ДТПІ4, 1 датчика тиску transducer PCS FSR406, 3 універсальних нормуючих перетворювачів НПТ-1, 2 лампочки AD16-22СМ, 5 частотних перетворювачів Lenze 8200 Vector, 2 ТЕН125А13/2,5S220 U80, 1 пневмоперемикач РЭПВ-3221-14, 3 реле ПР-МИ485.

Під час розробки принципової електричної схеми було використано наступні компоненти:

- Пакетні вимикачі QF1-QF11 для вмикання або знеструмлення певних гілок з технічними засобами;
- Блок живлення БЖ для перетворення змінної напруги 220В в постійну напругу 24В для живлення датчиків, модулів розширення та ВМ.

В принциповій електричній схемі живлення та в принциповій схемі підключення датчиків та ВМ до ПЛК для нумерації окремих груп провідників використовуються наступні позначення:

- Для нумерації провідників по яких протікає змінна напруга використовуються числа, що починаються з 800 (800-816).
- Для нумерації провідників по яких протікає постійна напруга використовуються числа, що починаються з 900 (900-940).
- Для нумерації провідників в яких проходить вимірювальний сигнал від датчика до ПЛК використовуються числа, що починаються зі 100 (100-117).
- Для нумерації провідників по яких проходить сигнал від ПЛК до ВМ використовуються числа, що починаються з 200 (200-208).

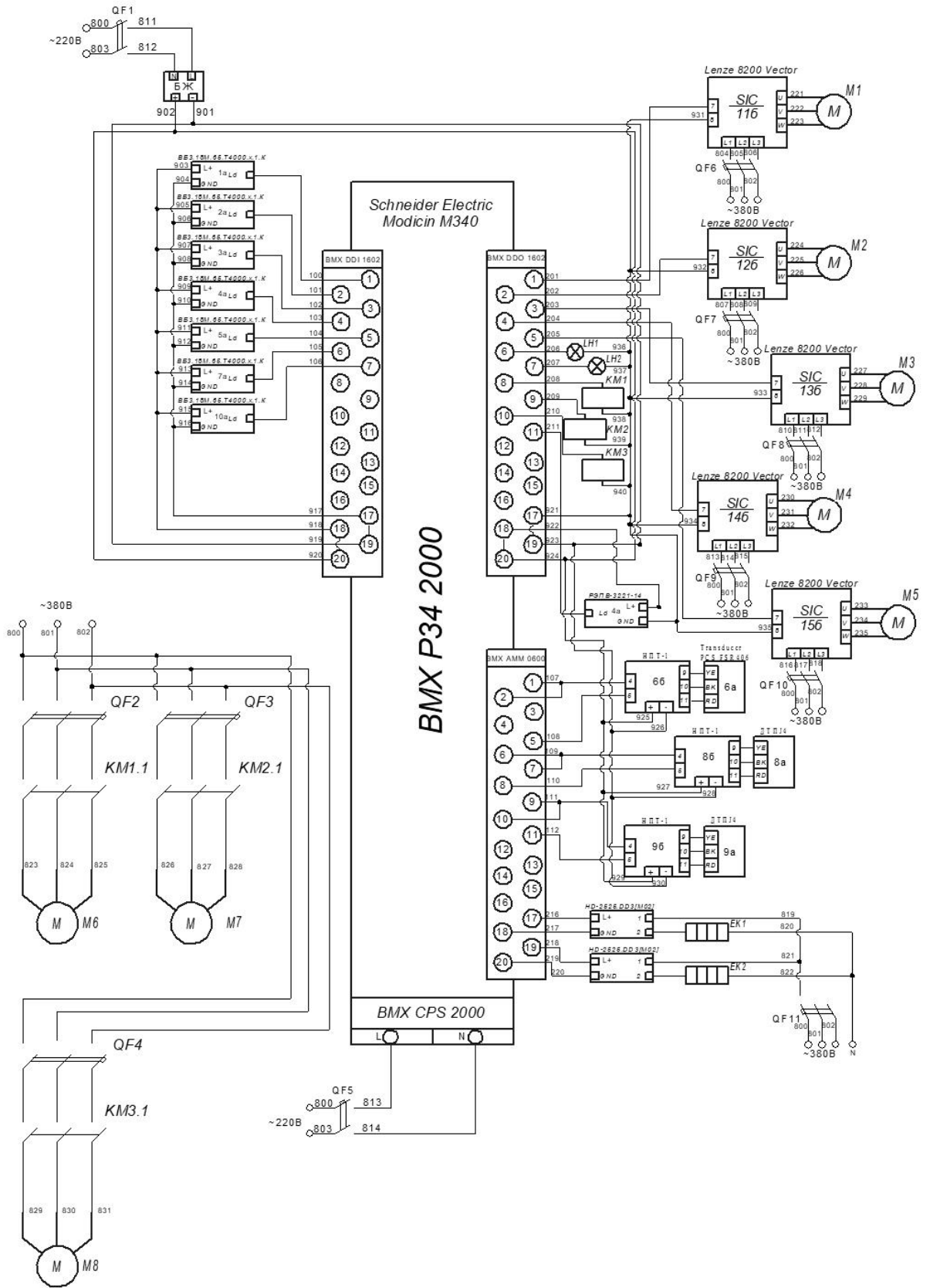


Рис. 5.2. Система керування лінією групової упаковки у термоусадну плівку.

Схема електрична принципова



**5.3. Розширені схеми підключення для окремого контуру (контур регулювання температури нагріву термоусадної плівки)**

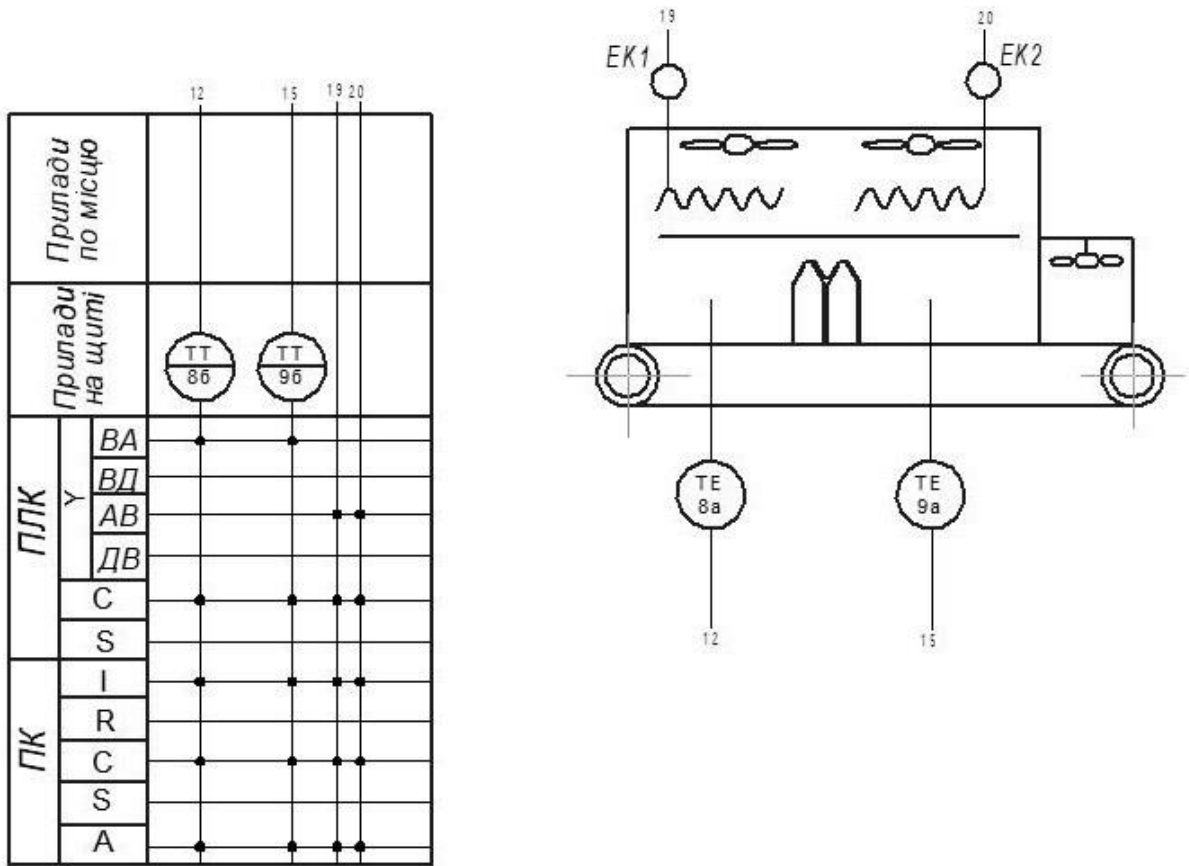


Рис. 5.4. Фрагмент схеми автоматизації: контур регулювання температури нагріву термоусадної плівки

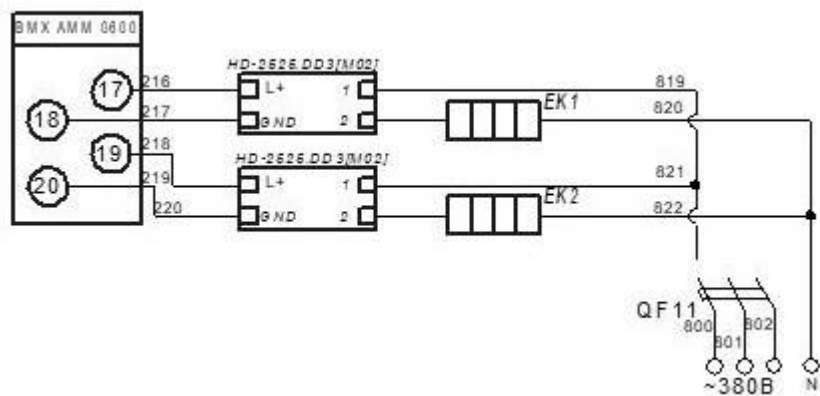


Рис. 5.5. Схема електрична принципова підключення ТЕНу TЕН125А13/2,5S220

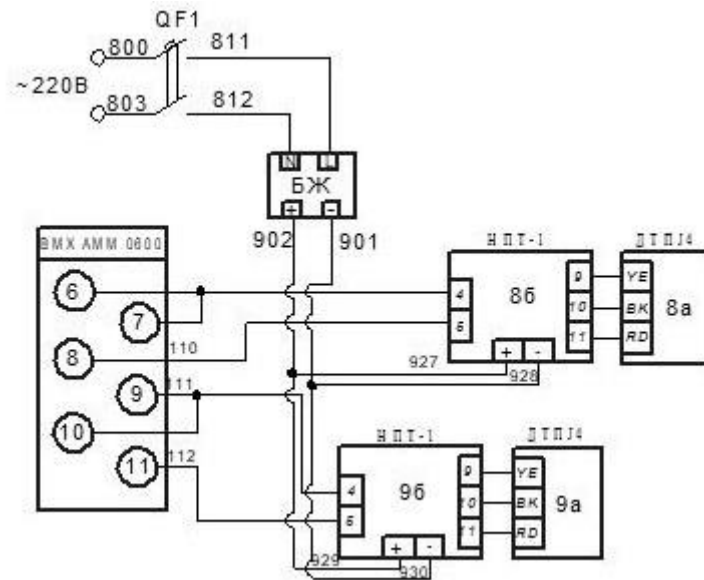


Рис. 5.6. Схема електрична принципова підключення універсального нормуючого перетворювача НПТ-1 та термопар ДТП14

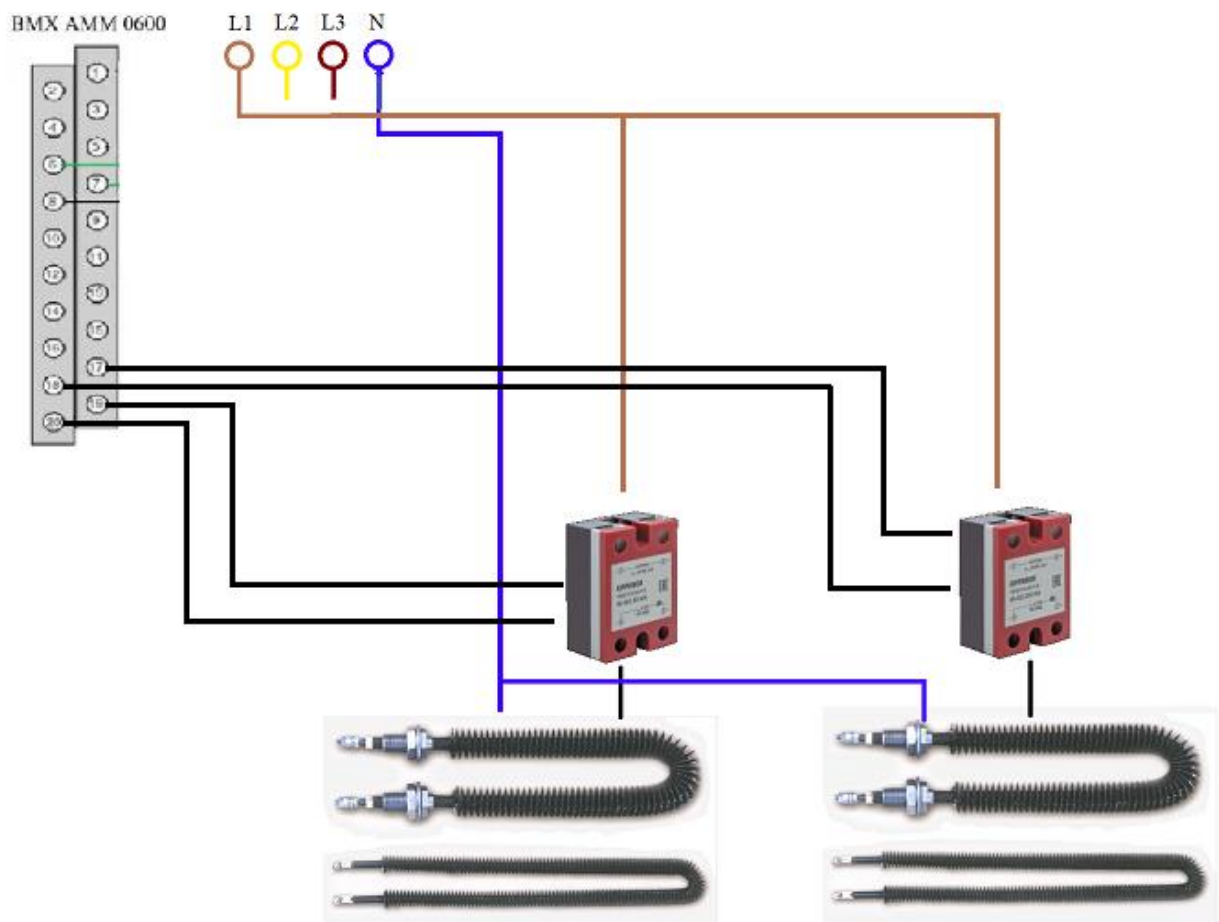


Рис. 5.7. Графічна схема підключення ТЕНу TENU125A13/2,5S220

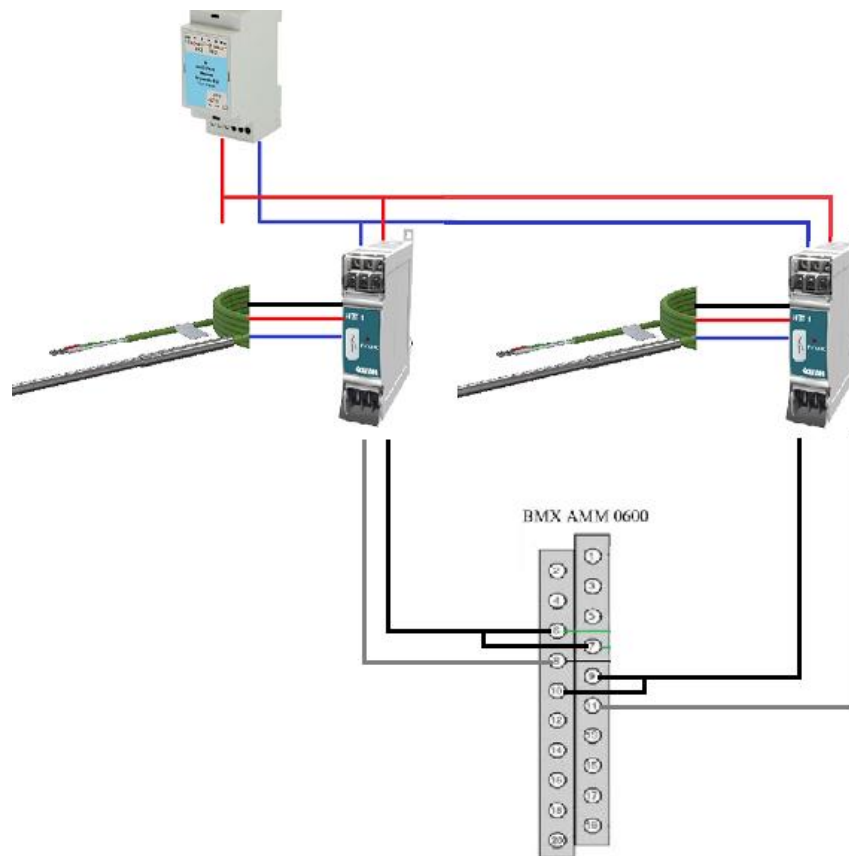


Рис. 5.8. Графічна схема підключення універсального нормуючого перетворювача НПТ-1 та терморпарі ДТПП4

Температура повітря в машині вимірюється за допомогою терморпарі ДТПП4 (Поз.8а,9а, рис. 1.8, розділ 1), що підключений до перетворювача НПТ-1(Поз.8б,9б) з вихідним уніфікованим сигналом 4-20мА, що підключається до аналогового входу модуля ВМХ АММ 0600.

Температура регулюється за допомогою ТЕНу ТЕН125А13/2,5S220 (Поз.2г), що під'єднаний до твердотільного реле HD-2626.DD3[M02], що під'єднаний до аналогового виходу модуля ВМХ АММ 0600 і має вхідний сигнал 4-20мА.

Усі компоненти даного контуру регулювання живляться напругою 24В постійного струму, який надходить до них з блоку живлення БП-30(Поз.БЖ). Напруга на блок живлення подається через автоматичний вимикач QF1, який має вбудований захист по струму.

#### 5.4. Креслення встановлення термопари для вимірювання температури в робочій зоні

Термопара ДТПІ4 призначені для безперервного вимірювання температури в робочій зоні. Термопара ДТПІ4 на основі КТМС (Кабель термопарний з мінеральною ізоляцією в сталевій оболонці) призначена для вимірювання температури рідких, твердих і газоподібних середовищ, в т.ч. з високою температурою, неагресивних до матеріалу корпусу датчика.

Як матеріали термоелектродів для КТМС застосовуються різні сплави, що визначає характеристики термопар і можливості їх застосування.

Функціональні переваги термопар з КТМС в порівнянні з дротяними термопарами:

- низький показник теплової інерції (2 сек. – для КТМС діаметром 4,5 мм) для реєстрації швидкоплинних процесів;
- висока стабільність і збільшений робочий ресурс (перевищення в 2-3 рази в порівнянні зі звичайними);
- можливість вигину, монтажу у важкодоступних місцях і кабельних каналах;
- різні варіанти установки: приварювати, припаювати або кріпити термопару (хомутом, на гвинт) до поверхні;
- для додаткового захисту термоелектродів від впливу навколишнього середовища термопари можуть виконуватись в захисних чохлах.

У загальному випадку термопара являє собою два термоелектрода з різних металів, спаяних між собою. Один спай («робочий») поміщають в вимірювану середу, інший («холодний») повинен перебувати при температурі 0°C. При різних температурах спаїв по термоелектродах протікає ЕРС, прямо пропорційна різниці цих температур. Робочий спай захищається від прямого зіткнення із середовищем захисної арматурою.

Технічні характеристики термопар з кабельним виводом (моделі хх4):

- тип: ДТЦj;
- межі виміру: від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+400^{\circ}\text{C}$ ;
- матеріал захисної оболонки КТМС: сталь AISI 316;
- діаметр оболонки: 3,0 мм; 4,5 мм;
- тиск: до 6,3 МПа.

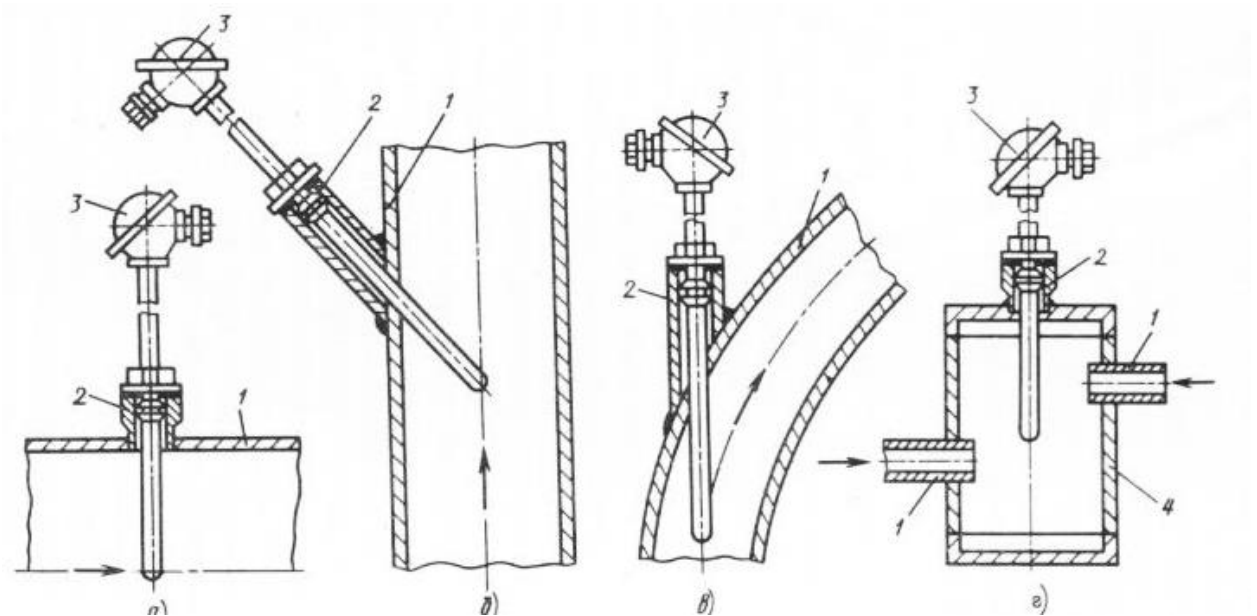


Рис. 5.9. Приклади встановлення датчика

## РОЗДІЛ 6

### РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ТЕХНІЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ПАКУВАННЯМ ГОТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ У ПЕТ-ПЛЯШКАХ

Блок-схема алгоритму курування лінії пакування готової продукції в ПЕТ-пляшки зображена на рис. 6.1.

Алгоритм це – виконання послідовних дій для досягнення поставленої мети, або розв’язку задачі. Для більш легкого сприйняття інформації на основі алгоритму роботи установки, було розроблено блок-схему алгоритму (рис. 6.1). Далі буде описано алгоритм роботи установки.

Блок-схема – представлення задачі для її аналізу або розв’язування за допомогою спеціальних символів (геометричних образів), які позначають такі елементи, як операції, потік, дані тощо. Блок вхідних та вихідних даних прийнято позначати паралелограмом, блок обчислень (обробки) даних прямокутником, блок прийняття рішень – ромбом, еліпсом – початок та кінець алгоритму.

Змінні програми представлені в таблиці 6.1.

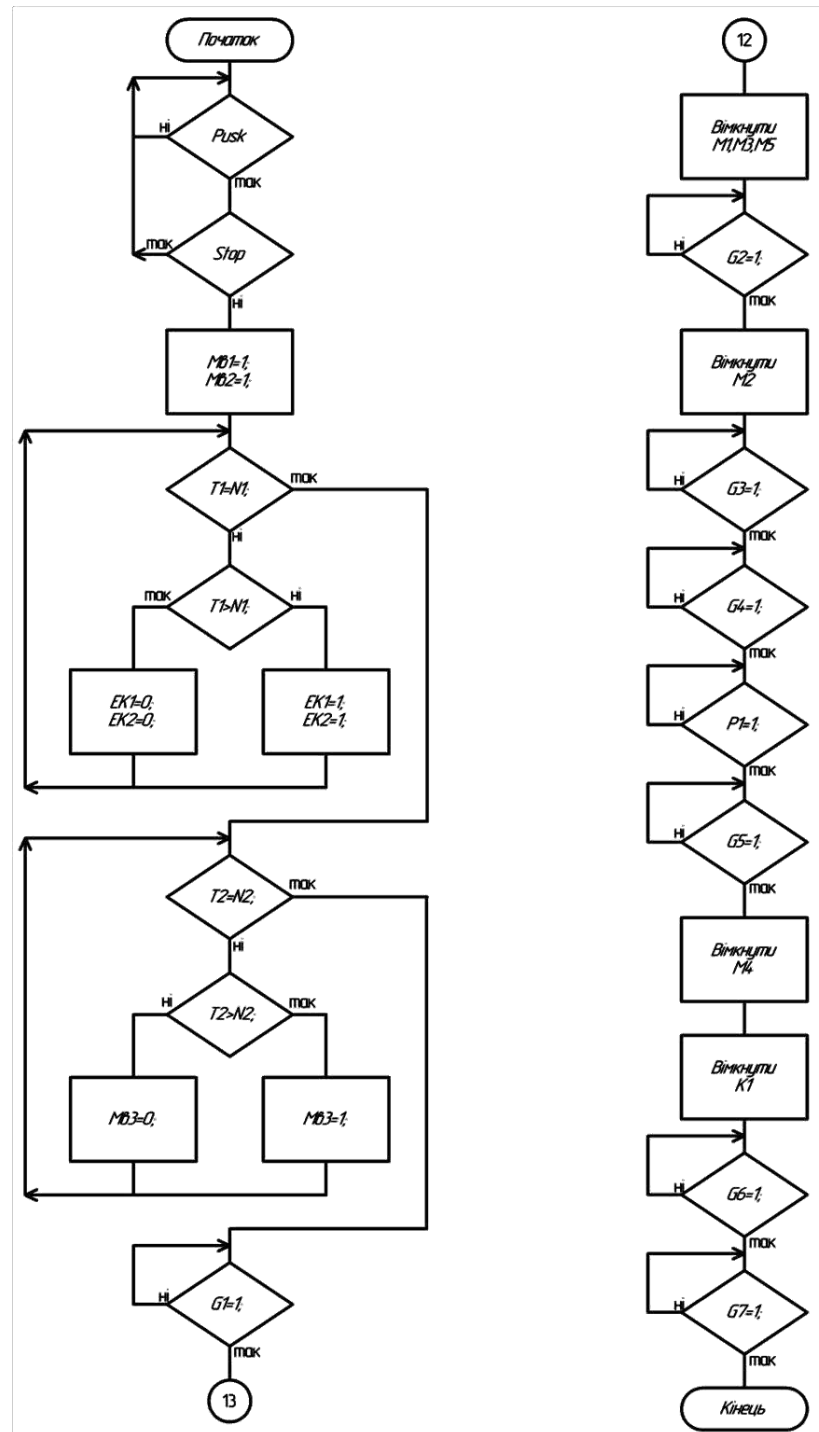


Рис.6.1. Блок-схема алгоритму роботи установки

## Змінні програми користувача

Ім'я змінної	Адреса	Найменування
m1	%Q0.3.0	Двигун 1
m2	%Q0.3.1	Двигун 2
m3	%Q0.3.2	Двигун 3
m4	%Q0.3.3	Двигун 4
m5	%Q0.3.4	Двигун 5
m6	%Q0.3.5	Двигун 6
m7	%Q0.3.8	Двигун 7
m8	%Q0.3.9	Двигун 8
GE1	%I0.1.0	Оптичний датчик 1
GE2	%I0.1.1	Оптичний датчик 2
GE3	%I0.1.2	Оптичний датчик 3
GE4	%I0.1.3	Оптичний датчик 4
GE5	%I0.1.4	Оптичний датчик 5
GE6	%I0.1.5	Оптичний датчик 6
GE7	%I0.1.6	Оптичний датчик 7
TE8	%IW0.2.1	Термопара 1
TE9	%IW0.2.2	Термопара 2
EK1	%QW0.2.4	Тен 3
EK2	%QW0.2.5	Тен 2
PE6	%IW0.2.0	Датчик тиску 1

Програма користувача складається з декількох підпрограм для кращої орієнтації та розподілення задач. Програма користувача складається з наступних підпрограм:

- Prog;
- Scale.

Підпрограма Prog написана на мові FBD і являється основною в ній реалізується робота установки. Програма показано на рис. 6.2.

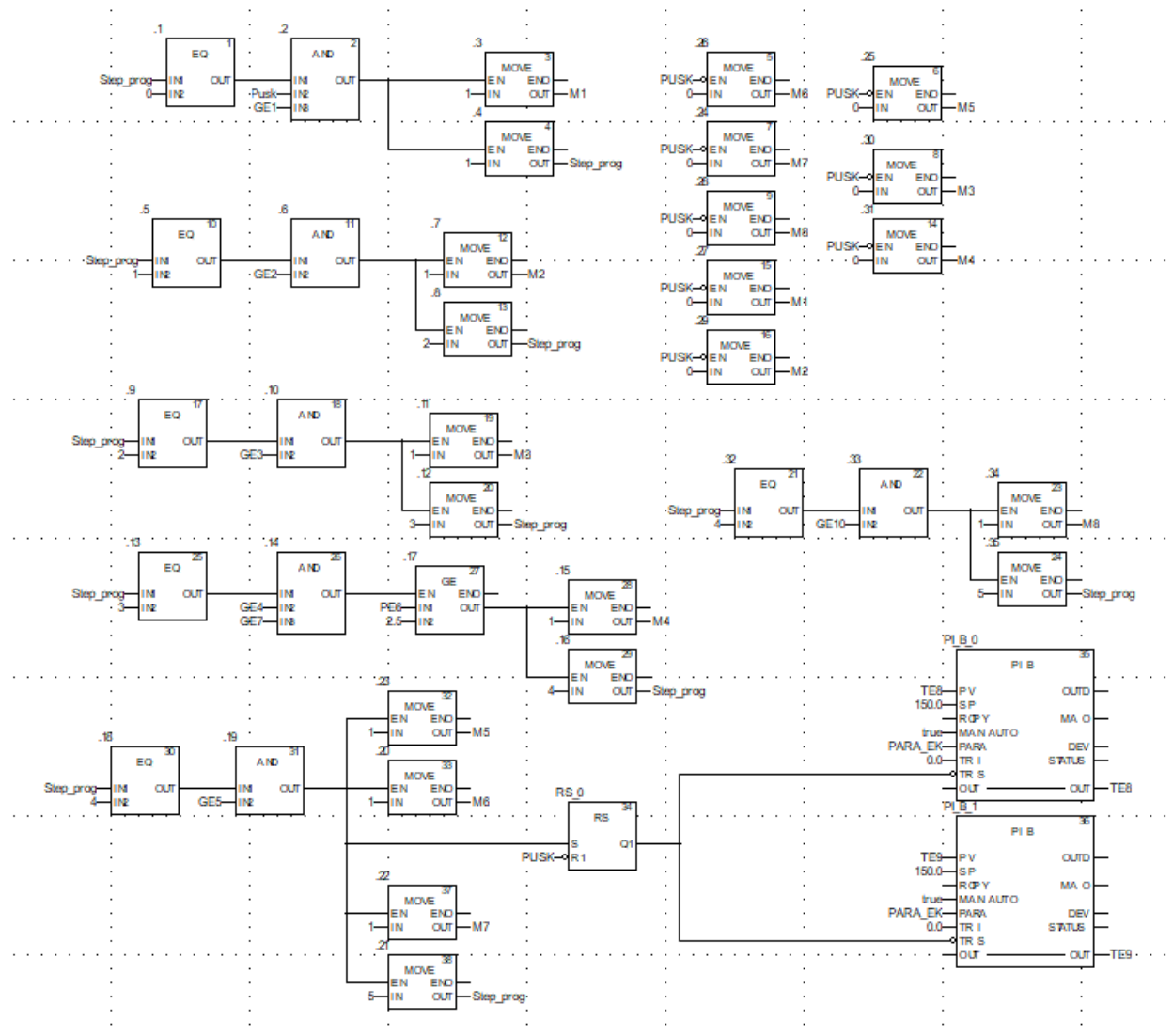


Рис. 6.2. Підпрограма Prog

Реалізація роботи етапу нагріву плівки за допомогою блоку «PI\_V», показаний на рис. 6.3. Коли програма почала свою роботу зміна «PUSK» почала подавати сигнал. На блок «PI\_V0», «PI\_V1» підключені входи: «TE8», «TE9» це температура в даний період часу в керованому середовищі, 150 це задана температура яку потрібно підтримувати на виході.

Реалізація включення вентиляторів за допомогою блоку «AND» показаний на рис. 6.4. Вмикання «m6, m7, m8» відбудеться якщо на обидва входи прийде сигнал від «GE5, GE10».

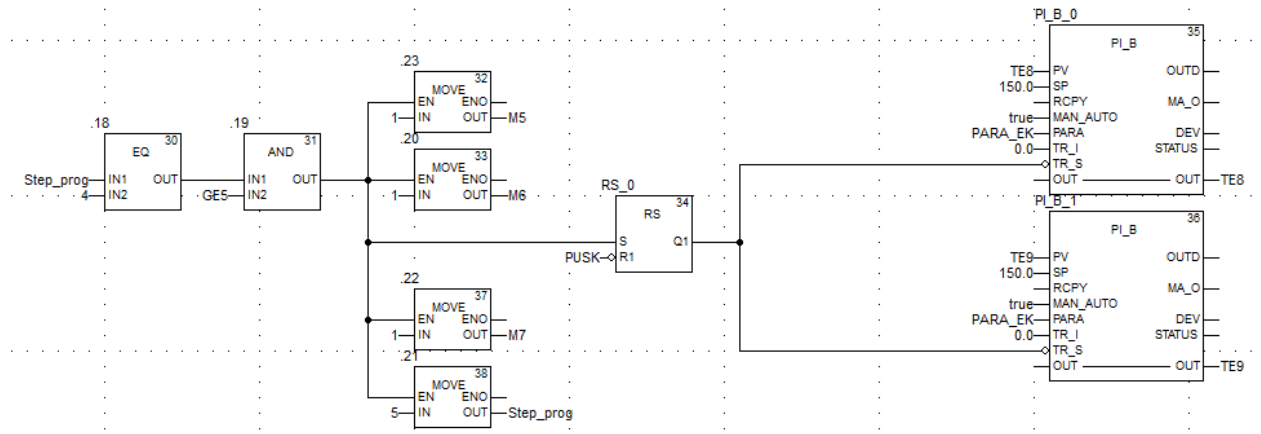


Рис. 6.3. Зовнішній вигляд програмної реалізації автоматичного регулювання температури ТЕНів

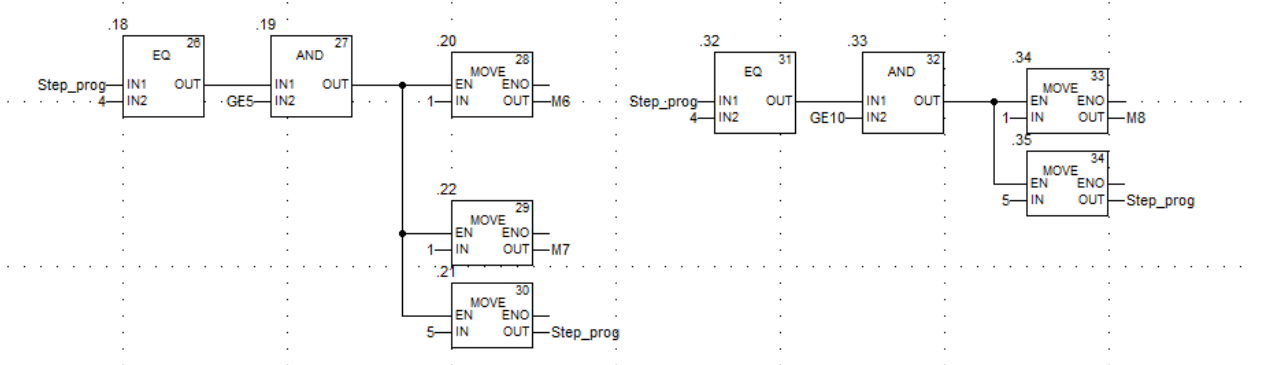


Рис. 6.4. Зовнішній вигляд програмної реалізації включення вентиляторів

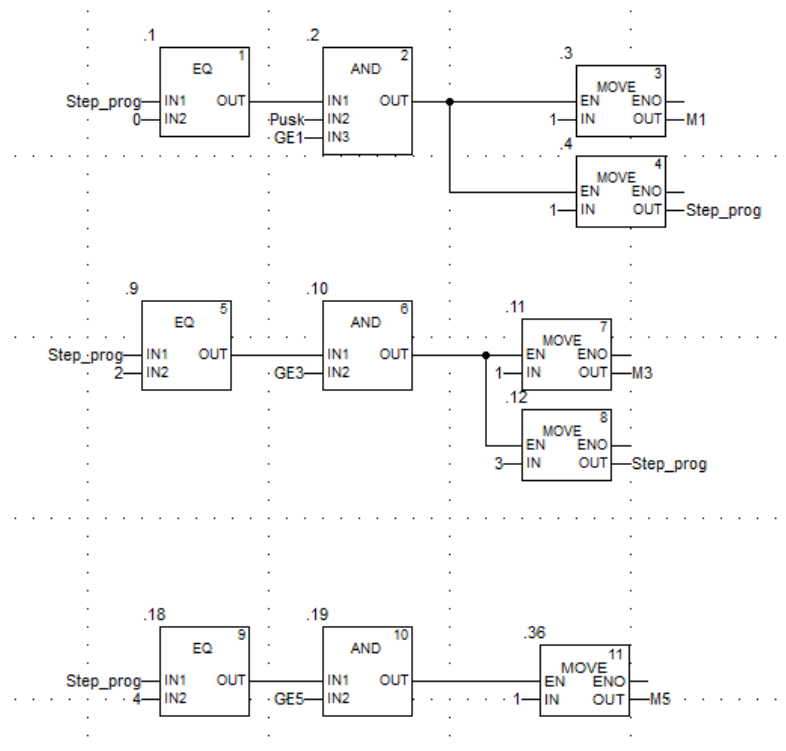


Рис. 6.5. Зовнішній вигляд програмної реалізації включення транспортерів

Реалізація управління транспортером за допомогою блоку «AND» показаний на рис. 6.5. Вмикання «m1, m3, m5» відбудеться якщо на всі входи прийде сигнал від змінних: «Pusk», «GE1,GE3,GE5».

Підпрограма Scale написана на мові FBD призначена для прив'язки каналів вводу-виводу до створених структур (рис. 6.6).

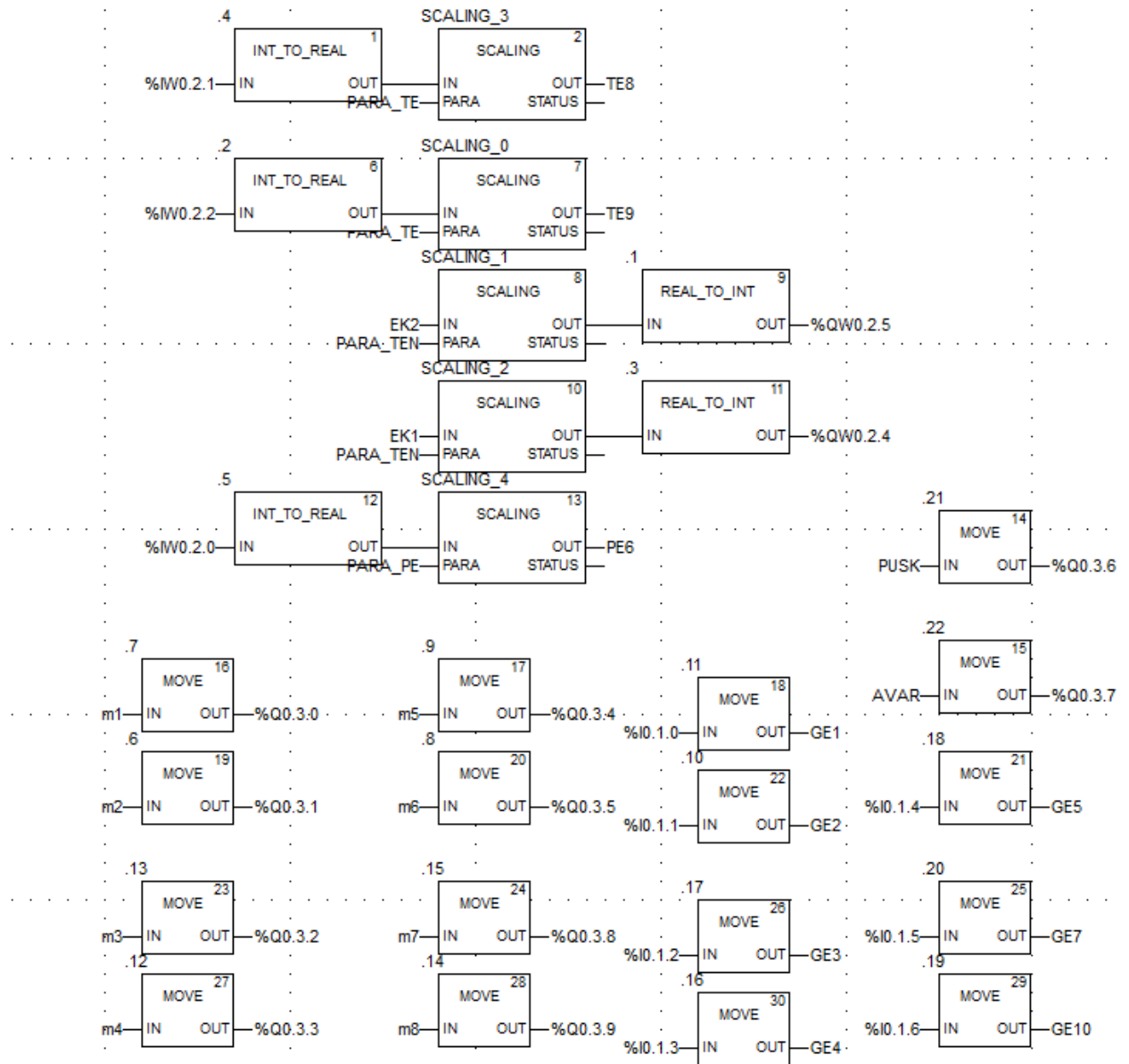


Рис. 6.6. Підпрограма Scale

## РОЗДІЛ 7

### РОЗРОБКА ЛЮДИНО-МАШИННОГО ІНТЕРФЕЙСУ ОПЕРАТОРА-ТЕХНОЛОГА

#### 7.1. Переліки вхідних та вихідних сигналів та даних SCADA/HMI

Під час розробки основної програми була створена візуалізація модернізованої системи управління пакуванням готової продукції в ПЕТ-пляшках, яка буде здійснювати моніторинг технологічного процесу у реальному часі та повністю продемонструє всі переваги управління контролером. При розробці людино-машинного інтерфейсу оператора було використано змінні, які перераховані в таблиці 7.1

Таблиця 7.1.

Змінні які були задіяні в «SIMPLE-Scada 2» (початок)

Джерело сигналу	Назва змінної
Оптичний датчик	PLC1 PLC PRG G1
Оптичний датчик	PLC1 PLC PRG G2
Оптичний датчик	PLC1 PLC PRG G3
Оптичний датчик	PLC1 PLC PRG G4
Оптичний датчик	PLC1 PLC PRG G5
Оптичний датчик	PLC1 PLC PRG G6
Оптичний датчик	PLC1 PLC PRG G7
Датчик тиску	PLC1 PLC PRG P1 tusk
Датчик температури	PLC1 PLC PRG T1
Датчик температури	PLC1_PLC_PRG_T2
Пневмо перемикач	PLC1 PLC PRG pj
Тен	PLC1 PLC PRG T1 ten
Аварія	PLC1 PLC PRG Avar
Все працює в нормі	PLC1 PLC PRG norm
Двигун 1	PLC1 PLC PRG m1
Двигун 2	PLC1 PLC PRG m2
Двигун 3	PLC1 PLC PRG m3
Двигун 4	PLC1 PLC PRG m4
Двигун 5	PLC1_PLC_PRG_m5

Змінні які були задіяні в «SIMPLE-Scada 2» (закінчення)

Джерело сигналу	Назва змінної
Двигун вентилятора охолодження	PLC1_PLC_PRG_T3_vent
Двигун вентилятора нагріву 1	PLC1_PLC_PRG_mv1
Двигун вентилятора нагріву 2	PLC1_PLC_PRG_mv2

## 7.2. Відеокадри дисплейних мнемосхем оператора

Мнемосхема технологічного процесу призначена для моніторингу процесу з АРМ оператора, а також для внесення ручних дій при виникненні аварійних ситуацій.

Головне вікно мнемосхеми оператора зображене на рис. 7.1.

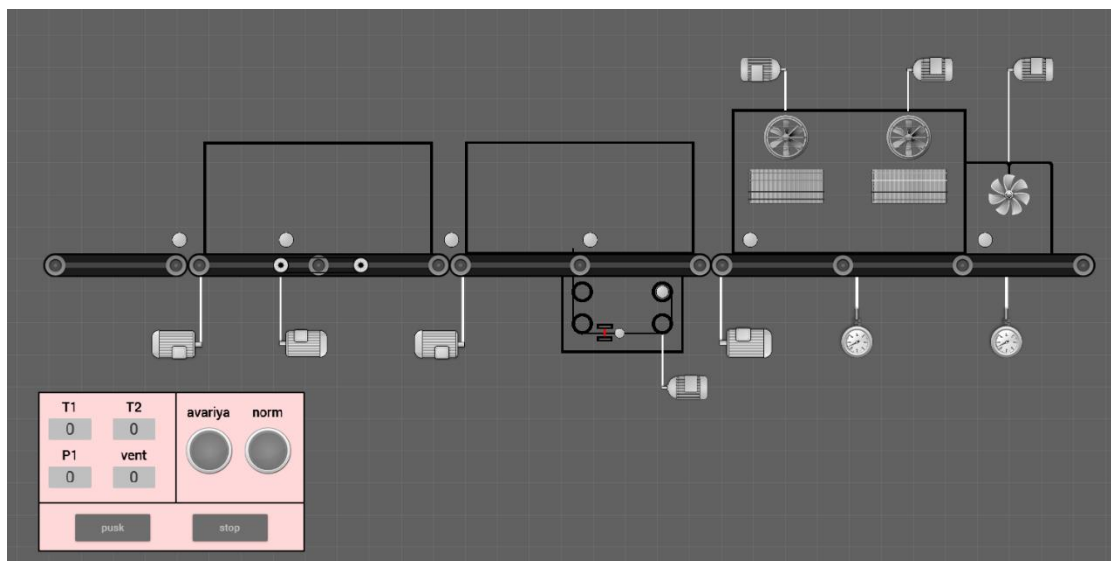


Рис. 7.1. Головне вікно мнемосхеми технологічного процесу

За допомогою програмного забезпечення «Simple-Scada 2», створено людино-машинний інтерфейс оператора для даної технологічної лінії і агрегату.

Двигун для запуску конвеєра зображений на рис. 7.2.

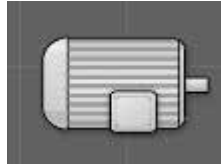


Рис. 7.2. Зовнішній вигляд розгінного двигуна в програмі

Оптичний датчик було зображено в вигляді лампочки, яка змінює колір у тому випадку, коли спрацьовує (рис. 7.3).



Рис. 7.3. Зовнішній вигляд оптичного датчика в програмі

Термопара була зображено в вигляді індикатора, який змінює колір, коли спрацьовує, і в програмі також відображається температура. Вигляд реалізації в програмі зображено на рис. 7.4.



Рис. 7.4. Зовнішній вигляд термопари в програмі

Датчик тиску зображено у вигляді лампочки, яка змінює колір при спрацюванні, і у програмі відображається тиск (рис. 7.5).



Рис. 7.5. Зовнішній вигляд датчика тиску в програмі

Нагрівальний елемент ТЕН була зображено в вигляді підігрівача, який змінює колір при спрацюванні, вигляд якого зображено на рис. 7.6.

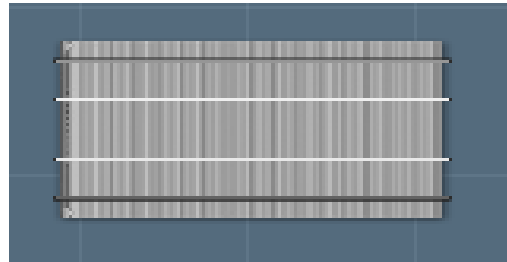


Рис. 7.6. Зовнішній вигляд ТЕНу в програмі

Вентилятор системи охолодження закованої групи ПЕТ-пляшок був зображений у вигляді вентилятора, який рухається при вмиканні, вигляд якого зображено на рис. 7.7.

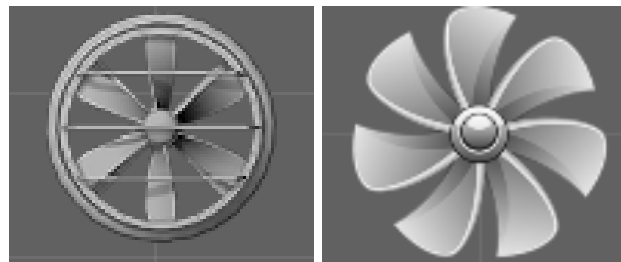


Рис. 7.7. Зовнішній вигляд вентилятора системи охолодження упаковки в програмі

Ніж для плівки був виконаний як два блоки, між якими є лінія, яка змінює колір при спрацюванні (рис. 7.8).

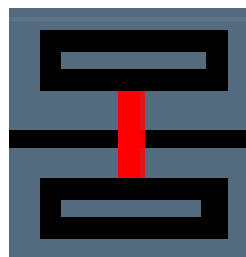


Рис. 7.8. Зовнішній вигляд ножа для плівки в програмі

Панель управління була виконана як панель із кнопками для запуску і зупинки, сигнальними лампами стану роботи, індикаторами чисельних значень технологічного процесу (рис. 7.9).

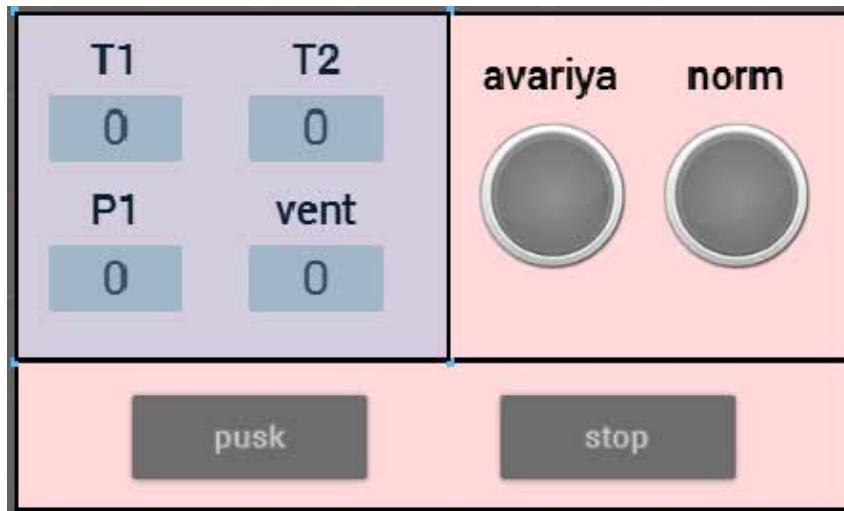


Рис. 7.9. Зовнішній вигляд панелі управління в програмі

## РОЗДІЛ 8

### ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Економічні показники розробленої установки визначалися за методикою, викладеною в ДСТУ4397:2005 "Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробувань", а також за методикою визначення економічної ефективності використання техніки в народному господарстві [27].

Для визначення оптової ціни нової установки був застосований спосіб розрахунку ціни за формулою [27].

$$C_{н.м.} = \left( \frac{(P_{\delta} - P_n)B_z + C_{ян} - C_{яб} + C_m k_{\delta}}{\alpha_n + E_n} \right) \frac{1}{k_{\delta}} \delta, \quad (8.1)$$

де  $P_{\delta}$ ,  $P_n$  – сукупні витрати на одиницю виробітку відповідно до базової і нової установки, грн./од;

$B_z$  – річний обсяг виробітку новою машиною;

$C_{ян}$ ,  $C_{яб}$  – вартість продукції, одержаної у результаті застосування відповідно нової та базової машини протягом року, грн.;

$\alpha_n$  – коефіцієнт відрахувань на амортизацію нової машини;

$E_n$  – коефіцієнт ефективності інвестиційних вкладів;

$C_m$  – ціна установки без податку на додану вартість, грн.;

$k_{\delta}$  – коефіцієнт перерахунку ціни придбання в балансову вартість машини;

$\delta$  – коефіцієнт гарантії споживачу економічного ефекту від використання нової машини.

Річний економічний ефект від використання нової машини визначається відповідно до загальноприйнятої методики [27], згідно з якою

$$\mathcal{E}_2 = B_z \cdot (P_{\delta} - P_n), \quad (8.2)$$

де  $P_{\delta}$ ,  $P_n$  – приведені витрати на одиницю напрацювання для базової і нової машини, грн./кг.

Приведені витрати  $\Pi$  на одиницю напрацювання становлять суму прямих експлуатаційних витрат і капітальних вкладень

$$\Pi = I + E \cdot K, \quad (8.3)$$

де  $I$  – прямі експлуатаційні витрати на одиницю напрацювання, грн./кг;

$K$  – одноразові капітальні вкладення на одиницю напрацювання, грн.;

$E$  – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень.

Прямі експлуатаційні витрати на одиницю напрацювання визначені за формулою

$$I = Z + \Xi + P + A, \quad (8.4)$$

де  $Z$  – витрати на оплату праці.

$$Z = \frac{\sum L \cdot \tau}{Q}, \quad (8.5)$$

де  $\sum L$  – кількість працівників даної кваліфікації, зайнятих на виконанні даного процесу, чол.;

$Q$  – продуктивність установки за 1 годину;

$\tau$  – годинна тарифна ставка оплати праці обслуговуючого персоналу, грн./люд.·год.;

Витрати на електроенергію

$$\Xi = \frac{N_{\Xi} \cdot C_{\Xi}}{Q}, \quad (8.6)$$

де  $N_{\Xi}$  – встановлена потужність установки, кВт·год;

$Q$  – витрата електроенергії за 1 годину експлуатаційного часу, кВт/год.;

$C_e$  – ціна 1 кВт·год.,  $C_{\Xi} = 2,92$  грн./кВт·год. – для побутових споживачів 2 класу напруги (до 27,5 кВт) [28].

Витрати відрахувань на амортизацію (капітальний ремонт та реновацію) визначені за балансовою вартістю установки та відповідним для неї нормами амортизаційних відрахувань

$$A = \frac{B \cdot \alpha}{B_2 \cdot 100\%}, \quad (8.7)$$

де  $B$  – балансова ціна установки, грн.;

$\alpha$  – відсоток щорічних амортизаційних відрахувань на реновацію;

Балансова вартість екструдера визначається

$$B = C \cdot \beta, \quad (8.8)$$

де  $\beta$  - коефіцієнт, що визначає середні витрати на транспортування,

$\beta = 1,1$ .

Витрати відрахувань на капітальний, поточний ремонт і технічне обслуговування визначені за формулою

$$P = \frac{B \cdot \alpha}{B_2 \cdot 100\%}, \quad (8.9)$$

де  $\alpha$  - відсоток відрахування на поточний ремонт і технічне обслуговування.

Капітальні вкладення на одиницю напрацювання визначаються як

$$K = \frac{B}{B_2}, \quad (8.10)$$

Термін окупності додаткових капітальних вкладень визначені за наступною формулою:

$$T_{\text{окуп}} = \frac{K_n}{\mathcal{E}_2}, \quad (8.11)$$

Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності розробленої системи керування лінією групової упаковки наведено в таблиці 8.1.

Економічна ефективність від впровадження нової техніки оцінюється за допомогою річного економічного ефекту та терміну окупності додаткових капіталовкладень.

Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності нової установки

Найменування	Позначення	Одиниці виміру	Значення
1. Маса	$m$	кг	1.5
2. Оптова ціна	$C$	грн.	7000
3. Середньорічне навантаження	$T$	год.	7440
4. Продуктивність	$Q$	кг/год.	100
5. Споживана потужність	$N$	кВт	9
6. Норма відрахувань: а) на амортизацію б) на технічне обслуговування та ремонт	$\alpha$	% %	14,20 12
7. Коефіцієнт перетворення оптової ціни в роздрібну	-	-	1,10
8. Обслуговуючий персонал	$\sum L$	чол.	1
9. Річний виробіток установки	$B_z$	кг/год.	2200
10. Погодинна ставка оплати оператора	$\tau$	грн.	60

Отримані вище результати, а також основні техніко-економічні показники для нової установки використані в якості вихідних даних для розрахунку річного економічного ефекту і терміну окупності додаткових капіталовкладень.

Результати розрахунку річного економічного ефекту представлені в табл. 8.2.

## Результати розрахунку річного економічного ефекту

Найменування	Позначення	Одиниц і виміру	Значення
1	2	3	4
1. Собівартість	$Z = (\alpha + \beta + \varepsilon) \cdot K + \mathcal{E} + T + P$	грн./кг	3,508
2. Прямі відрахування:	$I = Z + \mathcal{E} + P + A$	грн./кг	0,9504
- відрахування на амортизацію	$A = \frac{B \cdot 1,1 \cdot \alpha}{Q \cdot T_r \cdot 100\%}$	грн./кг	0,008
- відрахування на ремонт і ТО	$P = \frac{B \cdot 1,1 \cdot \alpha}{Q \cdot T_r \cdot 100\%}$	грн./кг	0,027
- вартість енерго-ресурсів	$\mathcal{E} = N_{\mathcal{E}} \cdot C_{\mathcal{E}} / Q + q_{\text{зсм}} \cdot C_{\text{зсм}} / Q$	грн./кг	1,29
- витрати на оплату праці оператора	$Z = \frac{\sum L \tau}{Q}$	грн./кг	2,6
3. Приведені капіталовкладення	$K = \frac{B}{Q \cdot T_r}$	грн./кг	0,28
4. Приведені витрати	$\Pi = I + E \cdot K$	грн./кг	0,469
5. Річний економічний ефект	$\mathcal{E}_2 = B_2 \cdot (\Pi_0 - \Pi_n)$	грн.	9342
6. Строк окупності капіталовкладень	$T_{\text{окуп}} = \frac{K_n}{\mathcal{E}_2}$	років	1,5

Розрахунок економічної ефективності удосконаленої системи автоматичного керування лінією групової упаковки продукції у ПЕТ-пляшках термоусадною плівкою протягом року виявив, що термін окупності впровадження розробки САК у виробництво становить 1,5 року.

## ВИСНОВКИ

При виконанні кваліфікаційної магістерської роботи було розглянуто дві складові частини процесу упаковки: виготовлення термоусадної плівки на шнековому екструдері та упаковку ПЕТ-пляшок цією плівкою на лінії групової упаковки.

В результаті дослідження визначені вимоги до формування системи керування, розроблено функціональну схему автоматизації системи керування лінією групової упаковки та алгоритм роботи відповідного технологічного обладнання, розроблені електричні схеми системи, створено людино-машинний інтерфейс оператора для контролю та керування лінією групової упаковки продукції у ПЕТ-пляшках термоусадною плівкою.

При дослідженні екструдера як об'єкта автоматизації розроблена математична модель теплових процесів при екструзії полімерних гранул, за допомогою якої отримана передатна функція екструдера для каналу керування температурним режимом

В результаті математичного моделювання температурного режиму виробництва термоусадної плівки виявлено можливості підвищення ефективності роботи прес-екструдера шляхом використання диференційованих режимів нагріву корпусу, що досягається зміною кількості одночасно підключених груп нагрівачів до мережі живлення в залежності від температури полімерних гранул сировини, що надходить на переробку. За допомогою розробленої моделі отримана передатна функція екструдера для каналу керування температурним режимом екструзії. При дослідженні САК на стійкість встановлено, що в системі керування температурним режимом виробництва пакувальної плівки існують стійкі автоколивання з амплітудою  $a=2,4^{\circ}\text{C}$  та періодом  $T=1280$  с.

Економічними розрахунками обґрунтована доцільність прийнятих технічних рішень, строк окупності розробленої системи керування лінією групової упаковки складає 1,5 року.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації [Текст]: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ют.-інтегр. технології / М. В. Лукінюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 236 с.: іл.
2. Бабіченко, А. К. Промислові засоби автоматизації [Текст]: навч. посіб.: У 2 ч. / А. К. Бабіченко, В. І. Тошинський, В. С. Михайлов та ін.; за заг. ред. А. К. Бабіченка. – Х.: НТУ «ХПІ», 2003. – Ч. 1. Вимірювальні пристрої. – 470 с. – Бібліогр.: с. 467.
3. Домарецький В.А. Технологія солоду та пива. – К.: Урожай, 1999. – 541 с.
4. Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І. Обладнання для групового пакування. К.: ІАЦ "Упаковка", 2007. – 136 с.
5. Електропривід сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній: Підручник / Є.Л. Жулай, Б.В. Зайцев, Ю.М. Лаврінченко, О.С. Марченко, Д.Г. Войтюк; За ред. Є.Л. Жулая. – К.: Вища освіта, 2001. – 288 с.: іл.
6. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів / В. Лисенко, Є. Чернушенко, В. Решетюк, В. Мірошник, Н. Заєць, І. Цигульов – К.: Аграр Медіа Груп, 2016. – 476 с.
7. Комарчук, Д.С., Режими роботи електротехнологічного комплексу з системою автоматичного управління для теплової обробки зерна ріпаку [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03. / Комарчук Дмитро Сергійович; Кабінет Міністрів України, Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України. – Київ, 2014. – 22 с.: рис.
8. Корчемний М., Федорейко В., Щербань В. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. - - Тернопіль: Підручники & посібники, 2001. – 977с.
9. Технологія солоду, пива та безалкогольних напоїв у задачах та прикладах /А.Є. Мелетьєв, В.А. Домарецький, С.Р. Тодосійчук та ін.; За ред. А.Є. Мелетьєва. – Київ: НУХТ, 2007. – 256 с.
10. Проектування систем автоматизації [Текст]: навч. посібник / М.С. Пушкар, С.М. Проценко – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 268 с.
11. Навчальне видання: Методичні вказівки щодо оформлення матеріалів курсової роботи з дисциплін: "Проектування систем автоматики", "Проектування систем електрифікації, автоматизації та енергопостачання АПК", "Проектування систем електрифікації та автоматизації АПК" / В.П. Лисенко, І.М. Болбот, О.І. Задорожній. – Київ, Видавничий центр НАУ, 2007. – 48 с.
12. Лисенко В.П., Решетюк В.М., Цигульов І.Т. Основи автоматики: теорія і практика (ч.1). Видання 2-е, перероблене і доповнене. / Лисенко В.П., Решетюк В.М., Цигульов І.Т. – К.: Освіта України, 2013. – 720 с.

13. Пантелєєв А.П. Довідник з проектування обладнання для переробки пластмас / А.П. Пантелєєв, Ю.М. Шевцов, И.А. Горячев. – К.: Машинобудування, 2006. – 400 с.
14. Регульований електропривод. Теорія. Моделювання: Навчальний посібник / І.М. Голодний, Ю.М. Лаврінєнко, М.В. Синявський, В.В. Козирський, Л.С. Червінський, В.М. Решетюк, В.В. Савченко; За ред. І.М. Голодного. – 2-е вид., доп. і перероб. – К.: Аграр Медіа Груп, 2012. – 513с.: іл.
15. Севостьянов І. В. Експлуатація та обслуговування машин. Навчальний посібник/ Севостьянов І. В. - Вінниця: ВНТУ, 2006. – 127 с.
16. Типи регуляторів. Методика налагодження регуляторів. Інструкція ПРМК.420000.001.И1 / Сімановський А.Ю., Івано-Франківськ: КП Мікрол, 2004. – 63 с.
17. Товажнянський Л.Л., Бухкало С.І., Капустєнко П.О., Арсєньєва О.П., Орлова Є.І. Харчові технології у прикладах і задачах: Підручник. – К.: Центр учбової літератури, 2008. – 576 с.
18. Шредер В.Л., Кривошей В.М., Кулик Н.В. Полімерна упаковка. К.: ІАЦ "Упаковка". 2021. – 586 с.
19. Електротехнічний довідник / Алієв І.І. - К.: ІП РадіоСофт, 2006. – –84 с.
20. Perkins J. D. Advanced computational methods for process modeling and simulation/ Perkins J. D.// Engineering and Food. – Vol. 1. – Physical Properties and Process Control/ Spiess W.B.L. and Shuber H. (eds.). – London: Elsevier, 1990.
21. Аналіз розміру і долі ринку автоматизації упаковки – тенденції зростання і прогнози (2023-2028 р.). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/packaging-automation-market-industry>
22. Каталог електродвигунів серії АІР [Електронний ресурс] Режим доступу: [https://aip.com.ua/katalog\\_elektrovdigatelei\\_air/](https://aip.com.ua/katalog_elektrovdigatelei_air/)
23. Контрольно-вимірювальні прилади. [Електронний ресурс]. Режим доступу <https://masteram.com.ua/uk/catalogue/test-and-measuring-equipment/>
24. Контрольно-вимірювальні прилади. [Електронний ресурс]. Режим доступу <https://technotest.com.ua/kontrolno-vymiryvalni-prylady.html>
25. Контрольно-вимірювальні прилади. [Електронний ресурс]. Режим доступу <https://boiler.ua/ua/kip/>
26. Спецавтоматика Україна Контрольно-вимірювальні прилади і автоматика [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://ukrspecavtomat.com.ua/uk/>
27. Економічна оцінка енергетики АПК. Навчальний посібник для студентів навчальних закладів / В.Т. Водяников - .-.: Вища школа, 2002. – 304 с.
28. Тарифи на електроенергію в Україні з 01.06.2024 [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://koec.com.ua/page?root=23>

## ДОДАТКИ

## ДОДАТОК А

Розрахункові дані для побудови нормованої розгінної характеристики  
екструдера для виробництва пакувальної плівки

Час $t_i$ , с	$T$ , °C	$\gamma^0(t_i)$	Час $t_i$ , с	$T$ , °C	$\gamma^0(t_i)$
0	6,00	0	800	115,67	0,895
50	8,23	0,051	850	116,27	0,911
100	22,16	0,149	900	116,92	0,925
150	42,70	0,253	950	117,14	0,935
200	58,53	0,349	1000	117,48	0,949
250	65,31	0,436	1050	117,76	0,966
300	78,04	0,512	1100	118,26	0,970
350	83,78	0,578	1150	118,48	0,973
400	91,65	0,636	1200	118,61	0,979
450	96,76	0,686	1250	119,15	0,985
500	103,20	0,730	1300	119,62	0,989
550	108,06	0,768	1350	119,88	0,993
600	110,42	0,801	1400	120,00	0,997
650	112,34	0,829	1450	120,00	1,000
700	113,88	0,854	1500	120,00	1,000
750	114,89	0,876			