

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

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
до кваліфікаційної роботи магістра  
на тему: «Автоматизація технологічного процесу виготовлення картону»

Виконав студент 2 курсу, групи АТ-28м  
спеціальності 174 “ Автоматизація,  
комп'ютерно-інтегровані технології  
та робототехніка”

Марценюк Євгеній Сергійович

(прізвище та ініціали студента)

Керівник: к.т.н., доц. Ткачук А.Г.

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

Рецензент: к.т.н., доц. Чепюк Л.О.

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

Житомир – 2024

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

**Спеціальність 174 “Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології**  
**та робототехніка”**

ЗАТВЕРДЖУЮ

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

\_\_\_\_\_ к.т.н., доц. Громовий О.А.  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024р.

**ЗАВДАННЯ**

на кваліфікаційну роботу магістра

Студент Марценюк Євгеній Сергійович

1. Тема роботи: Автоматизація технологічного процесу виготовлення картону

Затверджена Наказом по університету від «12» листопада 2024 р. № 646/с

2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру «18» грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи матеріали звіту про переддипломну практику, автоматичний контроль температури та рівня, намотувальний пристрій, плавне регулювання швидкості та подачі, створення інтерфейсу оператора

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці) виконати аналіз обраного технологічного процесу пресування та технічних рішень, пов'язаних з ним; на основі виконаного аналізу створити систему керування малогабаритним прес-верстатом; розробити програмне забезпечення для керування АСУТП прес-верстату

5. Перелік презентативного матеріалу (з точним визначенням обов’язкових слайдів/креслень) технічне завдання, огляд та аналіз існуючих систем вимірювання рівня рідини, розробка структурної, функціональної та алгоритму

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

| Розділ  | Консультант                   | Підпис, дата   |                  |
|---------|-------------------------------|----------------|------------------|
|         |                               | Завдання видав | Завдання прийняв |
| 1, 2, 3 | Ткачук А.Г. к.т.н.,<br>доцент | 11.09.2024     | 11.09.2024       |
| 4       | Ткачук А.Г., ктн,<br>доцент   | 11.09.2024     | 11.09.2024       |

7. Дата видачі завдання 11.09.2024

### Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи                           | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------|
| 1.    | Підготувати звіт про переддипломну практику                             | 1.11.2024 – 1.12.2024          | виконано |
| 2.    | Збір літературних даних за темою дипломної роботи та відомих систем     | 21.09.2024 – 24.09.2024        | виконано |
| 3.    | Ознайомитись з основними принципами побудови лінії виготовлення картону | 24.09.2024 – 11.10.2024        | виконано |
| 4.    | Розробка структурної та функціональної схеми                            | 11.10.2024 – 02.11.2024        | виконано |
| 5.    | Вибір компонентів для лінії виготовлення картону                        | 02.11.2024 – 10.11.2024        | виконано |
| 6.    | Розробка блок-схеми алгоритму                                           | 10.11.2024 – 30.11.2024        | виконано |
| 7.    | Оформлення пояснювальної записки та презентаційного матеріалу           | 30.11.2024 – 11.12.2024        | виконано |

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис, дата)

Є.С. Марценюк  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис, дата)

А.Г. Ткачук  
(прізвище та ініціали)

## **АНОТАЦІЯ**

У магістерській дипломній роботі досліджено технологічний процес виробництва паперу. Проведено аналіз рівня автоматизації всього виробничого циклу та виявлено окремі етапи, що потребують удосконалення та реорганізації.

Однією з основних задач дипломної роботи є контроль за вагою подачі макулатури, температурою в сушильному процесі, рівнем конденсату, а також моніторинг роботи двигунів і заслонок. Для досягнення цієї мети запропоновано збільшити кількість датчиків та виконавчих механізмів.

В рамках роботи була розроблена принципова схема і графічне відображення вибору засобів автоматизації. Також створено алгоритм роботи системи автоматичного контролю.

## **ANNOTATION**

In the Master's thesis work deals with the technological process of paper production. The level of automation of the entire production process is analyzed and the individual stages, which require reorganization, are identified.

The objectives of the thesis are to control the weight of waste paper, drying temperature, condensate level and the operation of engines and damper. To solve the problem, it is proposed to increase the number of sensors and executive bodies.

In the thesis the basic scheme and graphical representation of the choice of automation tools are developed. The algorithm of system operation is created.

## РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження виступив процес виготовлення паперу(картону).

В дипломний проект входить вступ, 4 розділи, загальні висновки, список використаної літератури та додатки.

У вступі розкривається актуальність теми, встановлюється проблема, визначається об'єкт керування та мета розробки.

У першому розділі розглянуто об'єкт дослідження, описано процес виготовлення паперу та картону, описано основні технічні рішення.

У другому розділі здійснюється розробка принципової схеми, вибирається мікроконтролер та індикатор, описується схема.

У третьому розділі відбувається вибір засобів автоматизації, розробка алгоритму роботи системи, вибір та розрахунок основних параметрів двигунів.

У четвертому розділі виносяться заходи щодо покращення умов праці на підприємстві.

У загальних висновках викладені основні результати виконаної роботи.

## ВСТУП

В умовах сучасного розвитку промисловості питання автоматизації технологічних процесів займає ключове місце. Зростаючий попит на якісну та екологічно безпечну продукцію вимагає від підприємств впровадження новітніх технологій, що дозволяють забезпечити високу продуктивність, мінімізувати витрати та покращити якість кінцевого продукту. Однією з таких галузей є виробництво картону, яке відіграє важливу роль у забезпеченні потреб упаковки, логістики та інших сфер. Картоноробна промисловість за останні роки зазнала значних змін, спрямованих на оптимізацію виробничих процесів. Автоматизація технологічного процесу виготовлення картону дозволяє не лише знизити витрати на енергоресурси та матеріали, але й покращити екологічність виробництва, зменшивши кількість відходів та шкідливих викидів. Завдяки використанню сучасних автоматизованих систем стає можливим досягнення стабільних характеристик продукції, що відповідає високим стандартам якості.

Метою даної дипломної роботи є аналіз та розробка рішень щодо автоматизації технологічного процесу виготовлення картону на базі сучасних технічних засобів і програмного забезпечення. Особливу увагу приділено вивченню методів оптимізації окремих стадій виробництва, таких як підготовка сировини, формування полотна, сушіння та фінішна обробка.

Актуальність теми обумовлена необхідністю підвищення конкурентоспроможності вітчизняних підприємств на світовому ринку, забезпеченням стабільності виробничих процесів та дотриманням міжнародних стандартів якості. Автоматизація виробництва є невід'ємною частиною цього процесу, оскільки вона забезпечує високий рівень точності, контроль якості та гнучкість у впровадженні інновацій. У ході виконання роботи буде проаналізовано існуючі технології та системи автоматизації, визначено їх переваги та недоліки, а також запропоновано рекомендації щодо вдосконалення технологічного процесу.

## 1. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ КАРТОНУ

### 1.1. Опис технологічного процесу. Основні етапи

Технологічний процес виготовлення картону є складним багатоступеневим процесом, що включає наступні основні етапи:

**Підготовка сировини.** Основною сировиною для виготовлення картону є целюлоза, макулатура та інші волокнисті матеріали. Сировина піддається очищенню від домішок і механічній обробці для досягнення необхідної якості.

**Розмелювання маси.** На цьому етапі волокнисті матеріали розмелюються у спеціальних машинах для досягнення необхідної довжини волокон, що забезпечує міцність та однорідність картонного полотна.

**Змішування і підготовка маси.** Розмелена маса змішується з водою та додатковими компонентами (наприклад, наповнювачами, барвниками чи клеючими речовинами) для покращення фізико-хімічних властивостей картону.

**Формування картонного полотна.** Готова маса подається на плоскіткову машину, де відбувається формування полотна. Під впливом вакууму та гравітації вода видаляється, а волокна утворюють щільну сітку.

**Пресування.** Полотно проходить через пресову частину машини, де додатково видаляється вода та підвищується його міцність.

**Сушіння.** Сушіння відбувається у сушильній частині машини, де полотно піддається термічній обробці для видалення залишкової вологи.

**Фінішна обробка.** Сюди входять такі операції, як калібрування, нанесення покриття, різання на аркуші або намотування в рулони, залежно від вимог замовника.

**Контроль якості.** На завершальному етапі картон перевіряється на відповідність технічним параметрам: міцність, товщину, рівномірність, вологостійкість тощо.

Технологічний процес (рис. 1.1) може варіюватися залежно від типу картону (пакувальний, гофрокартон, дизайнерський тощо) та вимог до його характеристик.



Рис. 1.1. Верстат для виготовлення картону

### **Сировина для виготовлення картону.**

Для виготовлення картону використовується різноманітна сировина, яка забезпечує необхідні фізико-хімічні властивості кінцевого продукту.

Целюлоза є основним компонентом у виробництві картону. Вона може бути отримана з деревини (хвойних і листяних порід), а також з інших рослинних матеріалів. Целюлоза забезпечує міцність і гнучкість картону.

Макулатура - вторинна сировина, що включає використаний папір і картон. Її застосування дозволяє знизити собівартість виробництва та зменшити навантаження на навколишнє середовище. Макулатура широко використовується у виготовленні гофрованого та пакувального картону.

Наповнювачі додаються для поліпшення фізико-хімічних властивостей картону, таких як жорсткість, гладкість поверхні та опірність до вологи. Наповнювачі можуть включати каолін, крейду або інші мінеральні речовини.

Клеючі речовини використовуються для забезпечення зчеплення між волокнами. До них належать крохмаль, латекс та синтетичні полімери.

Для надання картону кольору, глянцю або інших декоративних властивостей можуть додаватися різні барвники, а також полімерні чи інші покриття.

### **Папероробна машина**

Папероробна машина (ПРМ) — це складний інженерний агрегат, призначений для виготовлення паперу з целюлозного волокна. Її будова включає кілька основних вузлів, які забезпечують виконання різних технологічних етапів виробництва паперу. Ось основні складові:

#### **1. Подача сировини:**

- резервуари для пульпи, в яких зберігається целюозна маса, розведена водою до потрібної консистенції;
- насосна система забезпечує подачу пульпи на формувальний стіл.

#### **2. Формувальна частина:**

- сітчастий стіл складається з рухомої сітки, де відбувається осадження волокон. Вода з пульпи частково видаляється через сітку;
- дренажні елементи: допомагають зменшити вологість волоконного шару.

#### **3. Пресова частина:**

- преси як набір роликів, які стискають вологий паперовий шар для видалення зайвої води;
- тканини-прокладки захищають папір від пошкоджень під час пресування.

#### **4. Сушильна частина:**

- сушильні циліндри нагріваються паром для видалення залишкової вологи;
- вентиляційна система підтримує правильний рівень вологості та запобігає перегріву.

#### **5. Калібрувальна частина:**

- калібрувальні валики забезпечують однорідну товщину та гладкість паперу;
- нанесення покриттів (за необхідності) для надання спеціальних властивостей, таких як блиск чи водонепроникність.

#### 6. Намотувальна частина:

- намотувальний барабан: збирає готовий папір у рулони;
- різальні пристрої: дозволяють розрізати папір на аркуші потрібного формату.

#### Додаткове обладнання:

- автоматизовані системи управління для моніторингу та контролю параметрів роботи;
- очищувальні установки, що видаляють залишкові домішки з пульпи.

### 1.2. Вибір об'єкта автоматизації

Технологічну схему виробництва тарного картону на плоско сітковій картоноробній машині (КРМ) показано на рис.1.2.

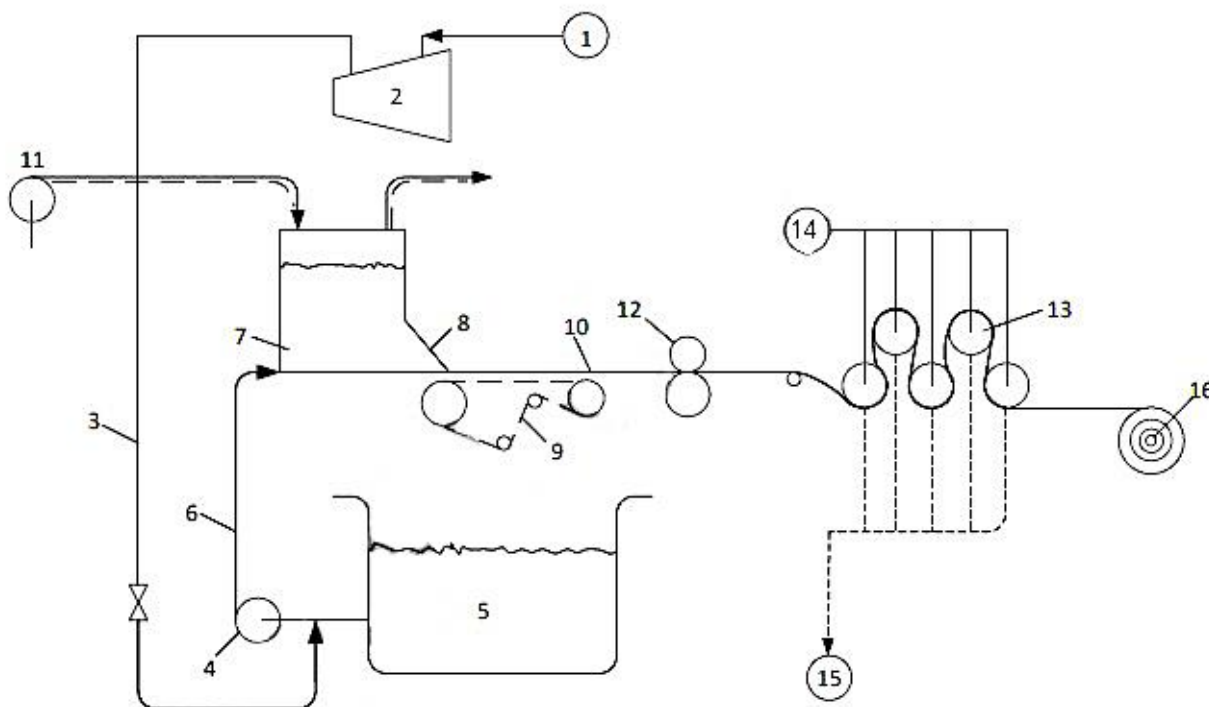


Рис. 1.2. Технологічна схема виробництва картону на плоскосітковій картоноробній: 1 - трубопровід маси високої концентрації; 2 - розмелювальний

млин; 3 - трубопровід розмеленої маси; 4 - змішувальний насос; 5 - збирач обігової води; 6 - трубопровід маси низької концентрації; 7 - напірний ящик з повітряною подушкою; 8 - випускальна щілина; 9 - сітка; 10 - картонне полотно; 11 - компресор; 12 - пресова частина машини; 13 - сушильна частина машини; 14 - трубопровід пари; 15 - трубопровід конденсату; 16 - накат

Волокниста суспензія через трубопровід маси високої концентрації (МВК) 1 подається в конічний розмелювальний млин 2, де здійснюється розмелювання маси до необхідного ступеня помелу (СПМ).

Після розмелювання маса через трубопровід 3 подається на вхід змішувального насоса 4, куди також надходить обігова вода із збирача обігової води 5. У змішувальному насосі 4 маса розбавляється (до низької концентрації) і через трубопровід маси низької концентрації (МНК) 6 надходить у напірний ящик із повітряною подушкою 7. Звідти, через випускальну щілину 8, маса спрямовується на сітку 9, де формується картонне полотно 10. Для підтримання необхідного тиску повітря в повітряній подушці використовується компресор 11.

Мокре картонне полотно, сформоване на сітці, подається до пресової частини машини 12, де відбувається механічне видалення води шляхом пресування. Далі полотно надходить у сушильну частину машини 13.

Сушильна частина призначена для остаточного зневоднення і сушіння картонного полотна. Вона складається з великої кількості сушильних циліндрів (до 100–120), які нагріваються парою, що подається через трубопровід 14. На кожному циліндрі полотно притискається до його поверхні спеціальним безкінечним сукном (шерстяним, бавовняним або зі штучних волокон, таких як нейлон, тирлен чи азбест). Це забезпечує покращення контакту полотна з циліндром, рівномірну передачу тепла, запобігає деформації картону та полегшує транспортування полотна. Конденсат із сушильних циліндрів відводиться через трубопровід 15 на теплоелектростанцію (ТЕС).

Готове картонне полотно направляється до наката 16 – механізму, що здійснює намотування полотна у рулони. Накат може бути осьового або периферичного типу.

У технологічному процесі виробництва картону КРМ є головним агрегатом. Загальний вигляд плоскіткової КРМ наведено на рис. 1.3.

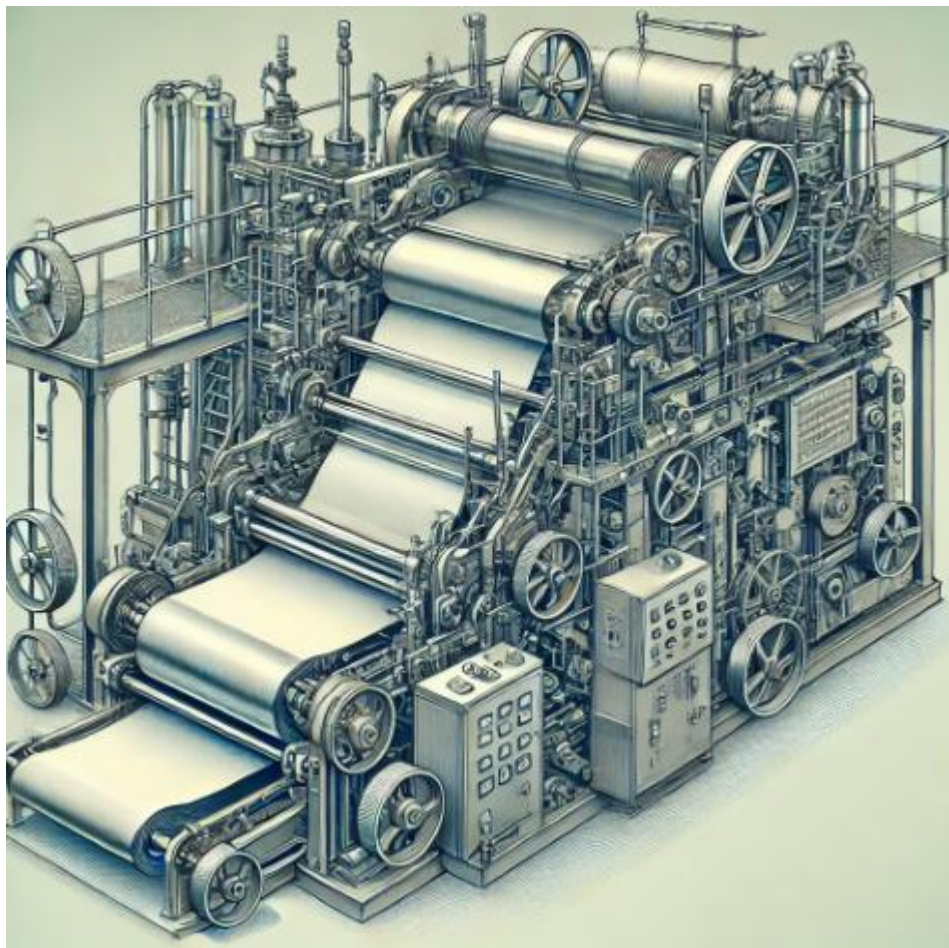


Рис.1.3.Загальний вигляд плоскіткової картоноробної машини

На машині виконується відливання (формування) картонного полотна, пресування, сушіння й попереднє, а іноді, й кінцеве оброблення картону.

Конструктивну схему плоскіткової КРМ показано на рис 1.4.



з двома шестивальними батареями; 26 - циліндр наката; 27 - намотувальний рулон картону

### **Основні параметри, котрі характеризують плоскіткову КРМ**

- Продуктивність: 50–400 тон на добу.
- Швидкість машини: 200–600 м/хв (залежно від конструкції та типу картону).
- Товщина картону: 0,2–3,0 мм.
- Щільність картону: 150–600 г/м<sup>2</sup>.
- Ширина сітки: 4,0–6,5 м.
- Ширина готового полотна: 3,8–6,0 м.
- Концентрація маси:
  - На формувальній сітці: 0,5–1,5%.
  - У змішувальному насосі: 3–5%.
- Споживання електроенергії: 600–1,000 кВт·год/т продукції.
- Споживання пари: 2–3 тони пари на 1 тонну продукції.
- Споживання води: 5–8 м<sup>3</sup> на 1 тонну продукції (з урахуванням обігової води).
- Міцність на розрив: 3–8 кН/м (залежно від типу картону).
- Гладкість поверхні: 5–20 секунд (по Шеппард-Сміту).
- Вологість готового полотна: 6–10%.
- Жорсткість картону: 200–600 мН·м (залежно від щільності).
- Довжина машини: 50–120 м (залежно від кількості сушильних циліндрів і додаткового обладнання).
- Кількість пресів: 2–4 пресові вузли.
- Кількість сушильних циліндрів: 60–120 шт.
- Діаметр сушильних циліндрів: 1,5–1,8 м.
- Тип пресів: камерні або гладкі пресові вали.
- Тип намотувального механізму: осьовий або периферичний.

Пройшовши каландр, картонне полотно поступає на накат, де воно безперервно намотується на тамбурний вал у рулони діаметром від 600 до 2500 мм (картонне полотно заправляють на інший тамбурний вал, не зупиняючи картоноробну машину).

Напірний ящик – це один із ключових елементів картоноробної машини (КРМ), який забезпечує рівномірну подачу волокнистої суспензії (маси) на формувальну сітку. Його конструкція і робота значною мірою впливають на якість готового картону, зокрема на однорідність і гладкість полотна.

Забезпечує однакову густину маси по всій ширині сітки. Узгоджує швидкість подачі маси зі швидкістю руху сітки. Загальний вигляд напірного ящика з повітряною подушкою КРМ з лицьового боку машини показано на рис. 1.5.

Габарити:

- довжина 4390 мм;
- висота 5718 мм;
- ширина 6300 мм.

Грудний вал діаметром 950 мм розміщено під нижньою напускною губою. Верхня напускна губа переміщується за допомогою пневмоприводу.

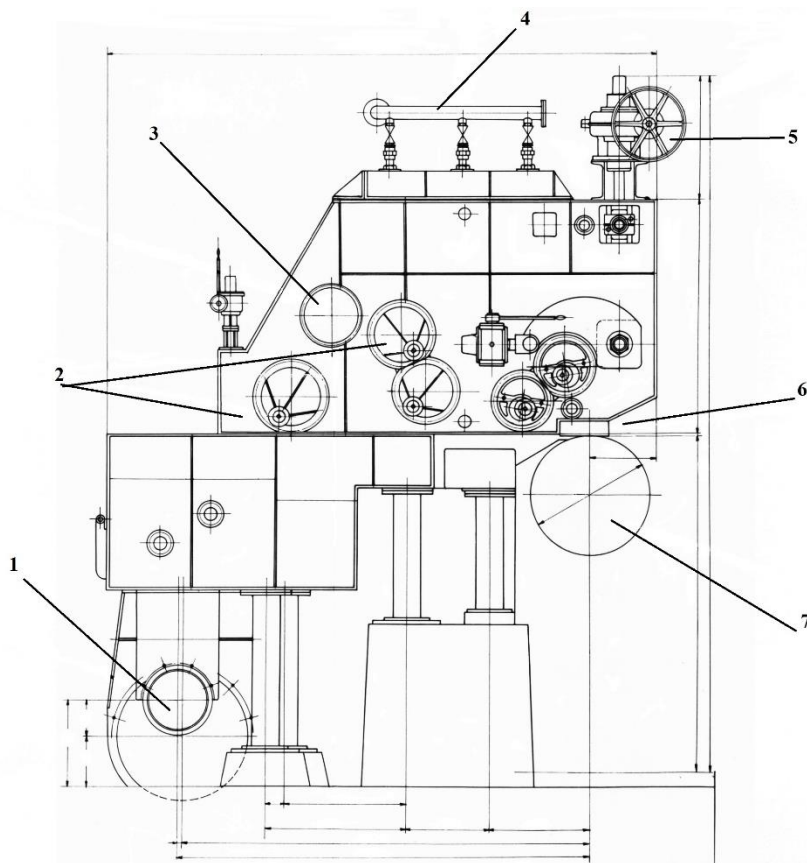


Рис. 1.5. Загальний вигляд напірного ящика з повітряною подушкою:  
 1— конусний потікорозподілювач; 2 — перефоровані валики; 3 — ілюмінатор; 4 —  
 колектор подачі стисненого повітря; 5 — пристій для регулювання висоти  
 випускної щілини; 6 — випускальна щілина; 7 — грудиний вал

### **Принцип роботи**

Волокниста маса з низькою концентрацією (0,5–1,5%) надходить до напірного ящика через трубопровід із насоса. У камері з повітряною подушкою створюється необхідний тиск, який вирівнює потік суспензії. Розподільник маси забезпечує рівномірне її розподілення по всій ширині ящика. Через випускальну щілину суспензія подається на рухому сітку формувальної частини. Швидкість і рівномірність подачі регулюються тиском повітря та кутом нахилу щілини.

### **1.3. Основні технічні рішення**

Основною метою автоматизації технологічного процесу виробництва тарного картону на плососіткової картоноробній машині (КРМ) є забезпечення стабільної, безперебійної роботи обладнання та отримання продукції високої якості. Для досягнення цієї мети необхідно суворо дотримуватися та підтримувати стабільність усіх технологічних параметрів і режимів роботи КРМ. Водночас автоматизація спрямована на скорочення кількості обслуговуючого персоналу, оптимізацію трудових витрат і підвищення ефективності праці.

Для реалізації вказаних цілей передбачено:

1. Автоматичне управління технологічними процесами, що забезпечує їхню стабільність і відповідність заданим параметрам.
2. Технологічний контроль найважливіших показників процесу виробництва тарного картону.
3. Дистанційне управління електрообладнанням і механізмами.
4. Своєчасне реагування на відхилення технологічних параметрів від норми.
5. Мінімізація впливу людського фактору, що знижує ймовірність помилок.

Для здійснення технологічного контролю та управління на КРМ використовуються автоматичні прилади, які серійно виготовляються приладобудівними заводами.

До основного обладнання належать:

1. Датчики технологічних параметрів:

Тензодатчики — для вимірювання сили натягу або тиску.

Електромагнітні витратоміри — для вимірювання витрати рідини.

Датчики температури — для контролю температурного режиму.

Поплавкові датчики рівня — для вимірювання рівня рідин у резервуарах.

Датчики концентрації маси типу ДКБП-70А — для визначення концентрації волокнистої суспензії.

Пристрої контролю ступеня помелу маси КСП-К — для забезпечення відповідного ступеня помелу, що впливає на якість картону.

2. Вторинні прилади:

Реєструвальні й відображаючі пневматичні прилади типу ФК 0071 — для фіксації й відображення значень контрольованих параметрів.

3. Системи автоматичного керування і регулювання:

Пневматичні регулятори типу ФР 0091 — для реалізації необхідних законів регулювання (пропорційного, інтегрального чи диференційного).

4. Виконавчі механізми:

Пневматичні мембранні й поршневі механізми — використовуються для відкривання, закривання або регулювання положення дросельних засувки, клапанів, шарових кранів тощо.

Технологічний контроль передбачає моніторинг ключових параметрів виробництва:

- Температура сушильних циліндрів.
- Тиск у пресовій частині.
- Витрата пари та води.
- Концентрація суспензії на різних етапах виробництва.
- Рівень маси у резервуарах і напірному ящику.

Системи автоматизації забезпечують підтримання стабільності процесу шляхом:

- Регулювання подачі пари для сушіння.
- Контролю натягу стрічки у формувальній і сушильній частинах.
- Коригування витрати води в обіговій системі.
- Підтримання заданої товщини й щільності картонного полотна.

Автоматизація передбачає взаємодію між різними частинами КРМ:

- Напірний ящик із системою контролю рівня і концентрації суспензії.
- Пресова частина з механізмами регулювання тиску.
- Сушильна частина з індивідуальним контролем температури кожного циліндра.
- Намотувальний механізм із контролем натягу рулону.

## **2. АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ КАРТОНУ**

### **2.1 Розробка структурної схеми автоматизації технологічного процесу**

Процес розробки структурної схеми автоматизації технологічного процесу виготовлення картону включає кілька етапів, кожен з яких має свої особливості.

Структурна схема повинна відображати взаємодію між різними підсистемами. У цій схемі можуть бути такі елементи:

Програмовані логічні контролери (PLC): для автоматизації конкретних технологічних процесів.

Системи SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition): для моніторингу та управління виробничими процесами в реальному часі.

Сенсори та виконавчі механізми: для збору даних і виконання команд (наприклад, датчики тиску, температури, швидкості).

Інтерфейси для користувачів: дисплеї для відображення інформації та налаштування параметрів.

Важливим етапом є забезпечення зв'язку між усіма компонентами автоматизації:

- Вибір протоколів для обміну даними між системами (наприклад, Modbus, Profibus, Ethernet/IP).
- Реалізація програмних інтерфейсів для інтеграції обладнання з програмним забезпеченням.

На підставі технологічної схеми виробництва картону на плоскостітковій КМР структурну схему автоматизації технологічного процесу виготовлення картону (рис.2.1).

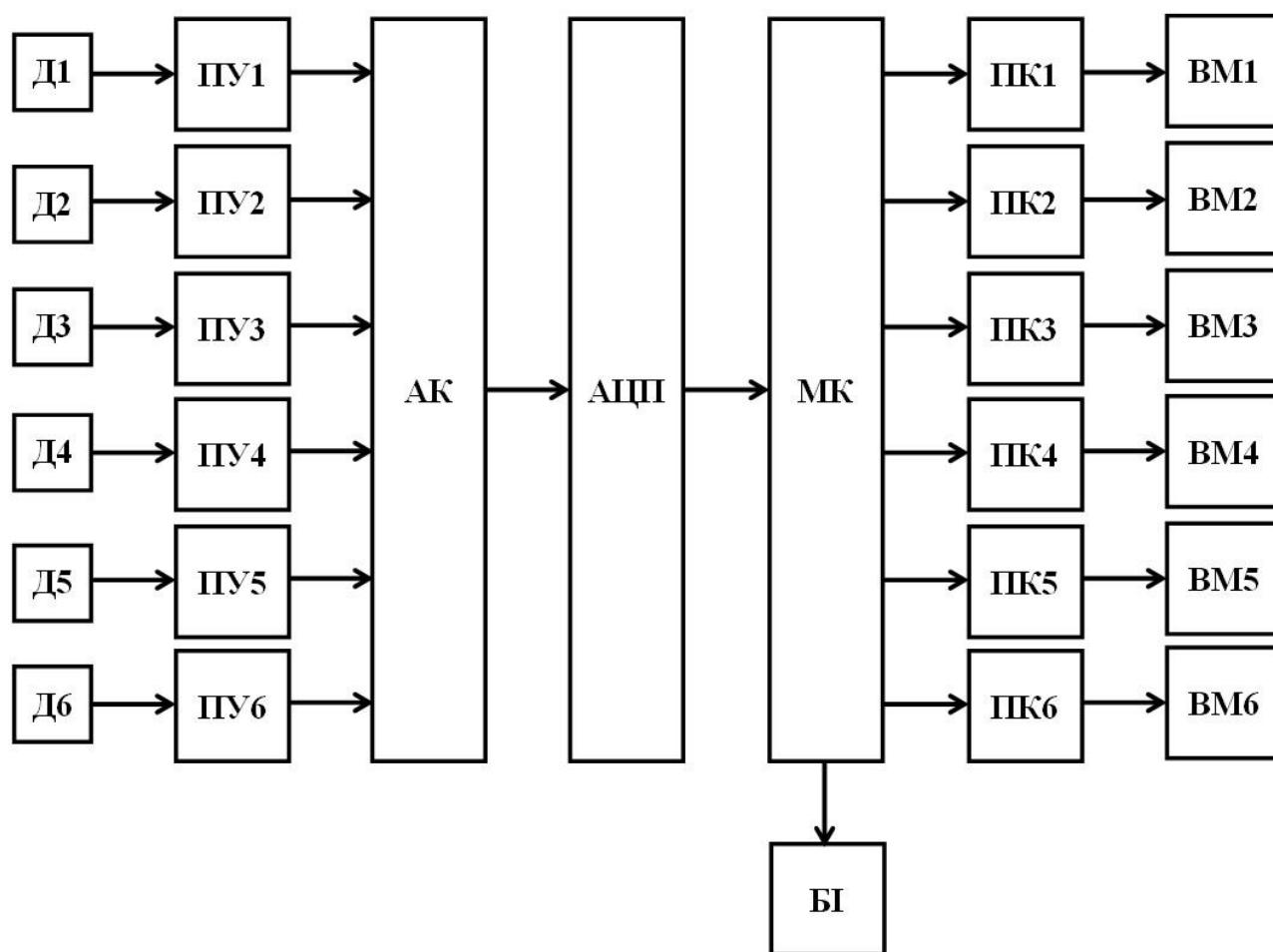


Рис. 2.1. Структурна схема автоматизації технологічного процесу виготовлення картону: Д1-6 - датчики, ПУ1-6 - пристрої узгодження, АК - аналоговий комутатор, АЦП - аналого-цифровий перетворювач, МК - мікроконтролер, ПК1-6 - пристрої комутації, ВМ1-6 - виконавчі механізми, БІ - блок індикації.

Основною метою автоматизації технологічного процесу виробництва тарного картону на плососітковій картоноробній машині (КРМ) є забезпечення стабільної, безперебійної роботи обладнання та отримання продукції високої якості. Для досягнення цієї мети необхідно суворо дотримуватися та підтримувати стабільність усіх технологічних параметрів і режимів роботи КРМ. Водночас автоматизація спрямована на скорочення кількості обслуговуючого персоналу, оптимізацію трудових витрат і підвищення ефективності праці.

Структурна схема автоматизації технологічного процесу виготовлення картону включає такі основні компоненти:

- **Д1-6** — датчики, які забезпечують збір даних про ключові технологічні параметри (температура, тиск, рівень, концентрація тощо).
- **ПУ1-6** — пристрої узгодження, що перетворюють сигнали від датчиків у стандартизований формат для подальшої обробки.
- **АК** — аналоговий комутатор, який забезпечує комутацію сигналів від декількох датчиків для їхньої передачі до аналого-цифрового перетворювача.
- **АЦП** — аналого-цифровий перетворювач, що перетворює аналогові сигнали у цифровий формат для обробки мікроконтролером.
- **МК** — мікроконтролер, який виконує обробку отриманих даних, порівнює їх із заданими параметрами та формує команди для виконавчих механізмів.
- **ПК1-6** — пристрої комутації, які забезпечують передачу керуючих сигналів до виконавчих механізмів.
- **ВМ1-6** — виконавчі механізми (клапани, дросельні засувки, приводи), що безпосередньо змінюють параметри технологічного процесу.
- **БІ** — блок індикації, що відображає поточні параметри процесу і сигнали тривоги.

### **Опис роботи схеми**

#### **1. Збір даних:**

- Датчики (Д1-6) фіксують параметри технологічного процесу, такі як температура, рівень маси, тиск і концентрація.
- Отримані аналогові сигнали передаються до пристроїв узгодження (ПУ1-6), які стандартизують їх для подальшої обробки.

#### **2. Обробка сигналів:**

- Аналогові сигнали поступають до аналогового комутатора (АК), який по черзі передає їх на аналого-цифровий перетворювач (АЦП).
- АЦП перетворює аналогові дані у цифровий формат і передає їх до мікроконтролера (МК).

#### **3. Аналіз даних і формування команд:**

- Мікроконтролер (МК) порівнює отримані дані з заданими параметрами та визначає необхідність корекції процесу.

- У разі відхилення від норми мікроконтролер генерує керуючі сигнали.

4. **Передача керуючих сигналів** через пристрої комутації (ПК1-6) до виконавчих механізмів (ВМ1-6).

5. **Корекція процесу:** ВМ змінюють стан технологічного обладнання (відкриття/закриття клапанів, регулювання витрати пари чи води, зміна тиску тощо).

6. **Відображення даних:**

- Поточні параметри технологічного процесу та стан обладнання виводяться на блок індикації (БІ).

- У разі критичних відхилень активуються сигнали тривоги.

## 2.2. Вибір засобів автоматизації

**D1** - для визначення ваги макулатури у трубопроводі маси високої концентрації, використовуємо тензодатчик S-подібний марки Zemic, модель H3-C3-50kg-3B (рис. 2.2). Завдяки своїй формі у вигляді букви S він забезпечує точність і стабільність у вимірюваннях. Забезпечує симетричний розподіл навантаження. Легко інтегрується у вимірювальні системи. Призначений для невеликих і середніх навантажень. Точність: Клас C3.



Рис.2.2. Тензодатчик Zemic H3

Максимальне навантаження: 50 кг

Напруга живлення: 5-12 В постійного струму

Стійкість до перевантажень: Максимальне короточасне навантаження до 150% номінального.

Клас захисту IP67 забезпечує пило- та вологозахищеність.

**D2** та **D3** - для визначення витрат маси та води використовуємо два електромагнітних витратоміра-лічильника (рис. 2.3). Електромагнітний витратомір (також відомий як магнітно-індукційний витратомір) — це прилад для вимірювання витрат рідин та газів на основі принципу електромагнітної індукції. Він використовується в промислових та комунальних системах для визначення потоку робочих середовищ через трубопроводи. Принцип роботи такого витратоміра базується на законах електромагнітної індукції, зокрема на Законі Фарадея, який стверджує, що в провіднику, який рухається в магнітному полі, індукується електричний струм.

Корпус із нержавіючої сталі, полімерних матеріалів або чавуну, стійкий до агресивних середовищ.

Вимірює рідини з мінімальною електропровідністю 5 мкСм/см, такі як вода, розчини, емульсії, суспензії.

Висока точність вимірювань із похибкою  $\pm 0,5\%$  від виміряного значення.

Основні компоненти електромагнітного витратоміра:

- Магнітна котушка: створює магнітне поле, яке взаємодіє з робочим середовищем.
- Електроди: використовуються для збору індукованої напруги, яка пропорційна швидкості потоку.
- Трубопровід: в ньому протікає робоче середовище.
- Аналогово-цифровий перетворювач: для аналізу сигналу і обчислення витрат.



Рис. 2.3. Витратомір лічильник ВЗЛЕТ

Витратомір-лічильник ВЗЛЕТ — це прилад, що використовується для вимірювання об'ємного витрату рідких і газоподібних середовищ у різних галузях промисловості. Цей тип витратоміра особливо популярний завдяки своїй точності та надійності в умовах промислових виробництв. Витратомір-лічильник ВЗЛЕТ здебільшого є механічним або електронним приладом, що призначений для обліку витрат рідин та газів, таких як вода, нафта, природний газ, хімічні рідини тощо. Його принцип роботи може ґрунтуватися на різних технологіях, в залежності від типу (механічний, електромагнітний, ультразвуковий тощо).

#### **Принцип роботи:**

1. Рідина проходить через вимірювальну секцію, створюючи потік у магнітному полі.
2. Вимірювальні електроди реєструють електричний сигнал, пропорційний швидкості потоку.
3. Електронний блок перетворює цей сигнал у значення витрати чи об'єму рідини.

**D4** - Контроль за температурою в сушильній частині машини здійснюється за допомогою температурного датчика Dallas DS18B20.

Dallas DS18B20 — це цифровий датчик температури, який використовується для точного вимірювання температури у широкому діапазоні. Завдяки своїм компактним розмірам, низькому енергоспоживанню та простоті використання, він широко застосовується в автоматизації, електроніці та системах моніторингу.

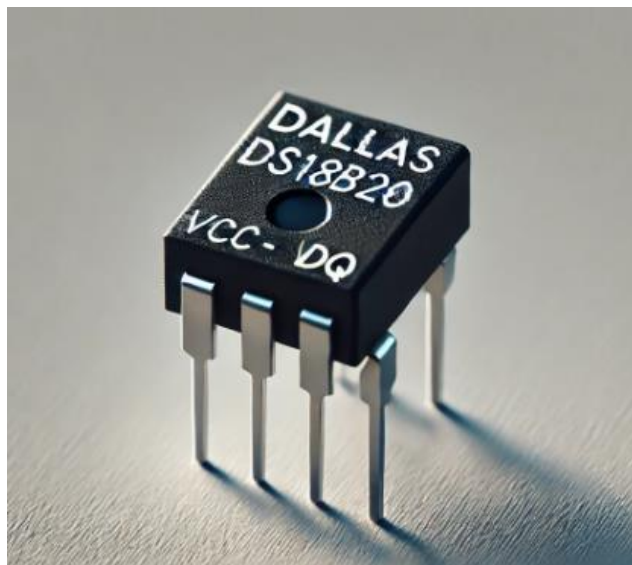


Рис. 2.4. Температурний датчик Dallas DS18B20

#### Основні характеристики

- Цифровий вихід: DS18B20 використовує цифровий інтерфейс, що значно спрощує інтеграцію з мікроконтролерами, такими як Arduino, Raspberry Pi, ESP32 тощо. Це дозволяє уникнути необхідності в аналогових перетворювачах.
- Температурний діапазон:
  - Мінімальна температура:  $-55^{\circ}\text{C}$ .
  - Максимальна температура:  $+125^{\circ}\text{C}$ .
  - Висока точність вимірювань в межах  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $+85^{\circ}\text{C}$  (точність  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ).
- Роздільна здатність: DS18B20 підтримує регульовану роздільну здатність до 12 біт, що дає точність вимірювань до  $0.0625^{\circ}\text{C}$ .

- Інтерфейс підключення: Він використовує інтерфейс 1-Wire, що дозволяє підключати до одного піну мікроконтролера кілька датчиків одночасно (до 1000 пристроїв на одній шині).
- Живлення:
  - Напруга живлення: 3.0V до 5.5V.
  - Споживана потужність: дуже низька, що дозволяє використовувати датчик в енергоощадливих пристроях.
- Робочі умови: DS18B20 може працювати при температурі від  $-55^{\circ}\text{C}$  до  $+125^{\circ}\text{C}$ , що робить його універсальним для широкого спектру застосувань.
- Вбудована пам'ять: Датчик має вбудовану EEPROM пам'ять, в яку записується відміряна температура, і це дозволяє отримувати дані навіть після перезавантаження.

**D5** - для контролю та подачі сигналу зливу води у трубопроводі конденсату використовується поплавковий датчик рівня ПДУ-2.1 ОВЕН.



Рис.2.5. Поплавковий датчик рівня ПДУ-2.1 ОВЕН

Поплавковий датчик рівня ПДУ-2.1 ОВЕН може використовуватися для контролю рівня самих різних продуктів, наприклад стічних вод, хімічно агресивних рідин або харчових продуктів. Поплавкові датчики рівня стійкі до піни і можуть працювати з в'язкими рідинами. Він працює за принципом зміни

положення поплавка, який в залежності від рівня рідини у резервуарі змінює своє положення, що в подальшому фіксується датчиком. Це дозволяє визначати рівень рідини в реальному часі. Датчик працює на основі зміщення поплавка, який рухається по вертикалі в залежності від рівня рідини в резервуарі. Положення поплавка фіксується за допомогою вбудованого датчика (зазвичай це магнітний або індукційний датчик), який передає сигнал на вихід.

Датчик має вихід для підключення до різних пристроїв керування, наприклад, реле або контролерів, для подальшого використання сигналу (аналоговий або цифровий вихід).

Прилад може бути обмежений у вимірюванні рівня для дуже великих резервуарів або ємностей з дуже великими висотами. Датчик призначений для рідин і не може використовуватися для вимірювання рівня газів.

### **2.3. Розробка алгоритму роботи системи**

Алгоритм має враховувати всі необхідні функції для автоматизації процесу. Це можуть бути:

- Контроль рівня сировини: Для забезпечення безперебійної подачі матеріалу.
- Управління температурою і тиском: Для процесів пресування та ламінування.
- Моніторинг швидкості виробництва: Для управління швидкістю роботи машин та забезпечення необхідної якості.
- Контроль якості: Виявлення дефектів картону (наприклад, нерівномірна товщина, забруднення тощо).
- Пакування та складування: Управління автоматичними системами пакування готової продукції.

Було розроблено алгоритм роботи системи (рис 2.6). В алгоритмі роботи було показано логіку роботи системи, реакцію системи на показання датчиків.

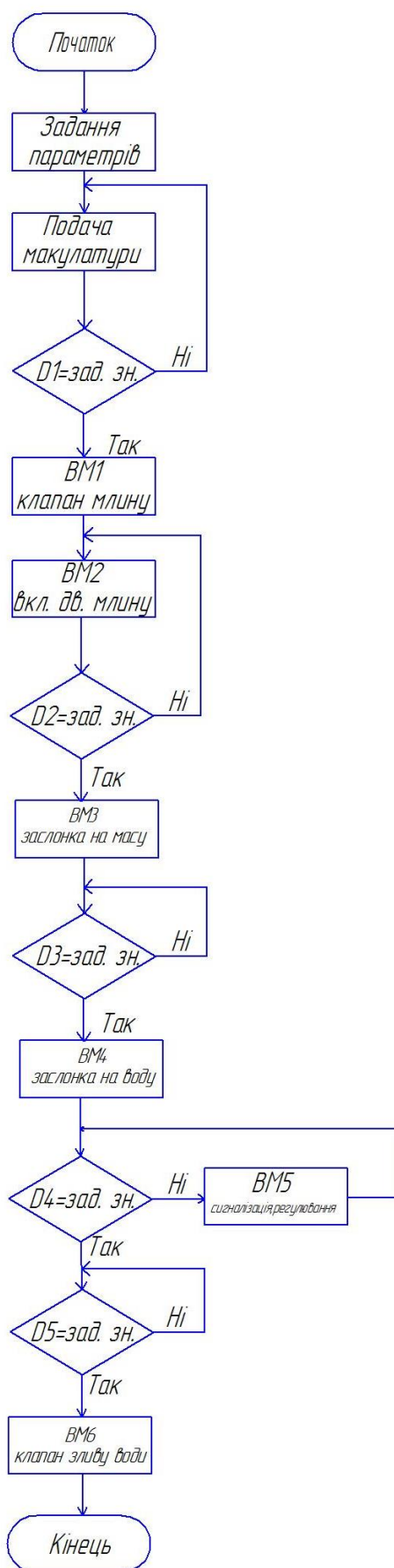


Рис.2.6. Алгоритм роботи АСУТП

## 2.4. Вибір та розрахунок основних параметрів двигунів

Тип двигуна в першу чергу повинен задовольняти вимогам щодо роду та величини напруги живлення, а його механічна характеристика - вимогам ВО. На підставі ознайомлення з технологічним процесом - це двигун постійного струму 4ПМН180М04.

Це двигун постійного струму з шунтовим збудженням. Може використовуватися для забезпечення регульованої швидкості та стабільного моменту обертання.

- "4ПМН" вказує на тип двигуна — постійного струму, безколекторного або колекторного типу.

- "180" вказує на діаметр фланця двигуна в міліметрах.

- "М04" вказує на конкретну модель і конфігурацію двигуна (тип вала, розміри, монтаж).

Двигун працює при стандартних значеннях напруги для двигунів постійного струму, які можуть варіюватися в межах 150-250 В у залежності від моделі. Може мати швидкість обертання в діапазоні 2000-3000 об/хв, але це також залежить від конкретної моделі і може бути варіативним.

Технічні дані:

- Номінальна частота обертання - 1120 об/хв ;
- Максимальна частота обертання – 3000 об/хв ;
- Потужність - 8 кВт;
- Напруга живлення – 220 В;
- Ступінь захисту електродвигуна – IP23.

Двигуни цього типу здатні забезпечити стабільний крутний момент на високих швидкостях, що робить їх ефективними для застосувань, де потрібна висока потужність та стабільність роботи. Охолодження двигуна зазвичай проводиться природним шляхом, але для більш потужних варіантів може використовуватися примусове охолодження за допомогою вентилятора.

Принцип роботи:

Двигун постійного струму працює на принципі взаємодії магнітного поля і струму, який протікає через обмотки ротора. Коли на обмотки подається постійний струм, в результаті виникає обертальний момент, який обертає ротор.

1. Шунтове збудження: У таких двигунах використовується шунтове збудження, де струм, який проходить через обмотки статора, постійно підтримується. Це дозволяє двигуну працювати стабільно і з певною швидкістю.

2. Регулювання швидкості: Швидкість обертання може бути змінена шляхом регулювання напруги, поданої на обмотки двигуна. Це дозволяє забезпечити різні режими роботи для конкретних застосувань.

Переваги двигуна 4ПМН180М04:

1. Простота в управлінні: Завдяки використанню постійного струму, двигун є досить простим в управлінні і може бути регульований за допомогою зміни напруги.

2. Високий крутний момент при низьких швидкостях: Це робить його ідеальним для застосувань, де потрібен стабільний момент на низьких обертах.

3. Надійність: Завдяки конструкції і матеріалам, двигун є дуже надійним для промислових умов експлуатації.

4. Компактність: Компактний розмір дозволяє використовувати цей двигун у різних просторових умовах, включаючи обмежені простори.

Динамічний момент у постійному струмі двигуні зазвичай залежить від змінних параметрів, таких як:

Напруга на обмотках.

Швидкість обертання ротора.

Механічне навантаження.

Тривалість зміни навантаження.

Рівняння для крутного моменту можна виразити через струм, зокрема:

$$M(t) = k \cdot I(t)$$

де  $M(t)$  - це момент у часі,  $I(t)$  — струм у часі, а  $k$  — постійна, яка залежить від конструктивних параметрів двигуна.

Для перевірки вибраного ЕД за умовами перевантаження необхідно попередньо розрахувати його навантажувальну діаграму  $M(t)$ . Цей проміжний розрахунок виконується за допомогою рівняння механічного руху ЕД:

$$M = M_c + \frac{d\omega}{dt} = M_c + M_{\text{дин}} \quad (2.1)$$

Динамічний момент  $M_{\text{дин}}$  визначається як добуток сумарного приведенного моменту інерції  $J$  на визначене за допомогою тахограми прискорення  $\frac{d\omega}{dt}$  на ділянці розгону та уповільнення на ділянці гальмування. Приймавши графік на ділянках розгону та уповільнення лінійним, динамічний момент на них буде дорівнювати:

$$M_{\text{дин1}} = J \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \text{const}; M_{\text{дин2}} = J \frac{\Delta\omega_y}{\Delta t_r} \quad (2.2)$$

$$M_{\text{дин1}} = \frac{1,2 \cdot 130}{5} = 31,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{дин2}} = \frac{-1,2 \cdot 130}{3} = -52 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Побудуємо графік залежності динамічних моментів від часу (рис.2.7)

Знаючи графік  $M_c(t)$  (рис.2.1) та  $M_{\text{дин}}$  (рис.2.2) на відповідних ділянках роботи ЕП, можна, використовуючи вираз (2.1), побудувати навантажувальну діаграму  $M(t)$  (рис.2.8). Так моменти ЕД на ділянках розгону та гальмування згідно (2.1) дорівнюють:

$$M_1 = M_{c1} + M_{\text{дин1}} = 30 + 31,2 = 61,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_2 = M_{c2} + M_{\text{дин2}} = 60 - 52 = 8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

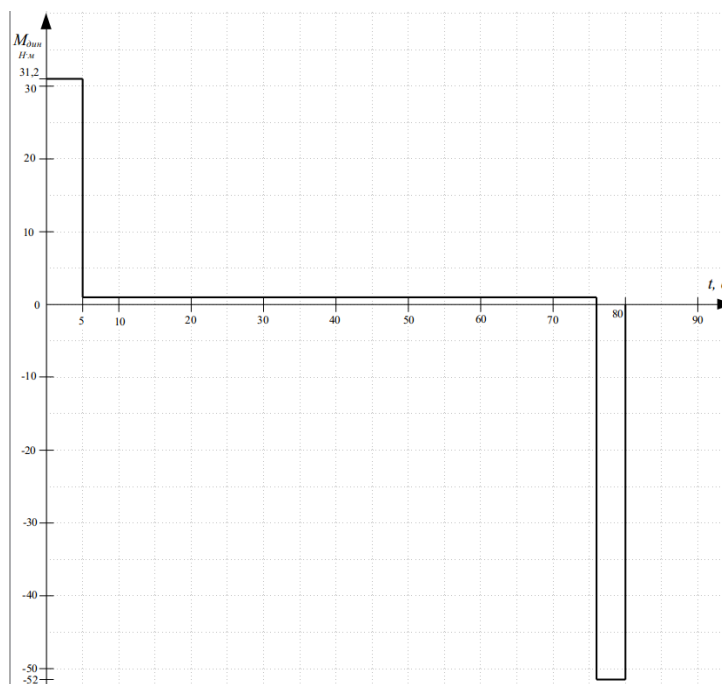


Рис.2.7. Залежність динамічних моментів від часу

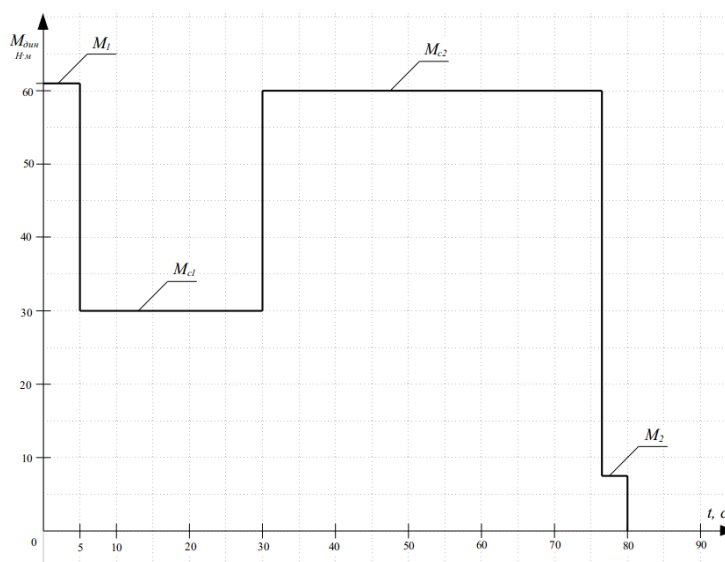


Рис.2.8 Навантажувальна діаграма двигуна

Після цього необхідно провести співставлення максимально допустимого моменту двигуна  $M_{\max}$  з максимальним моментом  $M_1$  на навантажувальній діаграмі. Необхідно, щоб виконувалось співвідношення:

$$M_{\max} \geq M_1 \quad (2.3)$$

Розрахуємо номінальний момент навантаження двигуна:

$$M_H = \frac{9,55 \cdot p_H}{n_H} = \frac{9,55 \cdot 8000}{1120} = 68,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

та максимально допустимий момент на валу:

$$M_{\max} = M_n \cdot 2,4 = 68,2 \cdot 2,4 = 163,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

тоді  $163,7 > 61,2$

### **Перевірка двигуна за умовами нагрівання**

Перевірка двигуна постійного струму, зокрема 4ПМН180М04, за умовами нагрівання є важливим етапом для забезпечення його надійної та безпечної роботи. Нагрівання двигуна може бути спричинене кількома факторами, такими як перевантаження, неправильний монтаж, погана вентиляція чи зниження ефективності охолодження. Для правильної перевірки двигуна за умовами нагрівання потрібно враховувати кілька основних аспектів.

З урахуванням технічних характеристик та режиму експлуатації допустима температура нагрівання ЕД під час роботи в першу чергу залежить від температурної витривалості ізоляційних матеріалів, що використовуються.

### **Оцінка теплових характеристик двигуна:**

- Клас ізоляції: Для двигуна 4ПМН180М04 клас ізоляції зазвичай Б ( $130^{\circ}\text{C}$ ). Це означає, що максимальна температура поверхні двигуна не повинна перевищувати  $130^{\circ}\text{C}$ .
- Робочі температури: Двигун має працювати в межах заданого температурного діапазону (зазвичай від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$  для зовнішнього середовища). Однак робоча температура самого двигуна може бути вищою.

### **Аналіз показників нагріву:**

- Нормальний нагрів: При нормальних умовах роботи температура двигуна не повинна перевищувати  $120\text{-}130^{\circ}\text{C}$  для класу ізоляції Б. Якщо температура перевищує цей ліміт, це може свідчити про проблему з охолодженням або перевантаженням.
- Перегрів: Якщо температура двигуна перевищує допустимі значення (наприклад, вище  $130^{\circ}\text{C}$  для класу ізоляції Б), це може призвести до пошкодження ізоляції і зниження ефективності роботи двигуна.

### Умови перевірки:

1. Двигун працює під номінальним навантаженням.
2. Вимірювання температури проводяться за допомогою термометра або інфрачервоного датчика.
3. Час вимірювання: 30 хвилин.
4. Вентиляція двигуна — природна (без додаткових охолоджувальних систем).

### Кроки перевірки:

1. Запуск двигуна і спостереження за його поведінкою протягом перших 5 хвилин.

Температура корпусу: на початку перевірки температура корпусу двигуна становить 28-30°C (початкова температура навколишнього середовища).

Температура обмоток статора: на першому етапі тесту температура обмоток статора дорівнює близько 30-35°C.

2. Під навантаженням: двигун працює під номінальним навантаженням (3 кВт), протягом 10 хвилин.

Температура корпусу: через 10 хвилин температура корпусу збільшується до 60-65°C, що є нормальним для роботи під навантаженням.

Температура обмоток статора: температура на обмотках статора підвищується до 70-75°C.

Вентиляція достатня для підтримки стабільної температури на цьому етапі.

3. **Період стабільної роботи:** двигун продовжує працювати під постійним навантаженням ще 15 хвилин.

Температура корпусу: **на цьому етапі температура корпусу може досягти 80-85°C.**

Температура обмоток статора: **температура обмоток підвищується до 90°C, що знаходиться в межах допустимого для двигуна класу ізоляції Б (130°C).**

4. **Перевищення температури:** якщо двигун продовжує працювати при високих температурах або у разі поганої вентиляції:

Температура корпусу **може зрости до 100-110°C.**

Температура обмоток **може наблизитися до 110-115°C. Це може бути на межі максимально допустимих значень, але поки що не перевищує критичні 130°C для класу ізоляції.**

#### **5. Аварійна ситуація**

Якщо температура обмоток перевищує 115-120°C, може відбутися перегрів і пошкодження ізоляції, що призведе до зниження ефективності роботи двигуна та його виведення з експлуатації через пошкодження ізоляції.

Температурні аномалії, такі як надмірне нагрівання в певних ділянках (наприклад, на колекторі чи вала), можуть свідчити про несправність, наприклад, забиті вентиляційні отвори або знос щіток.

#### **Результати перевірки:**

- **Температура корпусу двигуна** на пізніх етапах тестування становить **85-95°C**, що є нормальним при навантаженні, але потребує постійного контролю для запобігання перегріву.
- **Температура обмоток:** температури в межах **90°C** є безпечними для стандартного використання, якщо двигун оснащений належною системою охолодження.
- **Перевищення температури** понад 100°C є ознакою того, що двигун працює в умовах, які можуть призвести до перегріву, якщо не будуть вжиті заходи для поліпшення вентиляції або зменшення навантаження.

### 3. РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ

#### 3.1. Вибір мікроконтролера

Вибір мікроконтролера для конкретного проєкту залежить від ряду факторів, таких як вимоги до продуктивності, периферійні пристрої, енергоспоживання, бюджет і можливість масштабування.

Популярні мікроконтролери, які підходять для різних застосувань:

AVR (наприклад, ATmega328P)

STM32 (ARM Cortex-M)

ESP32

PIC (наприклад, PIC16, PIC32)

Raspberry Pi Pico (RP2040) тощо.

Для простих задач можна обрати ATmega328P або PIC16. Для більш складних застосувань і IoT проєктів — ESP32 або STM32.

PIC16 — це серія мікроконтролерів, розроблених компанією Microchip Technology. Ці мікроконтролери є одними з найбільш популярних і використовуваних завдяки своїй простоті, низькій вартості та широкому спектру застосувань. Серія PIC16 часто використовується в навчальних цілях, а також в малих і середніх промислових проєктах, де потрібна базова обробка даних, управління периферією або просте керування.

#### **Основні характеристики мікроконтролерів PIC16:**

##### 1. Архітектура:

Harvard Architecture: Це означає, що пам'ять для програм (Flash) і даних (RAM) розділені, що дає певні переваги у швидкості роботи.

8-бітний процесор: Це обмежує максимальну кількість оброблюваних даних одночасно до 8 біт, що підходить для простих задач.

## 2. Продуктивність:

Тактова частота: Зазвичай PIC16 працює на частотах від 20 МГц до 64 МГц, в залежності від моделі.

Інструкції: Мікроконтролери серії PIC16 мають досить просту архітектуру з обмеженою кількістю інструкцій, що забезпечує ефективність при виконанні простих операцій.

## 3. Пам'ять:

Флеш-пам'ять: В залежності від моделі, обсяг флеш-пам'яті може варіюватися від 512 байт до 14 КБ. Це достатньо для зберігання програм середнього розміру.

Оперативна пам'ять (RAM): RAM може коливатися від 25 байт до 368 байт в залежності від моделі. Це підходить для базових задач обробки даних.

EEPROM: Багато моделей PIC16 мають невелику кількість вбудованої EEPROM пам'яті для зберігання постійних даних.

## 4. Периферія:

Цифрові I/O піні: Зазвичай мають від 8 до 40 пінів введення/виведення (I/O).

ADC (аналогово-цифровий перетворювач): Багато моделей мають вбудований ADC з роздільною здатністю від 8 до 10 біт.

PWM (широтно-імпульсна модуляція): Для управління швидкістю двигунів, яскравістю світлодіодів та іншими застосуваннями.

UART, SPI, I2C: Для комунікації з іншими мікроконтролерами або зовнішніми пристроями.

## 5. Енергоспоживання:

Низьке споживання енергії в режимах сну та очікування. Це дозволяє використовувати PIC16 в енергоощадних проектах.

## 6. Робочі умови:

Температурний діапазон зазвичай від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+85^{\circ}\text{C}$  для промислових версій, що дозволяє використовувати мікроконтролери в широкому діапазоні умов експлуатації.

### **Типи моделей PIC16:**

Існують різні моделі серії PIC16, і вони відрізняються за функціональністю та можливостями:

- PIC16F84: Одна з найпопулярніших моделей, базова модель з 13 пінів.
- PIC16F877A: Потужніша модель з більшою кількістю пінів (до 40) та розширеними можливостями для обробки даних (14 КБ Flash пам'яті, 368 байт RAM).
- PIC16F628A: Використовується для проектів середнього рівня складності, має 18 пінів і більше пам'яті (2 КБ Flash, 192 байт RAM).

Для вирішення даної задачі доцільно буде використовувати мікроконтролер, так як він зазвичай використовуються в економічно оптимізованих рішеннях, де важливе значення має вартість виробу та енергозбереження. Вони широко використовуються в пристроях з ультранизким енергоспоживанням, де потрібен тривалий час роботи від батарей. Наприклад, в пультах дистанційного управління, споживчих електролічильниках, охоронних системах і т.д. Також вони використовуються там, де необхідна високо детермінована поведінка системи.

Основним вузлом розроблюваної системи автоматичного керування є керуючий пристрій, в якості якого виступатиме мікроконтролер. В наш час існує величезний вибір даних пристроїв. Одними з найбільш розповсюджених у всьому світі є мікроконтролери серії МК51 і PIC-контролери.

Для реалізації керування системою автоматизованого керування вибираємо мікроконтролер PIC16F873. PIC16F873 — це мікроконтролер серії PIC16, розроблений компанією Microchip Technology. Це один із популярних 8-бітних мікроконтролерів, який забезпечує хорошу продуктивність, низьке споживання енергії та велику кількість периферійних можливостей. Він ідеально підходить

для застосувань, де потрібна простота програмування, доступність та стабільна робота. Зовнішній вигляд мікроконтролера показаний на рис. 3.1.

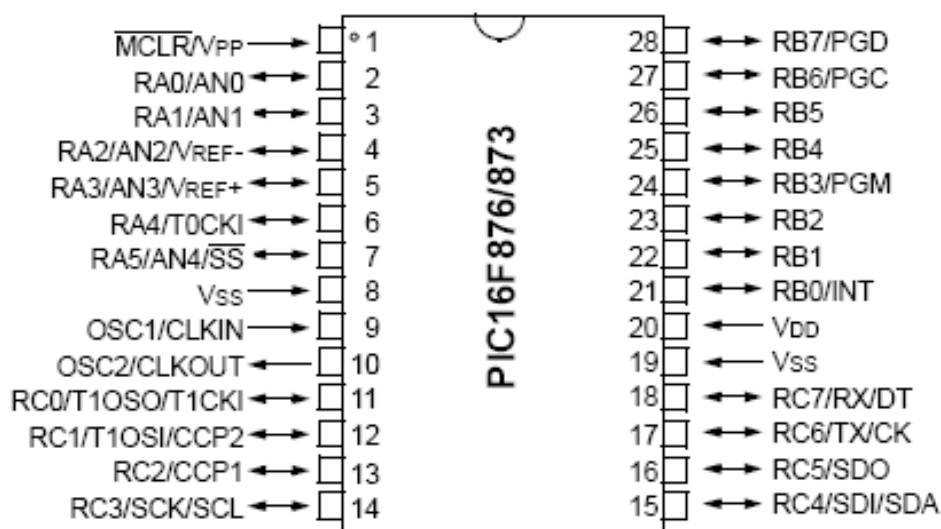


Рис. 3.1. Мікроконтролер PIC16F873

### *Характеристики вибраного мікроконтролера*

- Флеш-пам'ять (Program Memory): 14 КБ для зберігання програми.
- Оперативна пам'ять (RAM): 368 байт.
- SPI/I2C: Для комунікації з іншими пристроями.
- Тактова частота:
  - DC – 20МГц, частота тактового сигналу
  - DC – 200нс, тривалість машинного циклу
- Пам'ять:
  - 4096x 14 слів Flash пам'яті програми
  - 64 x 8 пам'ять даних
  - 128 x 8 EEPROM пам'яті даних
- Система переривань
- 16 апаратних регістрів спеціального призначення
- 18-рівневий апаратний стек
- Прямий, непрямий і відносний режим адресації

### *Характеристика периферійних модулів*

- 8 введення/виведення
- Виходи для підключення світлодіодів
- Модуль аналогового компаратора
  - Один аналоговий компаратор
  - Програмоване джерело опорної напруги для компаратора
  - Програмований мультиплексований вхід з іншими периферійними модулями
  - Зовнішній вихід компаратора
- Таймер TMR1
  - 16-розрядний таймер-лічильник з перед дільником
  - Можливість використання OSC1, OSC2 в якості виводів генератора TMR1 в LP режимі, якщо основний тактовий генератор працює в INTOSC режимі
- 64 регістри загального призначення

#### *КМОП технологія*

- Високошвидкісна КМОП Flash технологія з малим використанням енергії
- Повністю статична архітектура
- Широкий діапазон напруги живлення від 2.0В до 5.5В

Код для мікроконтролера, що зчитує значення з аналогового входу і виводить його через серійний порт (UART):

```
#include <xc.h>
```

```
#define _XTAL_FREQ 20000000 // Тактова частота 20 МГц
```

```
void main() {
```

```
    // Налаштування ADC
```

```
    ADCON1 = 0x06; // Встановлює порти AN0 - AN1 як аналогові
```

```
    ADCON0 = 0x01; // Вибір каналу AN0
```

```
    TRISA = 0xFF; // Встановлює порти RA як входи
```

```
    TRISC = 0x00; // Порти RC як виходи для UART
```

```
    // Налаштування UART
```

```

SPBRG = 129;    // Базова швидкість 9600 для 20 МГц
TXSTAbits.TXEN = 1; // Увімкнення передачі
RCSTAbits.SPEN = 1; // Увімкнення послідовного порту

while(1) {
    // Запуск ADC
    ADCON0bits.GO = 1;
    while(ADCON0bits.GO); // Чекаємо завершення перетворення
    // Відправка результату через UART
    TXREG = ADRESH; // Відправка старшого байту результату
    __delay_ms(1000); // Затримка
}
}

```

### 3.2. Аналоговий комутатор

**Аналоговий комутатор** — це електронний пристрій, який використовується для перемикання або комутації аналогових сигналів між різними входами і виходами. На відміну від цифрових комутаторів, які працюють з бінарними сигналами (0 і 1), аналогові комутатори працюють із неперервними сигналами, що можуть мати будь-яке значення в заданому діапазоні (наприклад, напруга від 0 до 5 В або від -10 до +10 В).

Аналогові комутатори часто використовуються в схемах, де потрібно вибирати або направляти аналогові сигнали, наприклад, в аудіообладнанні, системах вимірювання, сигнальних пристроях, радіоелектроніці і навіть у системах телекомунікацій.

#### Типи аналогових комутаторів:

##### 1. Механічні комутатори:

Використовуються для комутації аналогових сигналів в простих пристроях. Вони можуть бути на основі релейних контактів або фірмових механічних перемикачів.

Проте вони часто мають високе електричне навантаження і обмежену швидкість комутації.

## **2. Транзисторні комутатори:**

Вони використовують напівпровідникові компоненти, такі як транзистори, МОП-транзистори або інші аналогові компоненти для комутації сигналу.

Використовуються для високошвидкісних, точних і ефективних застосувань, таких як в аудіообладнанні, системах вимірювання тощо.

## **3. Мультиплексори (MUX):**

Це пристрої, які дозволяють підключити один з кількох аналогових сигналів до одного виходу, зазвичай з можливістю вибору за допомогою керуючого сигналу.

Наприклад, мультиплексори 4:1 або 8:1 дозволяють вибирати один із чотирьох або восьми входів і направляти його на вихід.

**4. Інтегральні аналого-цифрові мультиплексори** - це чіпи, які можуть перемикає кілька аналогових сигналів або навіть здійснювати перетворення аналогового сигналу в цифровий. Застосовуються для обробки сигналів з великою кількістю каналів або в комунікаційних системах.

### **3.3. Аналогово-цифровий перетворювач (АЦП)**

Підбір аналогово-цифрового перетворювача (АЦП) для конкретного проекту залежить від кількох ключових параметрів. АЦП перетворює аналоговий сигнал (наприклад, напругу) у цифровий код, що дозволяє обробляти його за допомогою мікроконтролера або цифрових систем.

Є кілька різних типів АЦП, які підходять для різних застосувань:

- **Послідовний (SAR, Successive Approximation Register):** Один з найпопулярніших типів для використання в мікроконтролерах. Має хороший баланс між швидкістю, роздільною здатністю та енергоспоживанням.

- $\Delta\Sigma$  (Delta-Sigma): Призначений для високоточних вимірювань з великою роздільною здатністю, але зазвичай має меншу швидкість дискретизації. Ідеальний для застосувань, де точність важливіша за швидкість.
- Паралельний (Flash): Найшвидший тип АЦП, де відразу отримується результат в цифровому вигляді, однак він має меншу роздільну здатність і більші вимоги до апаратного забезпечення.

Робота АЦП вимагає кількох основних етапів: дискретизації, квантування та кодування. Математичне моделювання роботи АЦП можна описати через такі основні етапи.

Дискретизація полягає в тому, що аналоговий сигнал замінюється набором значень, отриманих через фіксовані проміжки часу. Цей процес також називають вибіркою або семплюванням.

Квантування — це процес округлення вибірок  $x[n]$  до найближчого значення з певного набору можливих рівнів, які визначаються роздільною здатністю АЦП.

Після того, як сигнал був квантуваний, наступним етапом є перетворення кожної квантуваної вибірки у відповідний цифровий код. Це зазвичай здійснюється шляхом використання двійкової системи числення, де кожна вибірка  $x_q[n]$  відображається на  $N$ -бітовий цифровий код.

Згенеровані цифри після квантування і кодування формують результат АЦП. Таким чином, для сигналу  $x(t)$ , що має нескінченно багато значень, ми отримуємо дискретний набір чисел  $S[n]$ , який є цифровим представленням аналогового сигналу.

Математична модель роботи АЦП

$$x[n] = x(nT)$$

$$x_q[n] = \Delta \cdot \text{round} \left( \frac{x[n] - V_{\min}}{\Delta} \right) + V_{\min}$$

$$C[n] = \text{round} \left( \frac{x_q[n] - V_{\min}}{\Delta} \right)$$

### 3.4. Пристрій комутації

Вибір пристроїв комутації для вашого проекту залежить від багатьох факторів, зокрема типу сигналів, які необхідно комутувати, умов експлуатації, швидкості комутації, енергоспоживання, а також від того, чи потрібні додаткові функції, такі як захист від перенапруги чи керування на великій відстані.

Існує багато відносно простих варіантів, що дозволяють виконати це завдання. Їх можна розділити на ряд груп:

- використання електромагнітних реле;
- використання комутації тиристором діодного моста в діагоналі якого включене навантаження;
- використання твердотільних реле;
- використання оптотиристорів і оптосимісторів;
- використання драйверів тиристорів і симісторів з (без) оптронів.

#### ***Транзисторні комутатори***

–BJT (біполярні транзистори): підходять для потужних комутаторів, особливо коли потрібна здатність працювати з великими струмами.

–MOSFET (метал-оксид-півпровідниковий транзистор): широко використовуються завдяки високій швидкості комутації та низьким втратам потужності. Підходять для управління сигналами з малим струмом.

–IGBT (ізольовані біполярні транзистори з полевым ефектом): застосовуються для високочастотних комутацій в промислових і енергетичних застосуваннях.

Оптимальними для використання будуть симістори, оскільки вони мають відносно низьку вартість, збільшений термін служби. Симістори — це напівпровідникові пристрої, які комбінують властивості діода і транзистора і використовуються для управління електричними ланцюгами. Вони мають здатність проводити струм в одному напрямку при досягненні певного порогу напруги і можуть бути вимкнуті через зміну умов в колі. Симістори застосовуються в різних схемах комутації, керуванні потужністю і захисті.

### Основні характеристики симісторів

#### 1. Три контакти:

**Анод (А):** Позитивний контакт для струму.

**Катод (К):** Негативний контакт для струму.

**Gate (G):** Контакт для управління, що дозволяє «відкрити» або «закрити» симістор.

#### 2. Чутливість до керуючого сигналу (Gate):

Симістор може бути увімкнений або вимкнений за допомогою подачі короткочасного імпульсу на **Gate**.

Коли напруга на **Gate** досягає певного рівня (порогу включення), симістор починає проводити струм.

#### 3. Режими роботи:

**ON-режим:** Коли симістор проводить струм і знаходиться в активному стані.

**OFF-режим:** Коли симістор не проводить струм і знаходиться в вимкненому стані.

4. **Напруга зворотного пробою.** Зворотна напруга, при якій симістор може зруйнуватися. Це важливий параметр для вибору симістора залежно від того, який рівень напруги буде на вході в його ланцюгу.

5. **Потужність і струм.** Симістори здатні витримувати великі струми, зазвичай від кількох ампер до тисяч ампер. Їх вибір залежить від вимог до потужності та струму в схемах.

### 3.5. Вибір індикатора

Промисловість випускає широкий асортимент індикаторів, які використовуються для відображення різноманітної інформації в різних пристроях. Найбільш популярними типами індикаторів є цифро-буквені напівпровідникові індикатори, електролюмінісцентні індикатори та рідкокристалічні індикатори (РКІ). Кожен з них має свої особливості, переваги та недоліки, що визначають їх використання в конкретних сферах.

Цифро-буквені напівпровідникові індикатори зазвичай виготовляються на основі світлодіодних структур, які є важливими компонентами таких індикаторів. Саме тому ці індикатори часто називають світлодіодними (СД). Світловипромінюючий діод (LED) є напівпровідниковим пристроєм, який перетворює електричну енергію в енергію світлового випромінювання. Такі індикатори здатні видавати яскраве монохромне світло, що добре видно в умовах недостатнього освітлення. Вони мають високий коефіцієнт світловіддачі і забезпечують хорошу видимість. Однак, світлодіоди мають деякі недоліки, такі як досить високе споживання електричної енергії, а також необхідність використання спеціальних дешифраторів для управління сегментами, що ускладнює інтеграцію в складні схеми.

Електролюмінісцентні індикатори — це плоскі пристрої, в яких один з електродів є прозорим і суцільним, а інший — поділений на металеві площадки. Між електродами знаходиться тонкий шар люмінесцентного порошку. Коли на

електроди подається змінна напруга, у шарі люмінесцентного порошку виникає світіння, що дозволяє відображати інформацію. Такий тип індикаторів має деякі обмеження, зокрема, необхідність використання змінної напруги, що може бути недоліком у багатьох розробках, де змінна напруга недоступна. Крім того, з часом яскравість світіння таких індикаторів може знижуватися, що впливає на їх ефективність.

Рідкокристалічні індикатори (РКІ) працюють на основі рідких кристалів, які можуть проявляти властивості рідин і кристалів у залежності від температури. РКІ складається з двох прозорих скляних пластин, між якими знаходиться шар рідких кристалів. На одній з пластин за допомогою прозорого струмопровідного покриття наноситься малюнок цифр у вигляді сегментів, а на іншій пластині розміщується загальний електрод для всіх цифр. Коли на електроди подається керуюча напруга, рідкі кристали змінюють свою прозорість, і спостерігач бачить темні цифри на світлому фоні (якщо задня поверхня біла і має відображаючі властивості). Одна з головних переваг РКІ — це низьке енергоспоживання, що вимірюється в одиницях або сотнях мікроамперів, що робить їх дуже ефективними для використання в портативних або енергозалежних пристроях.

Для відображення температури всередині сушильної камери в робочому режимі важливим критерієм вибору індикатора є його яскравість і добре розрізняння цифр. У цьому випадку ми вибрали світлодіодний індикатор, оскільки він надає достатню яскравість і чіткість для роботи в умовах з обмеженим освітленням або для коротших відстаней спостереження.

Для контролю режиму роботи або введення та зміни параметрів ми обрали рідкокристалічний індикатор у вигляді двох рядків по 16 символів. Це дозволяє чітко відображати режимні дані, текстові повідомлення та інші налаштування пристрою, забезпечуючи зручність у використанні і надаючи більше простору для інформації, яку необхідно відобразити. Крім того, РКІ мають низьке енергоспоживання і можливість зручного управління через стандартні інтерфейси, що дозволяє інтегрувати їх у більш складні системи управління.

Таким чином, вибір індикатора залежить від специфікацій конкретного застосування, таких як енергоспоживання, яскравість, розмір та зручність відображення інформації. В результаті, ми вибираємо світлодіодні індикатори для показників температури та РКІ для відображення більш складних режимів та текстових даних.

### 3.6. Розробка принципової схеми

По структурній схемі пристрою з урахуванням обраної елементної бази розробляємо принципову схему.

Знаючи діапазон зміни вхідної напруги і припустимої похибки виміру, розраховуємо розрядність АЦП.

Температура повинна вимірюватися з точністю 0,5 %.

Число розрядів АЦП визначається за формулою:

$$N_{\text{АЦП}} \geq \left\lceil \log_2 \frac{50}{\sqrt{3}/2 \cdot \Delta Q} \right\rceil,$$

Отже, розрядність АЦП:

$$N_{\text{АЦП}} \geq \log_2 \frac{50}{\sqrt{3}/2 \cdot 0,5} = 7,88 \text{ розрядів.}$$

Буде потрібно АЦП із числом розрядів 8. До нього подаються такі вимоги:

- відповідність логічних рівнів цифрових сигналів;
- швидкодія, порівнянна зі швидкодією мікроконтролера.

Вибираємо АЦП послідовного наближення К1108ПВ1А, що має такі характеристики:

- число розрядів - 10;
- диференціальна нелінійність,  $M_p \pm 0,75$ ;
- час перетворення, мкс - 09;
- опорна напруга ( $U_{\text{REF}}$ ), В - 2,5;
- вхідна напруга ( $U_{\text{IRN}}$ ), В - 0...3;
- вихідна напруга низького рівня,  $V \leq 0,4$ ;
- вихідна напруга високого рівня,  $V \geq 2,4$ ;

- напруга живлення ( $U_{\text{живл}}$ ),  $V \pm 5 \pm 5\%$ .

Підсилювач сигналу найбільше доцільно виконати на операційному підсилювачі. Буде використовуватися прецизійний операційний підсилювач (ОУ) КМ140УД6.

Дані для розрахунку підсилювача сигналу:

- вхідна напруга - 0. .100 мВ;
- вихідна напруга - 0. .3 В;
- вхідний опір - 2,5 кОм.

Коефіцієнт підсилення по напрузі (рис. 3.3.):

$$K_U = \frac{3}{0,1} = 30 .$$

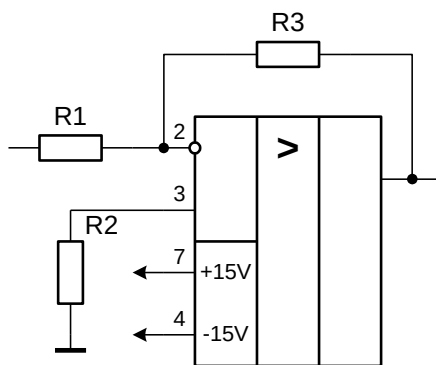


Рис. 3.3. Схема включення операційного підсилювача

Коефіцієнт підсилення операційного підсилювача визначається як

$$K_U = -\frac{R_3}{R_1} .$$

Вибираємо  $R_1 = 2,5 \text{ кОм} \pm 10\%$ .

Тоді  $R_3 = 2,5 * 30 = 75 \text{ кОм} \pm 10\%$ .

$R_2 = 10 \text{ кОм} \pm 10\%$ .

Для відображення інформації використовуємо цифрові індикатори SA10-11, що мають  $I_{cs} = 3 \text{ мА}$ , світлодіоди включені за схемою з загальним катодом. Тому для світіння індикатора дешифратор вибору індикатора повинний забезпечити низький рівень (напруга на катоді), а дешифратор коду цифри повинний забезпечити високу напругу на анодах необхідних сегментів.

Керування індикатором здійснюється за допомогою дешифратора, що подає семисегментний код цифри на індикатор а, відповідні виходи мікроконтролера використовуються для вибору номера розряду індикатора.

У якості дешифратора коду цифри вибираємо К514ИД1, що містить всередині вмонтований підсилювач і призначений для керування з індикаторами з загальним катодом.

Розрахуємо значення опорів індикатора.

Як було описано вище, для світіння світлодіода індикатора необхідно подати з дешифратора сигнал логічної одиниці:

$$U_{вых DD1}^1 = 5 \text{ В.}$$

І відповідно, з іншого дешифратора сигнал логічного нуля:

$$U_{вых DD3}^0 = 0,2 \text{ В.}$$

Тоді падіння напруги дорівнює:

$$\Delta U = U_{вых DD1}^1 - U_{вых DD3}^0 = 5 - 0,2 = 4,8 \text{ В.}$$

Таким чином, загальний опір ланцюга дорівнює:

$$R_{цети} = \frac{\Delta U}{I_{инд}} = \frac{4,8}{3 \cdot 10^{-3}} = 1,6 \text{ кОм.}$$

Визначимо опір індикатора:

$$R_{инд} = \frac{U_{инд}}{I_{инд}} = \frac{1,5}{3 \cdot 10^{-3}} = 0,5 \text{ кОм.}$$

Таким чином, маємо опори:

$$R = R_{цети} - R_{инд} = 1,1 \text{ кОм.}$$

Із стандартного ряду вибираємо  $R=1 \text{ кОм.}$

Для візуалізації візьмемо 4 семисегментних індикатора SA10-11 фірми KingBrighth (рис 3.4).



- Діапазон робочих температур  $-40 \dots +85 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Щоб зекономити кількість ножок мікроконтролера при індикації та розвантаження мікроконтролера використано регістр зсувів 74HC595 рис 3.5.



Рис 3.5. Регістр 74HC595

Регістр дозволяє контролювати 8 виходів, використовуючи всього кілька виходів на самому контролері. При цьому кілька таких регістрів можна об'єднувати послідовно для каскадування.

74HC595 може віддавати сигнали не тільки паралельно, але і послідовно. Це необхідно при об'єднанні кількох регістрів, для отримання 16 і більше виходів. У цьому випадку перші 8 біт сигналу передаються на наступний регістр для паралельного виводу на ньому

Коли на тактовій вході SH\_CP з'являється логічна одиниця, регістр зчитує біт з входу даних DS і записує його в самий молодший розряд. При вступі на тактовий вхід наступного імпульсу, все повторюється, тільки біт записаний раніше зсувається на один розряд, а його місце займає знову прийшов біт. Коли всі вісім біт заповнилися і приходить дев'ятий тактовий імпульс то регістр знову починає заповнятися з молодшого розряду і все повторяться знову. Що б дані з'явилися на виходах Q0 ... Q7 потрібно їх «запам'ятати». Для цього необхідно подати логічну одиницю на вхід ST\_CP.

Регістр зсуву **74HC595** зчитує вхідні серійні дані через **DS** (Data Input) і записує їх в регістр при кожному тактовому імпульсі через **SH\_CP** (Shift Clock). Це дозволяє послідовно зсувати бітові дані в регістр, починаючи з найбільш значущого біта. Коли всі біти зсунуто, використовуючи **ST\_CP** (Storage Clock), дані записуються в паралельні виходи (Q0-Q7), які відразу готові для використання.

В якості ключових елементів виберемо симистор, який призначений для комутації навантаження на змінному струмі. Так як комутується силова високовольтна лінія, 220 вольт, а контролер у нас низьковольтний, працює на п'ять вольт. Тому щоб уникнути ексцесів потрібно провести потенційну розв'язку. Потрібно зробити так, щоб між високовольтною та низьковольтною частиною не було прямого електричного з'єднання. Наприклад, зробити оптичне розділення. Можна використати просту оптопару, або більш сучасний метод використавши спеціальну збірку - симисторний оптодрайвер МОС3063М (Рис 3.6). Типова схема підключення силової частини зображена на рис 3.7.

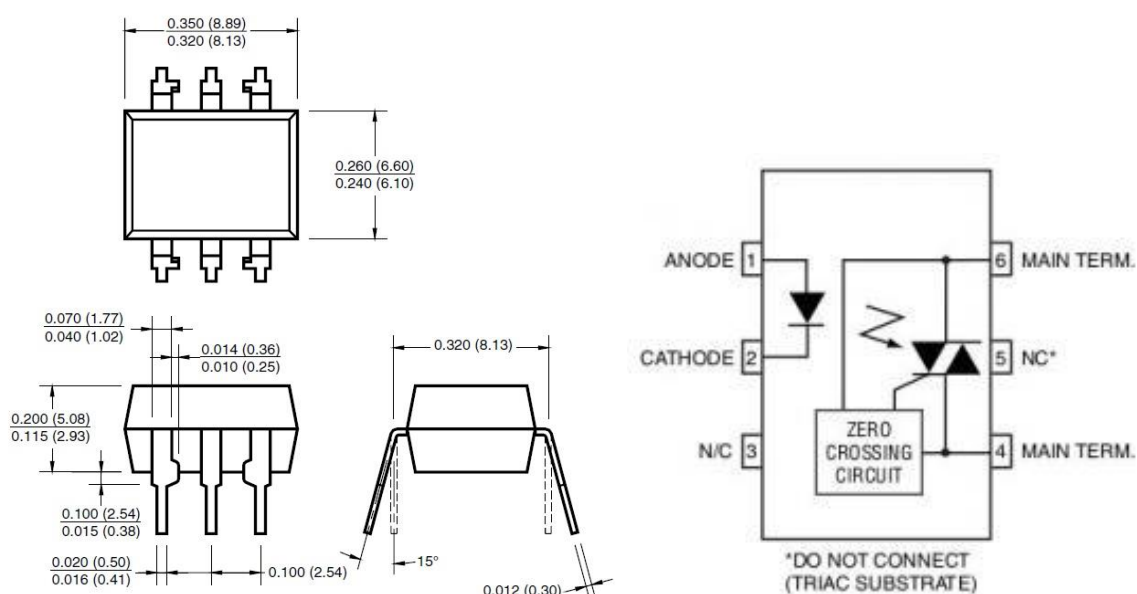


Рис 3.6. Оптодрайвер МОС3063М

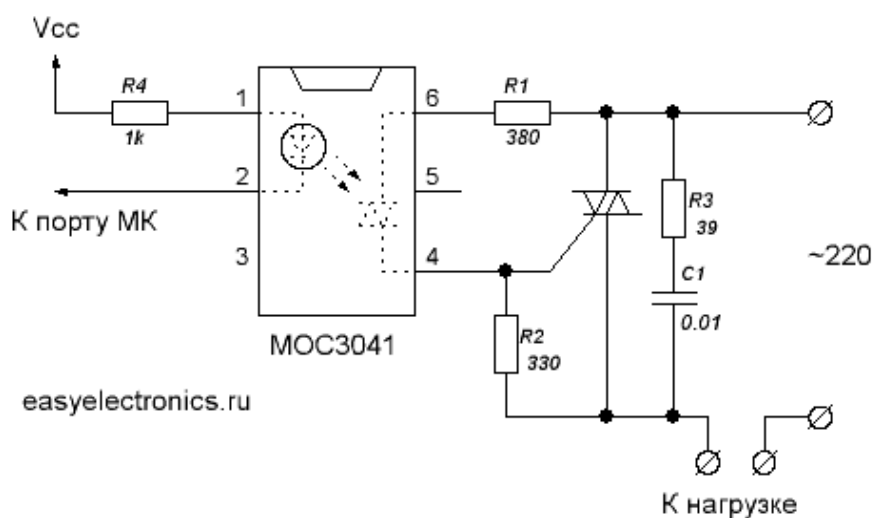


Рис 3.7. Типова схема підключення МОС 3063М

Характеристики семисторного оптодрайвера:

- Прямий струм: 50 мА
- Зворотна напруга на виході: 400 В
- Напруга ізоляції: 5000 В
- Струм включення: 15 мА

В якості семистора використано BT139-600 (рис. 3.8.)

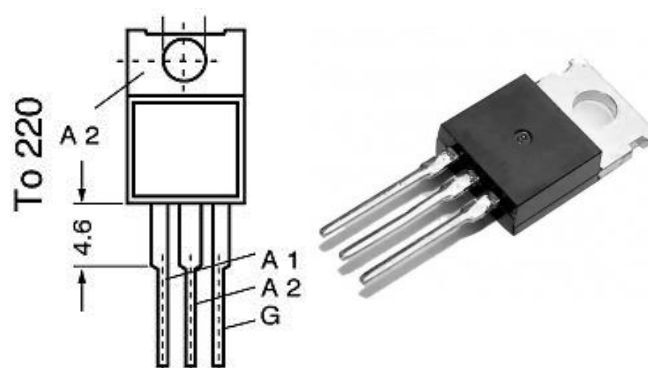


Рис 3.8. Семистор BT139-600

- Максимальна напруга 600 В
- Комутований струм 16 А
- Напруга утримання 1,6 В
- Ток УЕ 25 мА
- Час включення 2 мкс

### 3.7. Опис принципової схеми

Мікроконтролер подає імпульс на SH\_CP, щоб зсунути один біт.

Потім подається імпульс на ST\_CP, щоб передати зсунутий біт на виходи Q0-Q7.

Мікроконтролер може подати імпульс на OE, щоб вимкнути виходи, або на MR, щоб скинути їх.

• На основі обраної елементної бази була розроблена електрична принципова схема пристрою (Рис. 3.9).

- На оптодрайверах DA9...DA15 МOC3063М виконано схему узгодження мікроконтролера і симісторів VS1...VS7.

- Мікроконтролер DD2 є центральним процесором, він здійснює весь процес керування елементами схеми. Він також формує дані для відображення на індикаторах. В якості мікроконтролера використовується мікросхема PIC16F873.

- Апаратний інтерфейс користувача складається з кнопок S1... S8.

Ось як виглядає принципова схема для підключення 74HC595 до мікроконтролера:

1. DS (Data In) — підключається до одного з пінів мікроконтролера (наприклад, через SPI).
2. SH\_CP (Shift Clock) — підключається до тактового піну мікроконтролера.
3. ST\_CP (Storage Clock) — підключається до ще одного піну мікроконтролера для запису даних в паралельні виходи.
4. OE (Output Enable) — підключається до одного з пінів мікроконтролера, щоб вимкнути або включити виходи.
5. MR (Master Reset) — може бути підключено до логічного рівня для скидання всіх виходів.
6. Q0-Q7 — виходи, що підключаються до пристроїв (наприклад, світлодіоди або інші електронні компоненти).

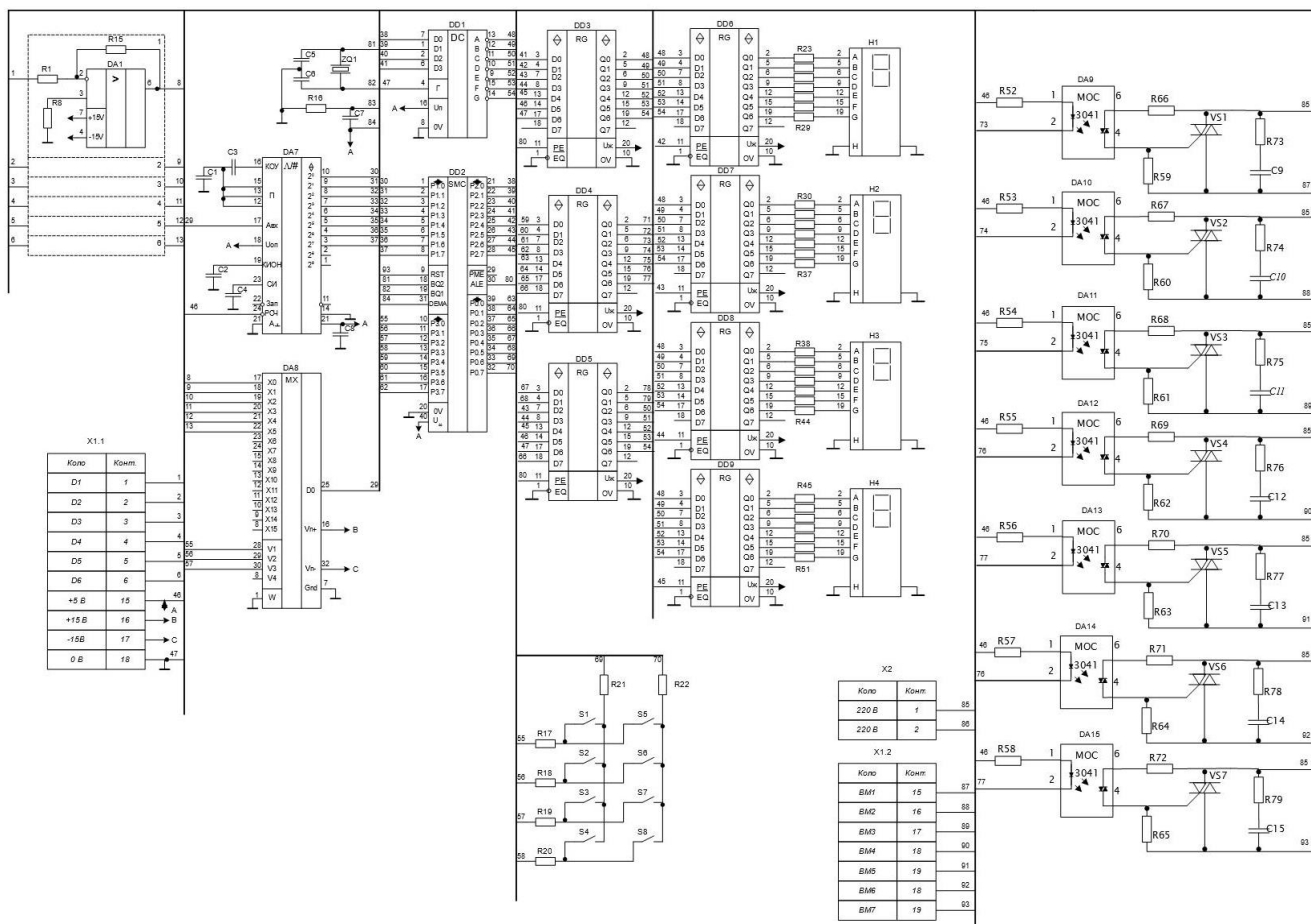


Рис. 3.9. Електрична принципова схема системи:

С - конденсатори, R - резистори, DA1-6 - прецизійні операційні підсилювачі КМ140УД6, DA7 - АЦП послідовного наближення К1108ПВ1А, DA8 - 16-канальний аналоговий комутатор К591КН1, DA9-15 - оптодрайвери МOC3063М, DD1 - дешифратор коду К514ИД1, DD2 - мікроконтролер PIC16F873, DD3-9 - регістри 74НС595, VS1-7 - семистор ВТ139-600, ZQ2 - резонатор кварцевий РК-24 МГц, HL1-4 - індикатор SA10-11, S1-8 - кнопка ПК-1, X1-2 - з'єднувач ГРМП1-61.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Аналіз технологічної схеми виробництва картону на плоскіткової картоноробній машині та розробленої схеми автоматизації цієї картоноробної

машини дозволяє зробити кілька важливих висновків, які мають велике значення для поліпшення якості та ефективності процесу виготовлення картону.

1. Основний агрегат картоноробної машини — напірний ящик. Він грає ключову роль у формуванні картонного полотна. Швидкість потоку маси, що витікає з напірного ящика, має бути стабільною і точно контрольованою. Це критично важливо, оскільки вона безпосередньо впливає на швидкість сітки машини через коефіцієнт співвідношення, який визначає однорідність і якість картонного полотна на мокрій стадії. Для досягнення стабільності цього процесу потрібно впроваджувати високоточне управління потоком маси, яке враховує всі зміни технологічних параметрів.

2. Швидкість потоку маси, що витікає з випускальної щілини напірного ящика, залежить від двох основних параметрів: рівня маси у напускній камері та тиску повітря в повітряній подушці. Тому одним із ключових завдань є стабілізація тиску повітря в цій подушці, що дозволить більш точно контролювати швидкість потоку маси через випускальну щілину. В свою чергу, стабільний рівень маси у напускній камері також сприятиме постійному та рівномірному процесу формування картону.

3. Керування такими важливими параметрами, як вага макулатури, витрата води та маси, температура в сушильній частині машини та рівень конденсату, здійснюється за допомогою спеціалізованих датчиків. Вони дозволяють надійно вимірювати та контролювати ці показники в реальному часі, що, в свою чергу, забезпечує високий рівень автоматизації і точності у виробничому процесі. Використання таких датчиків дозволяє не тільки покращити якість кінцевого продукту, але й знизити витрати енергії та матеріалів, оптимізуючи виробничі процеси.

4. Запропонована система автоматичного керування, яка включає в себе моніторинг і корекцію різних технологічних параметрів, може бути реалізована на базі як аналогових, так і цифрових засобів автоматизації. Обидва варіанти мають свої переваги та обмеження. Аналогові системи забезпечують швидку реакцію на зміни параметрів, але можуть бути менш гнучкими при складних процесах.

Цифрові системи, у свою чергу, дозволяють забезпечити більш точне та масштабоване управління, з можливістю інтеграції з іншими сучасними технологіями автоматизації, наприклад, за допомогою промислових комп'ютерних систем або мережевих технологій.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Бухарін, В. В. Технологія виробництва картону: навч. посіб. / В. В. Бухарін, В. П. Алексєєв. — Київ: Політехніка, 2010. — 352 с.

2. Іванов, О. І. Технологія картонного виробництва: підручник / О. І. Іванов, І. П. Мельник. — Харків: ХНАМГ, 2015. — 280 с.
3. *Жученко А.І.* Математичні моделі цифрових систем керування: навч. посіб. / А.І. Жученко.-К.: 13МН, 1997-240с. Бібліогр.:С. 235.-300 пр. ISBN 5-7762-9025-7.
4. Технологія виготовлення паперу та картону: підручник / за ред. О. В. Шевченка, О. В. Гречишкіна. — Дніпро: ДНУ, 2018. — 270 с.
5. *Жученко А.І.* Автоматичне керування напірними ящиками паперо- і картоноробних машин: монографія / А.І. Жученко, М.С. Піргач, М.З.Кваско. — К.: Бізнес Медіа Консалтінг, 2014. — 232с. Бібліогр.:С. 215- 229
6. *Жученко А.І.* Аналітичне конструювання дискретних регуляторів: навч. посіб. / А.І. Жученко, Л.Р.Ладієва. М.С. Піргач. — К.: Аграр Медіа Груп, 2014-268 с. Бібліогр.:С. 262. ISBN 978-617-275-0.
7. *Кваско, М.З.* Проектування і розрахунок дискретних систем керування технологічними процесами:навч. посіб./М.З. Кваско, М.С. Піргач, Т.В. Аверіна.—К.:НМЦ ВО, 2000.—248 с.— Бібліогр.: С.240–243.—ISBN 966-622-001-6.
8. *Кваско М.З.* Проектування і дослідження систем автоматичного керування технологічними процесами: навч. посіб. /М.З. Кваско, М.С. Піргач, Т.В. Аверіна.— К.: ІВЦ “ Видавництво «Політехніка» ”,2003.— 360с.—Бібліогр.: С.307-309; С. 339-340; С. 60-61; С. 130; С. 192; С. 237; С. 263. С.307-309, С.339-340.-200 пр. ISBN 966-622-116-0
9. *Кваско М.З.* Математичне моделювання та ідентифікація одно- і багатовимірних систем: навч.посіб. / М.З. Кваско, Л.Р. Ладієва, М.С. Піргач.— К.: НТУУ «КПІ», 2006.— 308с.— Бібліогр.: с.277-278.— 200 пр. ISBN 966-622-211-6.
10. Технологія виробництва паперу та картону: навчальний посібник для вищих навчальних закладів / Н. І. Горобець, В. Л. Дядюков. — Харків: Вища школа, 2011. — 248 с.
11. Ребров, В. В. Мікроконтролери PIC: навч. посіб. / В. В. Ребров. — Харків: Вища школа, 2015. — 280 с.

12. Фролов, І. С. Основи програмування мікроконтролерів PIC / І. С. Фролов. — Одеса: ОНПУ, 2016. — 210 с.

13. Мікроконтролери PIC: програмування, застосування та досвід використання / за ред. М. О. Ващенко. — Львів: ЛНУ, 2011. — 180 с.

14. Програмування мікроконтролерів PIC: підручник / В. М. Ярмоленко, А. В. Хорунжий. — Одеса: ОНПУ, 2017. — 220 с.