

Центральноукраїнський національний технічний університет  
Факультет будівництва, транспорту та енергетики  
Кафедра «Автоматизації виробничих процесів»

«Допущено до захисту»  
Зав. кафедрою АВП  
к.т.н., доцент  
Олександр Дідик  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти  
на тему:  
«Автоматизована система дозування сипких компонентів у  
хлібопекарській промисловості»

Виконав здобувач вищої освіти  
4 курсу, групи АК-19  
ОПП «Автоматизація та  
комп'ютерно-інтегровані технології»  
спеціальності 151 «Автоматизація та  
комп'ютерно-інтегровані технології»  
\_\_\_\_\_ Кличко О.О.  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Керівник роботи  
доцент, к.т.н.  
\_\_\_\_\_Сергій Плешков  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Рецензент  
доцент, к.т.н. кафедри ЕТС та ЕМ  
\_\_\_\_\_Валентин Солдатенко  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра автоматизації виробничих процесів

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень

Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Дідик О.К.

“\_\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТА  
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ  
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Кличко Олександри Олександрівни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Автоматизована система дозування сипких компонентів у хлібопекарській промисловості»

2. Керівник роботи

Плешков Сергій Петрович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту 26.06.2023 року

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи підвищення

технологічної і енергетичної ефективності процесу дозування сипких компонентів, шляхом створення системи керування процесом дозування. Система повинна забезпечувати керування процесом дозування борошна при виготовленні хлібобулочних виробів, згідно визначених вимог.

5. Перелік графічного матеріалу Структура автоматизованої системи керування процесом дозування сипких компонентів. Криві рівної степені коливальності ПІ-регулятора. Схеми електричні структурна та функціональна.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи                                                                              | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------|
| 1     | Дослідження процесу виготовлення хлібобулочних виробів                                                                     | 10.04.2023                    |          |
| 2     | Характеристика об'єкта автоматизації та аналіз шляхів автоматизації                                                        | 28.04.2023                    |          |
| 3     | Розробка автоматизованої системи керування процесом дозування сипких компонентів                                           | 12.05.2023                    |          |
| 4     | Розрахунки окремих вузлів автоматизованої системи керування процесом дозування сипких компонентів                          | 05.06.2023                    |          |
| 5     | Опис організації робіт, пов'язаних з застосуванням автоматизованої системи керування процесом дозування сипких компонентів | 16.06.2023                    |          |
| 6     | Кінцеве оформлення пояснювальної записки та графічної частини                                                              | 23.06.2023                    |          |

Дата видачі завдання

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_р.

Підпис керівника

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_р.

Підпис здобувача

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

## **АНОТАЦІЯ**

Бакалаврська робота присвячена питанням автоматизації технологічних процесів дозування сипких компонентів при виготовленні хлібобулочних виробів у хлібопекарській промисловості.

Зроблено огляд існуючого обладнання, розглянуті сучасні системи автоматизованого керування, принципи їх побудови ведучими фірмами. На підставі цього розроблені структурні, функціональні, принципові електричні та елементні схеми автоматизованої системи керування процесом дозування борошна.

Проведено теоретичні розрахунки елементів системи та її якості.

## **ABSTRACT**

The bachelor's thesis is devoted to the issues of automation of technological processes of dosage of loose components in the production of bakery products in the bakery industry.

An overview of the existing equipment was made, modern automated control systems, the principles of their construction by leading companies were considered. Based on this, the structural, functional, basic electrical and element diagrams of the automated control system for the flour dosing process were developed.

Theoretical calculations of the elements of the system and its quality have been carried out.

## **ЗМІСТ**

|                                                                                                                             |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ВСТУП.....</b>                                                                                                           | <b>3</b>  |
| <b>1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ.....</b>                                             | <b>5</b>  |
| <b>1.1 Технологічний процес виготовлення хлібобулочних виробів...</b>                                                       | <b>5</b>  |
| <b>1.1.1 Етапи виготовлення хлібобулочних виробів.....</b>                                                                  | <b>5</b>  |
| <b>1.1.2 Основна сировина, що використовується в хлібопекарській промисловості.....</b>                                     | <b>6</b>  |
| <b>1.2 Обґрунтування мети і визначення завдань.....</b>                                                                     | <b>8</b>  |
| <b>1.3 Висновки до розділу.....</b>                                                                                         | <b>9</b>  |
| <b>2. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ З АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ДОЗУВАННЯ СИПКИХ КОМПОНЕНТІВ В ХЛІБОПЕКАРСЬКІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ.....</b> | <b>10</b> |
| <b>2.1 Машино-апаратурна схема виробництва хлібобулочних виробів</b>                                                        | <b>10</b> |
| <b>2.2 Обладнання для дозування сировини.....</b>                                                                           | <b>12</b> |
| <b>2.2.1 Основні способи дозування.....</b>                                                                                 | <b>12</b> |
| <b>2.2.2 Дозування борошна.....</b>                                                                                         | <b>15</b> |
| <b>2.3 Висновки до розділу.....</b>                                                                                         | <b>18</b> |
| <b>3. РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ДОЗУВАННЯ БОРОШНА ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ.....</b> | <b>19</b> |
| <b>3.1 Опис та структура роботи системи.....</b>                                                                            | <b>19</b> |
| <b>3.2 Обґрунтування та вибір основних складових системи.....</b>                                                           | <b>21</b> |
| <b>3.2.1 Віброживильник.....</b>                                                                                            | <b>21</b> |
| <b>3.2.2 Транспортёр.....</b>                                                                                               | <b>24</b> |
| <b>3.2.3 Датчики.....</b>                                                                                                   | <b>28</b> |
| <b>3.2.4 Підсилювач.....</b>                                                                                                | <b>32</b> |
| <b>3.2.5 Регулюючий орган.....</b>                                                                                          | <b>35</b> |
| <b>3.2.6 Вторинні прилади.....</b>                                                                                          | <b>37</b> |

|        |                                                                                                               |    |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.3    | Розрахунок окремих вузлів системи.....                                                                        | 39 |
| 3.3.1  | Побудова функціональної схеми.....                                                                            | 39 |
| 3.3.2  | Побудова структурної схеми.....                                                                               | 41 |
| 3.3.3  | Якість системи за виглядом перехідного процесу.....                                                           | 44 |
| 3.3.4  | Визначення оптимальних налаштувань ПІ-регулятора методом розширеної комплексно-частотної характеристики.....  | 46 |
| 3.3.5  | Побудова перехідного процесу системи, скорегованої методом розширених комплексно-частотних характеристик..... | 49 |
| 3.4    | Висновки до розділу.....                                                                                      | 50 |
| 4.     | РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ДОЗУВАННЯ БОРОШНА.....                  | 51 |
| 4.1    | Розробка електричних схем роботи системи.....                                                                 | 51 |
| 4.1.1. | Схема електрична структурна.....                                                                              | 51 |
| 4.1.2. | Схема електрична функціональна.....                                                                           | 53 |
| 4.1.3  | Схема електрична принципова.....                                                                              | 56 |
| 4.2    | Опис організації робіт, пов'язаних із застосуванням системи..                                                 | 61 |
| 4.2.1  | Загальні вказівки.....                                                                                        | 61 |
| 4.2.2  | Підготовка системи до експлуатації.....                                                                       | 62 |
| 4.2.3  | Експлуатація системи.....                                                                                     | 63 |
| 4.3    | Висновки до розділу.....                                                                                      | 63 |
|        | ВИСНОВКИ.....                                                                                                 | 64 |
|        | СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....                                                                               | 65 |

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Хлібопечення є основною галуззю кооперативної харчової промисловості. Питання розширення та покращення асортименту хлібобулочних виробів повинні вирішуватися шляхом раціонального використання існуючого обладнання, підвищення продуктивності праці. При загальній недостатці технологічного обладнання для виготовлення булочних, сухарних виробів обладнання багатьох видів працює з недовантаженням, нерідко простоє, особливо на підприємствах малої потужності.

Однією з найважливіших операцій при виготовленні хлібобулочних виробів є дозування компонентів тіста. Головним компонентом тіста є борошно – саме з дозування борошна розпочинається процес виготовлення хлібобулочних виробів. Тому правильне та точне дозування борошна є невід’ємною частиною процесу, що в кінцевому результаті істотно впливає на якість виготовленої продукції. З практичного досвіду відомо [1-3], що саме через неправильне дозування борошна виготовлюється більшість хлібобулочної продукції, яка не відповідає вимогам стандартів.

Найактуальнішим питанням у наш час є можливість автоматично керувати дозатором борошна, оскільки в разі аварії система дозування може стати джерелом травматизму робітників на підприємстві.

Застосування системи автоматизованого керування процесом дозування з метою регулювання віброживильника за частотою коливань лотка дозволяє збільшити продуктивність віброживильника, а також підтримувати в потрібних межах значення продуктивності.

Існуючи методи керування процесом дозування сипких компонентів мають недоліки, зумовлені недостатньою автоматизацією технологічного процесу.

Таким чином, питання створення системи автоматичного керування процесом дозування сипких компонентів, яка забезпечить ефективне та надійне керування процесом дозування є актуальними для хлібопекарської промисловості.

*Мета і завдання дослідження* – підвищення технологічної і енергетичної ефективності процесу дозування борошна, шляхом створення системи керування процесом дозування.

Для досягнення мети роботи поставлені й розв’язані наступні задачі: формалізована задача вибору оптимізованих параметрів регулювання системою керування процесом дозування, включаючи вибір і обґрунтування критерію оцінки ефективності альтернативних рішень; розроблено систему керування процесом дозування, яка містить пристрої, що відповідають нормам проектування.

*Об’єкт дослідження* – система автоматизованого керування процесом дозування борошна при виготовленні хлібобулочних виробів.

*Предмет дослідження* – процес регулювання частоти коливань лотка віброживильника при керуванні процесом дозування борошном.

*Методи досліджень* базуються на положеннях сучасної теорії автоматичного керування, теорії планування експерименту, методах математичної фізики.

*Практичне значення одержаних результатів.* На основі запропонованих моделей та методів розроблено алгоритм роботи, структурну та функціональну схеми САК процесом дозування сипких компонентів.

*Апробація роботи.* Було прийнято участь в LVII науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти університету до «Дня науки-2023». Секція автоматизації виробничих процесів (20 квітня 2023 року, м. Кропивницький).

*Структура та обсяг бакалаврської роботи.* Бакалаврська робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 67 сторінок.

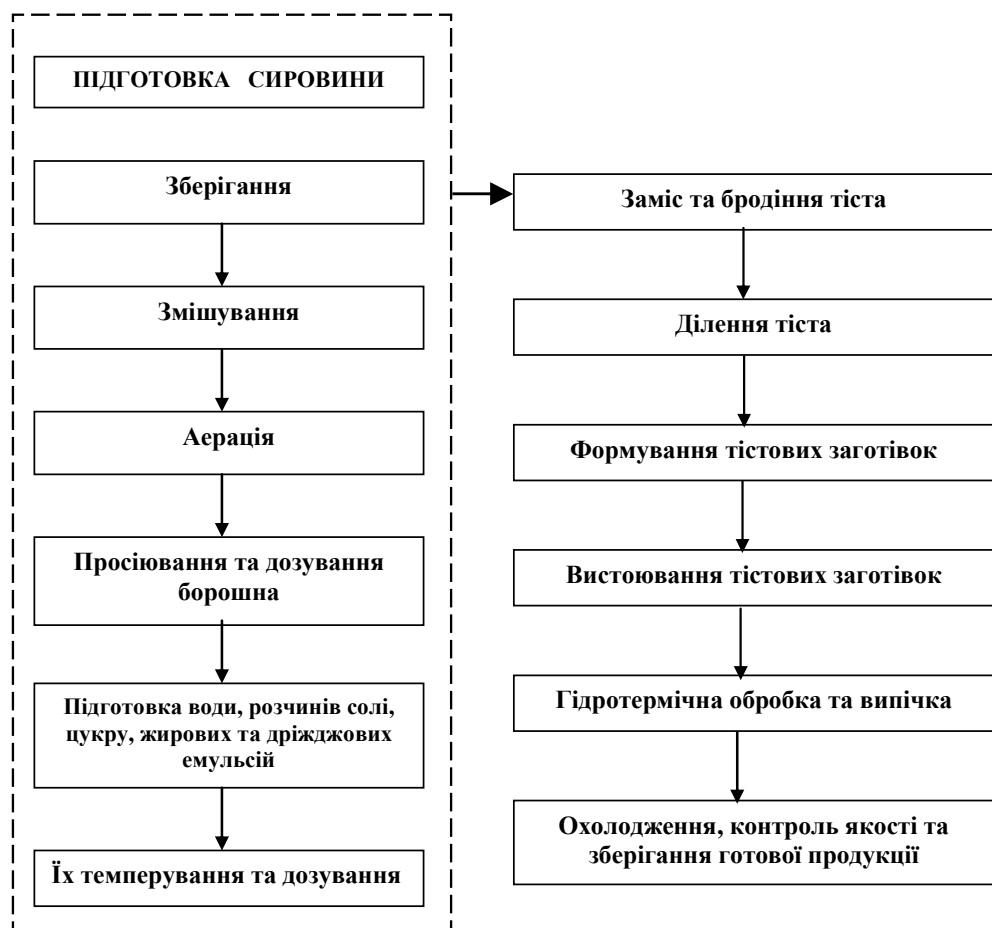
# 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ

## 1.1 Технологічний процес виготовлення хлібобулочних виробів

### 1.1.1 Етапи виготовлення хлібобулочних виробів

Виготовлення хлібних виробів базується на технології бродіння тіста, яке викликається дріжджами, молочнокислими та іншими бактеріями.

Серед виробів з борошна можна виділити хлібні (подові та формові), булочні вироби, баранки, пряники, сухарі, соломку. Сучасний технологічний процес виготовлення хлібобулочних виробів можна представити у вигляді наступного алгоритму (рис. 1.1) [1].



**Рисунок 1.1 - Етапи технологічного процесу виготовлення хлібобулочних виробів**

### **1.1.2 Основна сировина, що використовується в хлібопекарській промисловості**

Основними видами сировини для хлібопекарського виробництва є борошно, дріжджі, сіль і вода, а додатковими - цукор, жири, яйця, молоко й інше. Додатковою сировиною є цукор, солод, мед, патока, молоко та молочні продукти, жири та олії, яйця та яєчні продукти, прянощі, мак, родзинки та ін. [1-3].

*Борошно.* Якість хлібобулочних виробів багато в чому визначається хлібопекарськими властивостями борошна, що залежать від сорту і якості зерна, умов його вирощування (склад ґрунту і добрив, забезпеченість водою і т.д.), а також від погодних умов збирання зерна і техніки помелу.

Якість кожного сорту борошна визначається окремим ДСТ. Стандартні показники якості борошна характеризують її санітарний стан і сорт. Показник хлібопекарських властивостей борошна не стандартизований, за винятком змісту сирової клейковини в пшеничному борошні. Такі показники якості борошна, як смак, запах, хрускіт, зараженість шкідниками, зміст феродомішок і вологість, мають для всіх сортів і видів борошна загальні норми. Зміст феродомішок не повинний перевищувати 3 мг на 1 кг продукту; сторонній смак, запах і зараженість шкідниками в борошні не допускаються. Вологість борошна не повинна бути вище 15-15, 5% [2, 3].

Борошно з добрими хлібопекарськими властивостями дозволяє отримувати готові вироби більшого об'єму, з номерною тонкостінною пористістю, еластичним сухим м'якушем та нормального кольору кірок.

Борошно на хлібопекарські підприємства поступає у льняних, бавовняно-паперових, льняно-джутових мішках та зберігається у штабелях. При безтарному зберіганні борошно завозять у автоборошновозах та зберігають насипом у силосах.

Склади на хлібозаводах повинні вміщувати не менше 7 діб запасу. Борошно постачається окремими партіями. Під партією розуміється кількість сировини одного сорту, виробленого за одну зміну на одному підприємстві та

яке постачається по одному якісному посвідченню. Усі мішки з борошном повинні мати ярлик з вказуванням найменування млина, сорту борошна та дати вироблення.

Мішки необхідно вкладати штабелями на деревинні підвантажники. Висота підвантажника рівна 15-16 см. Висота штабеля при ручній укладці складає не більше 8 рядів, а при укладці автовантажником або талю – до 10 рядів. Кожну партію борошна вкладають окремими штабелями. На кожному штабелі повинна бути табличка з вказуванням номера партії, сорту борошна, дати виготовлення, найменування млина, часу надходження, номера вагону (або накладної), кількості мішків, а також маси мішка та всього борошна у даному штабелі [1].

При неправильному зберіганні у борошні відбуваються процеси, які викликають зниження її якості. Зберігають борошно при температурі 10-12<sup>0</sup>С та відносній вологості повітря 50-60%. В залежності від якості борошна ці умови можуть змінюватись. При зберіганні щойно змеленого борошна в сприятливих умовах її хлібопекарські якості покращуються. Такий процес називається дозріванням борошна.

При зберіганні борошно виділяє вологу, вуглекислий газ та тепло, в результаті чого підвищується вологість борошна та активізуються біохімічні процеси. Так, під дією кисню повітря знижується активність ферментів, що покращує якість білка та закріплює клейковину. Вона стає більш сильною: підвищується її вологість, зменшується її розтяжність та розпливчастість. Все це позитивно впливає на слабке борошно, яке після 1,5-2 місяців зберігання, як правило, здобуває властивості середнього борошна. При зберіганні підвищується водопоглинаюча здатність борошна, так як сильне борошно вбирає вологи більше, ніж середнє або слабке.

Жир борошна під дією ферментів при тривалому зберіганні частково розпадається на гліцерин та жирні кислоти. При більш глибокому окислюванні жиру борошно здобуває неприємний запах та смак.

При підвищенні вологості борошна до 16-17% починають активізуватися ферменти, мікроорганізми, що призводить до підвищення кислотності, з'явленню затхлого запаху та злежування борошна у грудки, а також розмноженню комах-шкідників. Оптимальна вологість борошна 14-15% [3].

*Дріжджі.* Їх використовують у хлібопеченні для розпушення тіста. Вони мають овальну або кулясту форму, розмножуються в середовищі, яке вміщує цукор.

*Сіль.* Поварену сіль використовують в кількості від 1 до 2,5% маси борошна. Сіль повинна бути чистою, без сторонніх домішок та запаху. Вона додає хлібним виробам нормальний смак та покращує якість тіста, яке стає менш розпливчастим та більш еластичним [2, 3].

По способу обробки харчова сіль може бути мілкокристалічною – виварена молота або немелена; кормовою – маса брили 3-50 кг; дробленою, або зерновою, - розмір зерна до 40 мм.

По якості сіль ділять на 4 сорти: екстра, вищий, I та II (в залежності від складу в ній хлориду та домішок). Наявність натрію хлориду в повареній сілі різних сортів коливається від 96,5 до 99,2%, нерозчинного залишку від 0,05 до 0,9%. Вологість кормової сілі – 0,5-0,8%, вивареної – 0,5-6,0% [1, 3].

Зберігають сіль у чистих сухих приміщеннях при відносній вологості повітря не більше 75% [2]. Сіль легко поглинає вологу та при тривалому зберіганні втрачає сипкість, злежується у грудки.

## **1.2 Обґрунтування мети і визначення завдань**

Одним з початкових етапів виготовлення хлібобулочних виробів є дозування борошна (див. рис. 1.1). Неправильне дозування борошна може призвести до недотримання технологічного процесу виготовлення хлібобулочних виробів, і як наслідок, не якісної продукції та матеріальних витрат підприємства. Це може трапитись якщо процес дозування борошна

виконують вручну за допомогою звичайних ваг. Тому доцільним є автоматизувати процес дозування борошна.

Таким чином, метою роботи є підвищення технологічної і енергетичної ефективності процесу дозування борошна, шляхом створення системи автоматичного керування процесом дозування при виготовленні хлібобулочних виробів.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

1. Виконати аналіз процесу дозування при виготовленні хлібобулочних виробів;
2. Розробити структуру системи автоматизованого дозування борошна;
3. Дослідити систему на якість;
4. Здійснити вибір оптимізованих параметрів регулювання системою керування процесом дозування;
5. Розробити алгоритм роботи, структурну, функціональну та принципову електричні схеми автоматизованої системи керування процесом дозування борошна, яка містить пристрої, що відповідають нормам проектування.

### **1.3 Висновки до розділу**

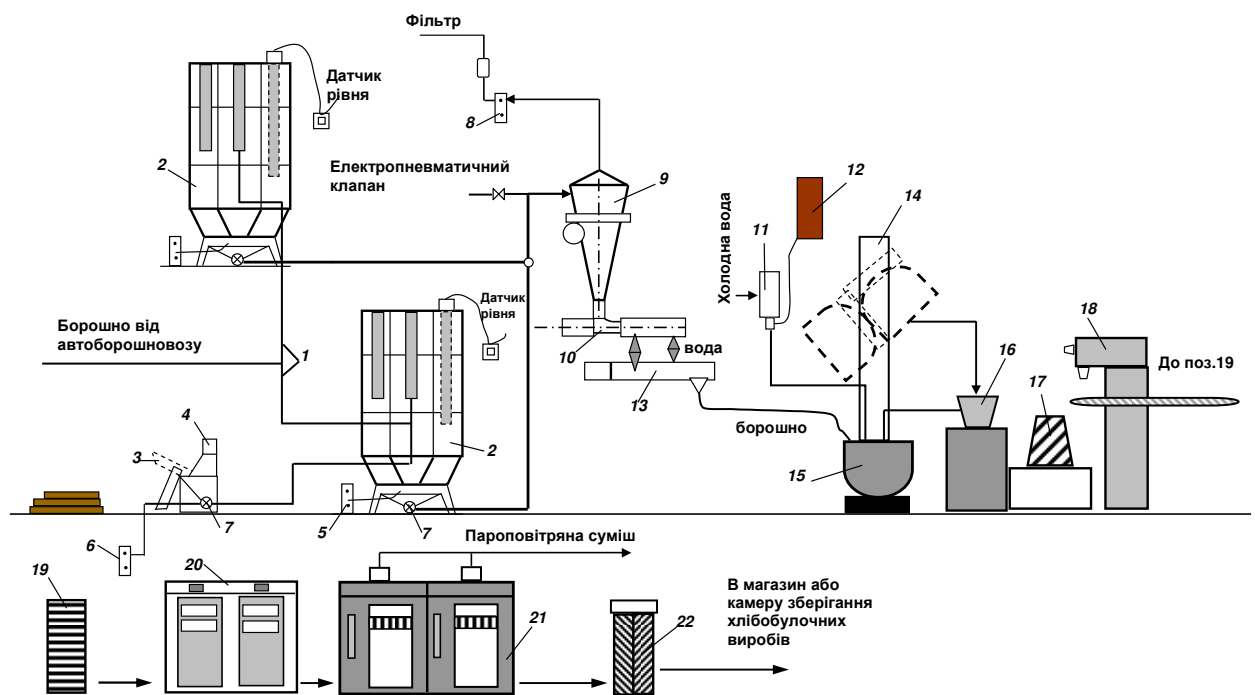
Виходячи з наведеного в даному розділі можна зробити наступні висновки:

1. Одним головних етапів при виготовленні хлібобулочних виробів є процес дозування борошна, оскільки борошно є основною сировиною при виготовленні хлібобулочних виробів.
2. Запропоновано автоматизувати процес дозування борошна.
3. Обґрунтовано мету роботи та поставлено завдання, які необхідно виконати для досягнення мети.

## 2. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ З АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ДОЗУВАННЯ СИПКИХ КОМПОНЕНТІВ В ХЛІБОПЕКАРСЬКІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

### 2.1. Машино-апаратурна схема виробництва хлібобулочних виробів

Для забезпечення механізованого та автоматизованого виробництва типове обладнання у відповідності з прийнятою технологією представляють у вигляді машинно-апаратурної схеми (рис. 2.1) [1, 2].



**Рисунок 2.1 – Машинно-апаратурна схема виробництва  
хлібобулочних виробів:**

- 1- розвантажувальний рукав; 2 – бункер безтарного зберігання;  
3 – лантухопідійомник; 4 – засипний пристрій; 5,6 – компресори; 7 – живильник; 8 – вакуум-компресор; 9 – бункер дозатора-просіювача; 10 – просіювач;  
11 – дозатор-регулятор температури води; 12 – електричний бойлер;  
13 – поворотний шнек; 14 – підійомник; 15 – тістомісильна машина;  
16 – тістоділильна машина; 17 – тістоокруглююча машина; 18 – шафа попереднього вистоювання; 19 – контейнери; 20 – шафа остаточного вистоювання; 21 – піч з електрообігріванням; 22 – контейнери з дерев'яними лотками*

Розглянемо схему за допомогою якої можна забезпечити виготовлення хлібобулочних виробів [1].

Борошно з машин, що його доставляють через розвантажувальний рукав 1 поступає у бункер безтарного зберігання 2, звідки за допомогою розрідження, що створює вакуум-компресор 8, подається у бункер 9 дозатора-просіювача, де зважується задана доза, після цього автоматично відключається подача борошна. Відмірена порція борошна проходить через просіювач 10, який встановлено під бункером-автоборошноміром, та за допомогою поворотного шнека 13 подається у діжу тістомісильної машини.

У випадку прийому борошна у лантухах передбачені лантухопідйомник 3 та засипний пристрій 4 з живильником 7. подача стиснутого повітря виконується від компресора 6 – для транспортування борошна та компресора 5 – для її аерації у бункерах. Компресор 8 забезпечує подачу відпрацьованого повітря на фільтри.

Автоматичний дозатор-регулятор температури води 11 за встановленими на шкалі параметрами температури та кількості підігріває воду до визначеної температури, відміряє і подає її порцію в діжу. Дозатор-регулятор має цифрову індикацію кількості і температури води. Гаряча вода подається від електричного бойлера 12.

Тісто замішується в діжі тістомісильної машини 15. Завдяки спіралевидній формі робочого органу машини і відповідній частоті обертання, тісто отримує значну механічну обробку. Після замісу діжа піднімається підйомником 14 і тісто з неї подається на обробку.

Замішане тісто попадає у воронку тістоділильної машини 16, ділиться на шматки заданої маси, які поступають у тістоокруглюючу машину 17.

Округлені шматки подаються у шафу попереднього вистоювання 18, в якій підтримуються визначені параметри середи вистоювальної камери (температура і відносна вологість). Шафа має люлечний конвеєр, на кожній люльці по вісім комірок, у які вкладаються округлені шматки тіста для вистою. Потім заготовки стрічковим конвеєром подаються у тістоформуючу машину.

Листи з укладеними заготовками поміщаються уручну в контейнери 24, які направляються у шафу остаточного вистою 20, звичайно розміщену поряд з печами. У шафу входять чотири контейнера, що забезпечує вистій заготовок за часом у двоє більше, ніж тривалість випічки. Так, при випічки виробу на протязі 22-23 хв. вистій заготовок тіста триває 44-46 хв [1-3].

Для випічки виробів контейнер з заготовками викочується з шафи вистоювання і уводиться в піч 21 з електрообігріванням. Вироби випікаються в пекарській камері при обертанні контейнера навколо своєї осі, це дозволяє забезпечити рівномірну температуру по всій пекарській камері. Електропіч і шафа остаточного вистоювання мають прилади, за допомогою яких встановлюються та підтримуються визначені параметри (температура, вологість, час) для вистою заготовок та випічки виробів.

Контейнери мають ходову частину з чотирьох коліс, за допомогою яких переміщаються від формуючої машини у шафу вистоювання, потім у піч і з неї – у хлібосховище. В пекарні також використовуються візки для зберігання та транспортування листів.

Випечені вироби перекладаються в контейнер 25 з дерев'яними лотками і направляються у торговий зал магазину для продажу або відправляються у автофургоні у найближчій магазин.

Процес дозування борошна, згідно схеми (рис. 2.1), є досить громіздким та немає можливості дистанційно керувати процесом дозування. Тому виникає потреба у розробці системи автоматизованого керування процесом дозування борошна.

## **2.2. Обладнання для дозування сировини**

### **2.2.1. Основні способи дозування**

Основне призначення дозуючих пристроїв - забезпечити задана кількість матеріалу по масі (чи підтримка заданої витрати компонента) з визначеною точністю. Дозування компонентів є однією з найважливіших операцій технологічного процесу готування тіста.

До дозаторів висуваються наступні основні вимоги [4-6]: визначена точність дозування компонентів; висока продуктивність; простота конструкції і висока надійність роботи вузлів дозатора і його системи управління; можливість створення автоматичних комплексів, що дозволяють здійснювати заміс тестових напівфабрикатів по заданій технологічній програмі.

За структурою робочого циклу дозування буває неперервним або порційним, а за принципом дії - об'ємним чи ваговим.

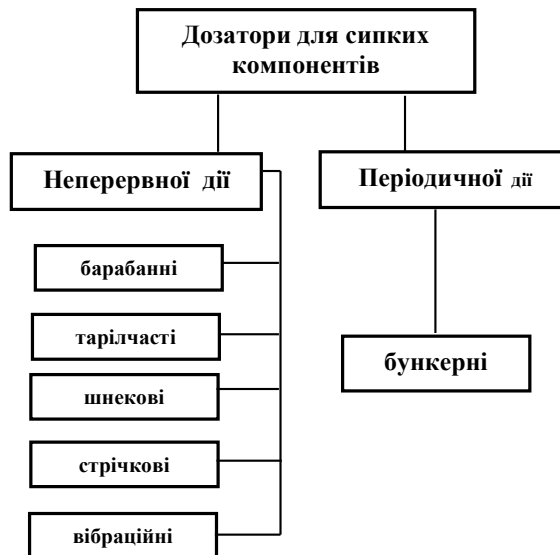
Для порціонного дозування характерно періодичне повторення циклів випуску дози (порції) компонента. При порціонному об'ємному способі дозуюче устаткування звичайне відмірює порцію за допомогою мірної камери заданого обсягу. Порціонне вагове дозування засноване на відмірюванні дози визначеної маси. При неперервному об'ємному дозуванні дозатор подає потік матеріалу з заданою об'ємною витратою.

Ваговий спосіб дозування, як правило, забезпечує велику точність, тому для дозування основного компонента тіста - борошна, як при неперервному, так і порціонному тістоприготуванні усі у великій мері використовують вагові дозатори.

Об'ємний спосіб дозування конструктивно більш простий, тому дозатори, засновані на цьому принципі роботи, більш надійні. Застосування об'ємного методу істотно спрощує процес дозування рідких компонентів. Разом з цим, об'ємне дозування нерідке характеризується більш значною погрішністю у величині видаваних доз, що в окремих випадках може обмежити його застосування.

Спрощена класифікація дозаторів сипких компонентів за структурою робочого циклу та конструктивним ознаками має вигляд (рис. 2.2) [4].

У хлібопекарській промисловості застосовується систематичне дозування декількох різних видів сировини, тому раціонально застосування багатокомпонентних дозуючих пристроїв.



**Рисунок 2.2 – Спрощена класифікація дозаторів сипких компонентів**

Такі установки можуть працювати в автоматичному режимі, а функції обслуговуючого персоналу зводяться до спостереження і контролю точності роботи установки. Подібні багатокomпонентні системи застосовуються як для порційного, так і для безупинного дозування об'ємним чи ваговим методом.

Перша схема використовується найчастіше при порційному тістоприготуванні і є досить простою і економічною. Вона забезпечує меншу металомісткість та компактність установки. Однак тривалість загального циклу дозування через послідовне відмірювання компонентів велика. Це може знижувати продуктивність тістовиготовлювального обладнання.

Друга схема використовується при неперервному, або порційному замісі тістових напівфабрикатів. Вона дозволяє найбільш повно застосувати кожен дозатор, враховуючи особливі властивості компонента, що дозується і, тим самим, підвищити точність дозування. Водночас необхідно враховувати, що дозувальні станції такого типу більш громіздкі та мають вищу вартість.

### 2.2.2. Дозування борошна

Для об'ємного дозування борошна використовують барабанні, тарілчасті, шнекові, стрічкові та вібраційні дозатори [2, 4, 6].

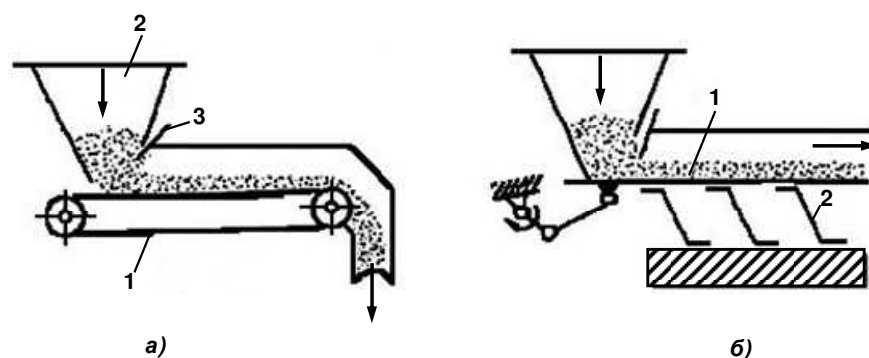
Барабанний дозатор. Робочий орган розташований у корпусі і має декілька кишень-комірок, які заповнюються матеріалом під дією сили тяжіння. При регулюванні продуктивності змінюють об'єм кишень або частоту обертання барабана. З кишень борошно поступає у вихідний патрубок дозатора.

Тарілчастий дозатор представляє собою горизонтальний обертовий диск (таріль), з якого матеріал скидається шкребком, висота шару матеріалу регулюється пересувною манжеткою, яка перекриває вихідний патрубок бункера. Матеріал розташовується на тарелі усіченим конусом, розміри якого залежать від висоти розташування манжети.

Шнековий дозатор представляє собою короткий шнек у корпусі, який забирає матеріал з бункера. Продуктивність дозатора може регулюватися частотою обертання шнека.

Стрічковий дозатор (рис. 2.3а) є коротким стрічковим конвеєром 1, який розташований під живильним бункером 2. Подачу матеріалу можна регулювати переміщенням заслінки 3 або зміною швидкості конвеєра.

Вібраційний дозатор (рис. 2.3б) має робочий орган у вигляді коливного лотка 1, підвішеного на гнучких опорах 2. При вібрації лотка сипучий матеріал переміщується у повздовжньому напрямленні.



**Рисунок 2.3 – Дозатори об'ємного типу:**

*а-стрічковий; б-вібраційний*

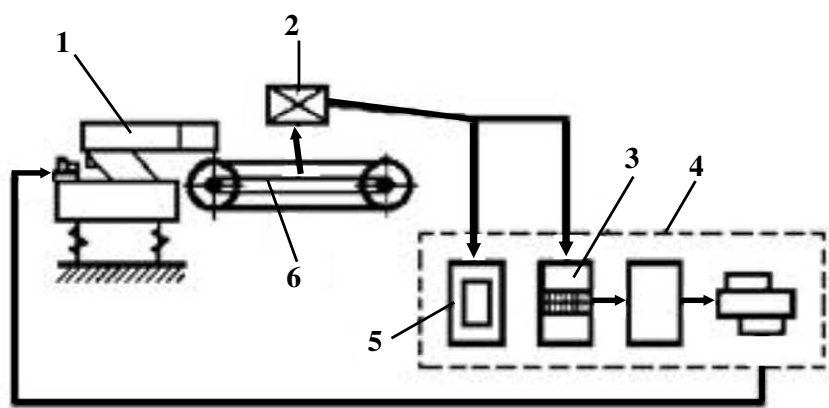
Вагові дозатори при порційному і неперервному тістоприготуванні. Дозатори періодичної дії засновані, як правило, на використанні квадрантних або підоймових вагових механізмів.

У порційному дозаторі для сипучих компонентів на призмах малого плеча вантажеприймаючого важеля підвішений бункер з дном, яке відкривається. Велике плече за допомогою тяг та проміжного важеля зв'язано з циферблатним вказівним пристроєм, на якому встановлені датчики грубої та точної маси, датчик нульового положення стрілки. На великому плечі розташована також противага.

Керування живильника та виконавчого механізму відкривання дна бункера виконується за сигналами датчиків.

При включенні дозатора починає працювати живильник з повною продуктивністю. По мірі заповнення бункера стрілка, переміщуючись за циферблатом, досягає датчика грубого зважування маси, який переводить живильник у режим малої продуктивності – досипки. При досяганні точної маси датчик дає команду на відключення живильника та відкриття дна бункера.

Дозатор неперервної дії (рис. 2.4) забезпечує високу точність дозування при неперервних процесах тістовиготовлення.



**Рисунок 2.4 – Дозатор борошна вагового типу**

Живильник 1 подає продукт, який необхідно дозувати на короткий конвеєр 6, який рухається з постійною швидкістю. Маса продукту на конвеєрі безперервно перетворюється ваговим пристроєм 2 у пропорційний електричний

або пневматичний сигнал, який поступає в систему реєстрації та автоматичного управління 4, інтегруючий 5 та реєструючий 3 пристрої. Ця система забезпечує задану продуктивність живильника [1, 2] .

Бункерні вагові дозатори відрізняються від стрічкових вагових дозаторів неперервної дії тим, що можуть використовуватися для сипких компонентів та рідини.

Підтримання постійної витрати компонента у неперервних дозаторах бункерного типу виконується системою автоматичного регулювання.

Особливість дозаторів бункерного типу у тому, що в них неперервна витрата компонента виконується при періодичній завантаженні вагового вантажоприймаючого бункера.

Крім того, у неперервних вагових дозаторах забезпечується простота настройки та перевірки. З врахуванням всіх порівняльних даних у теперішній час найбільш широке розповсюдження у промисловості для дозування сипких компонентів здобули стрічкові вагові дозатори [1, 2, 4, 6]

Автоматичне зважування та дозування має у технологічних процесах виробництва обумовлює можливість створення неперервних поточних ліній та комплексів, які керуються оператором з пульта керування за заданою програмою, з автоматичним дозуванням матеріалів в заданому співвідношенні при зміні їх об'ємної маси, відповідно вимогам рецептури або з корекцією за показниками якості, температури, тиску, витрати та інше.

### **2.3. Висновки до розділу**

Отже, після усього вище наведеного видно що, розробка і дослідження системи автоматичного керування процесом дозування борошна є необхідним, тому що можливість автоматично керувати продуктивністю системи набагато спрощує технологічний процес виготовлення хлібобулочних виробів.

### **3. РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ДОЗУВАННЯ БОРОШНА ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ**

#### **3.1. Опис та структура роботи системи**

Система що розробляється, призначена для автоматизованого керування процесом дозування борошна.

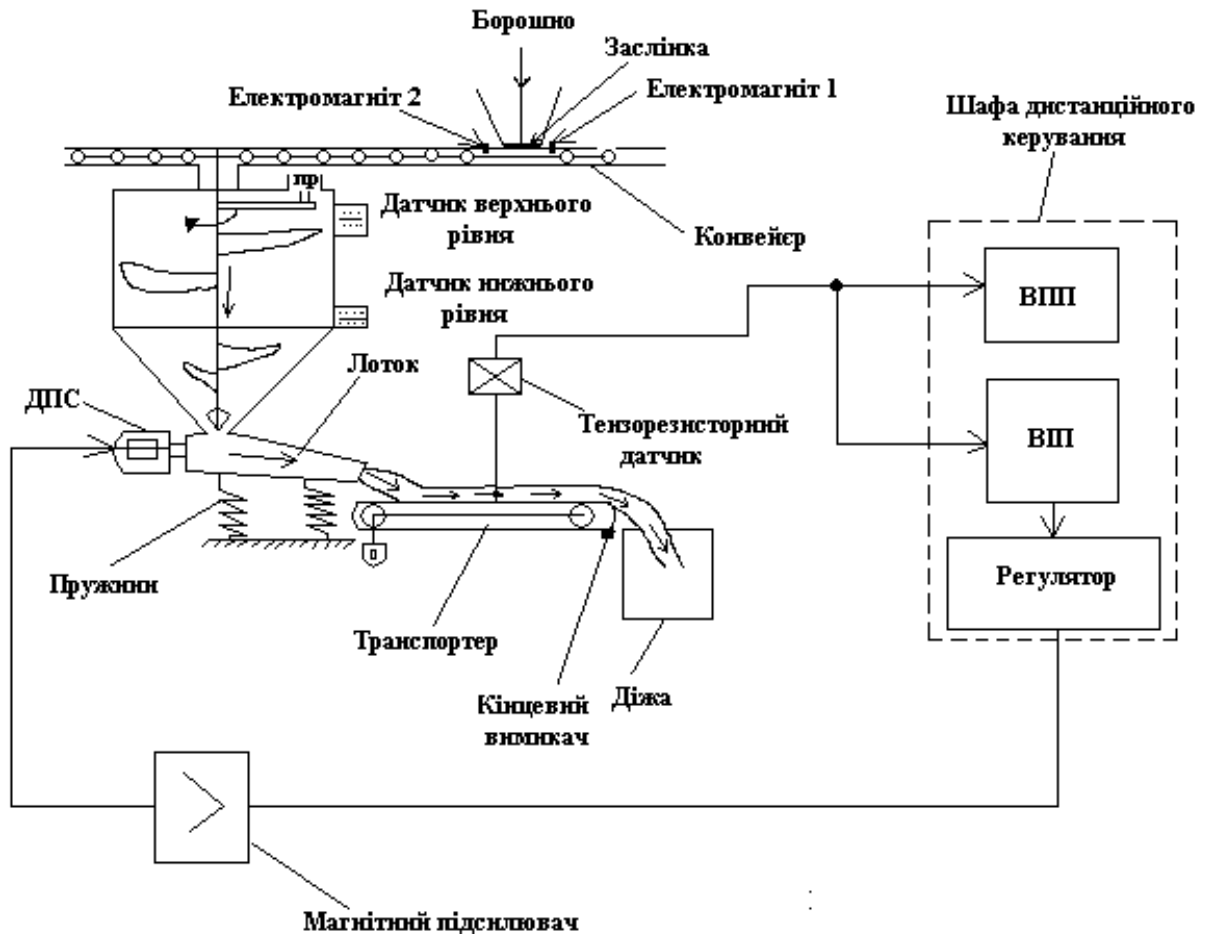
Основою даної розробки є система, яка повинна виконувати такі функції:

- за рахунок регулювання частоти віброживильника, за допомогою двигуна постійного струму (ДПС), регулювати продуктивність системи від 3 т/год. до 5 т/год.;
- за допомогою датчика ваги, який подає сигнал на привід, вмикати перегрівач, який знаходиться у бункері, з метою подачі борошна з бункера;
- за рахунок датчиків верхнього та нижнього рівнів, що розташовані у бункері, відкривати чи закривати заслінку ємкості, де знаходиться борошно;
- за допомогою тензорезисторного датчика перетворювати масу матеріалу на транспортері в електричний сигнал, який потім поступає на вторинні прилади показань на інтегрування;
- за рахунок використання ПІ-регулятора, подавати сигнал на магнітний підсилювач, а потім на ДПС живильника.

Неперервна зміна вагової витрати, продуктивності борошна буде виконуватись системою керування процесом дозування, яка складається з таких елементів: живильник, вантажеприймаючий пристрій, чутливий елемент (ЧЕ), вторинний прилад показань, вторинний інтегруючий прилад, вторинний прилад реєстрації, регулюючий блок та виконавчий механізм.

Збурюючими діями дозатора є зміна об'ємної маси матеріалу  $\Delta\gamma$  за час  $t$ , так як  $\gamma = \gamma(t)$  зміни завдання, та нестабільність живлення (тиск повітря, напруга, струм) [4, 5].

На рис. 3.1 представлена схема загального вигляду автоматизованої системи керування процесом дозування борошна.



**Рисунок 3.1 – Автоматизована система керування процесом дозування:**

*ДПС – двигун постійного струму; ВПП – вторинний перетворюючий прилад; ВІП – вторинний інтегруючий прилад*

Принцип роботи системи полягає у регулюванні частоти коливань лотка живильника за допомогою ДПС. Робота системи починається із спрацювання кінцевого вимикача, який подає сигнал на ДПС живильника та транспортера. З лотка живильника, частота якого регулюється, матеріал надходить на стрічку транспортера, який рухається з постійною швидкістю. Маса матеріалу на стрічці транспортера перетворюється тензорезисторним датчиком у електричний сигнал, який далі прямує на вторинні прилади. Далі сигнал йде на регулятор, який має визначені параметри настройки. Потім підсилюється магнітним підсилювачем, і, надходить на ДПС живильника. Цей двигун

регулює частоту коливань лотка до заданої величини. З транспортера матеріал зсипається у діжу із поділками.

Тензорезисторний датчик також подає сигнал на ДПС перегрібача, щоб виконати досипку матеріалу зі стінок бункера. Цей сигнал виникає тоді, коли маса на стрічці транспортера не відповідає заданому значенню. При цьому загорається сигнальна лампа, яка свідчить, що необхідно натиснути кнопку запуску приводу перегрібача.

Датчики верхнього та нижнього рівнів передбачені для того, щоб контролювати вміст бункера. Вихідний сигнал з датчика подається на керуючі контакти реле, в результаті чого відбувається замикання контактів потужного виконавчого кола, по обмотках електромагніту протікає струм і заслінка або зачиняється, або відчиняється.

Робота системи припиняється тоді, коли спрацює кінцевий вимикач. Кінцевий вимикач спрацює тоді, коли діжу відкотять від транспортера. В залежності від кількості необхідного для подальшого техпроцесу матеріалу, час роботи системи є різним.

Джерелом живлення системи є стандартна мережа з напругою 380 В та частотою 50 Гц.

## **3.2. Обґрунтування та вибір основних складових системи**

### **3.2.1. Віброживильник**

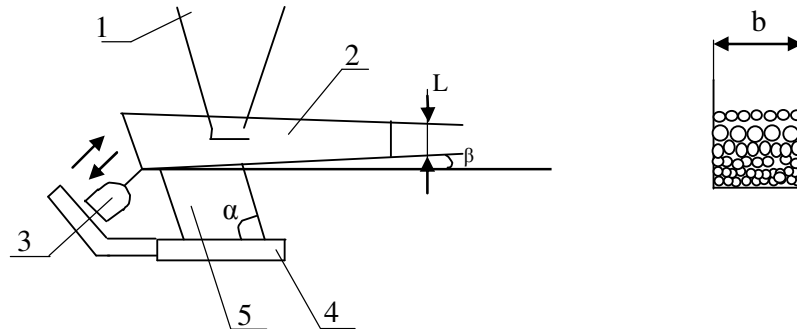
Реальні конструкції живильників спроможні досягти високих показників рівномірності потоку за рахунок підбору їх параметрів та режимів роботи [2, 6, 9, 10]. Найбільш гнучким у регулюванні є віброживильника (рис. 3.2а).

В разі зміни частоти коливань і напрямку дії сили вимушених коливань є можливість досягнення самосортування (рис. 3.2б), тобто розділення часток по вазі та розмірам в товщині слою дозованого матеріалу [6, 9].

Важливим напрямком вдосконалення вібростатів є використання центробіжних сил замість сил тяжіння та вібраційних полів, які дають змогу

реалізувати принцип протитоку матеріалу [7].

Таким чином використовуючи віброживильника маємо можливість, регулюючи частоту коливань і параметри конструкції, отримувати різні потоки матеріалу, з різними показниками рівномірності.



**Рисунок 3.2 – Віброживильник:**

*1 – бункер накопичувач; 2 – лоток; 3 – ДПС;*

*4 – нерухома основа; 5 – пружини*

Динамічна характеристика віброживильника має наступний вигляд [9]:

$$Q = kQ_{\text{ex}}(t - \tau_1) \quad (3.1)$$

звідки передаточна функція віброживильника буде мати вигляд:

$$W_{\text{жс}}(p) = k_{\text{жс}} e^{-p\tau_1} \quad (3.2)$$

де:  $\tau_1 = \frac{v}{L_{\text{роб}}} = \frac{ka\omega \cos \alpha}{L_{\text{роб}}} = 2.6 \text{ с}$  – час чистого запізнення;

$L_{\text{роб}}$  – робоча довжина лотка живильника;

$k$  – коефіцієнт, що залежить від властивостей матеріалу;

$a$  – амплітуда коливань;

$\omega$  – частота вимушених коливань;

$\alpha$  – кут нахилу пружин [8, 12, 14].

Побудуємо графік перехідного процесу віброживильника (рис. 3.3).

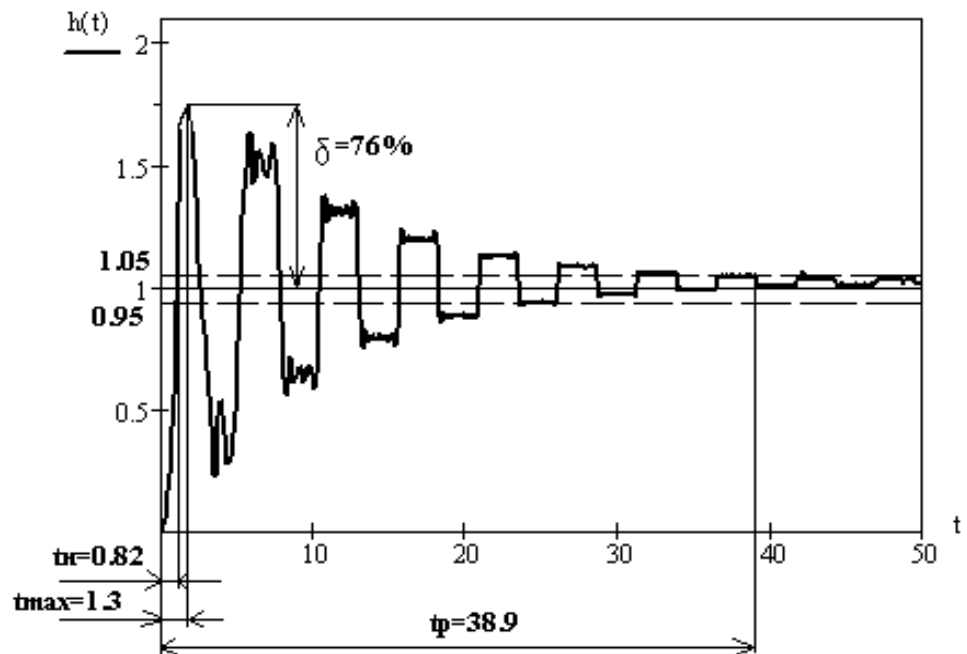
Регульована величина в часі при подачі на вхід системи одиничного ступінчастого діяння описується залежністю [10-12]:

$$h(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} P_s(\omega) \cdot \frac{\sin(\omega t)}{\omega} d\omega \quad (3.3)$$

де  $P_s(\omega)$  - дійсна частотна характеристика замкнутої системи;

$\omega$  - частота.

Перехідний процес віброживильника має вигляд, який наведено на рис. 3.3.



**Рисунок 3.3 – Графік перехідного процесу віброживильника**

Дані для побудови перехідного процесу зведемо у табл. (3.1)

**Таблиця 3.1 – Значення перехідної функції  $h(t)$**

|             |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
|-------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| <b>t, c</b> | 0.1   | 1.3  | 2.1  | 3.5  | 4    | 4.6  | 5.9  | 8.2  | 10.7 | 15.4 | 18   | 20.6 | 23.3 | 26 |
| <b>h(t)</b> | 0.006 | 1.76 | 1.68 | 0.24 | 0.53 | 0.31 | 1.63 | 0.57 | 1.37 | 0.76 | 1.23 | 0.88 | 1.14 | 1  |

З побудованого перехідного процесу можна наступні прямі показники якості віброживильника:

- час регулювання  $t_p = 38.9$  с;
- перерегулювання  $\delta = 76\%$ ;
- час досягнення першого максимуму  $t_{max} = 1.3$  с;
- час наростання перехідного процесу  $t_n = 0.82$  с.

### 3.2.2. Транспортёр

У вимірювальний та реєструючий ланцюги стрічкових дозаторів неперервної дії поступає сигнал, пропорційний зусиллю, яке сприймає силовимірювач. Для перетворення вагової витрати в указане зусилля, використовується вантажеприймаючий транспортёр, який є у даному випадку джерелом інформації, від вірогідності якої залежить робота наступних ланок та вагового дозатора в цілому.

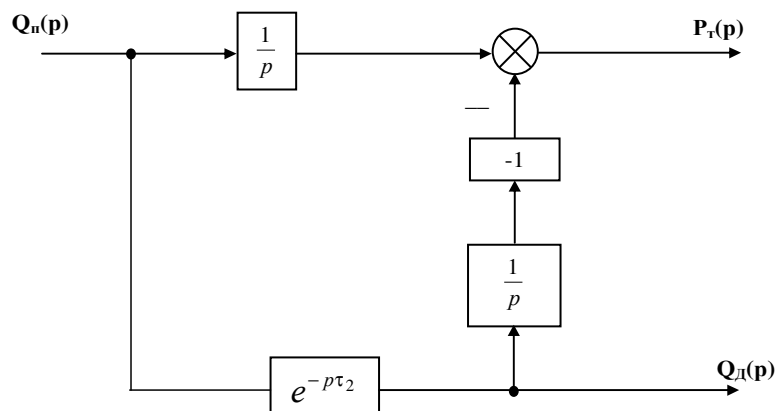
У наш час найбільш розповсюдженими є чотири типи стрічкових дозаторів, які відрізняються методом передачі навантаження:

- транспортёр, який повністю передає на силовимірювач зусилля, що пропорційне навантаженню матеріалу, який на ньому знаходиться;
- транспортёр, що представляє собою важіль з нерухомою опорою, на яку здійснюється подача матеріалу з живильника, зусилля на силовимірювач передається з точки зсипання транспортёра;
- транспортёр-важіль, на який подача матеріалу та зусилля на силовимірювач здійснюється у точці потрапляння матеріалу на транспортёр;
- транспортёр нерухомий з вантажеприймаючий пристроєм у вигляді однієї рухомої ролюкоопори, що підвішена на ваговий датчик.

Ваговий транспортёр має один вхід – продуктивність живильника  $Q_{\text{л}}(t)$  та два виходи – зусилля (сила тяжіння), що передається на датчик, та продуктивність дозатора  $Q_{\text{д}}(t)$ , яка дорівнює продуктивності на виході транспортёра  $Q_{\text{т}}(t)$ . При аналізі та синтезі системи витрати найбільший інтерес

представляють динамічні характеристики по каналу продуктивність живильника – зусилля.

Динамічні властивості вагового транспортера, який повністю передає зусилля, зображені на структурній схемі, яка представлена на рис. 3.4, чотирма елементарними ланками. Насипання матеріалу на транспортер, який рухається безперервно з постійною швидкістю представлено інтегруючою ланкою з передаточною функцією  $1/p$ .



**Рисунок 3.4 – Стрічковий транспортер. Схема структурна**

На основі аналізу структурної схеми (рис. 3.4) та матеріального балансу можна отримати відповідну передаточну функцію. Транспортування та зсипання матеріалу з транспортера відображається трьома послідовно включеними ланками: чистого запізнення, значення якого дорівнює часу перебування матеріалу на транспортері ( $\tau_2 = L_T / v_T = 4.7$  с), інтегруючою та інвертуючою (оскільки зсипання веде до зменшення маси матеріалу). Маса матеріалу на стрічці транспортера [9]:

$$M_{\kappa}(t) = \int_{t-\tau}^t Q_d(t) dt. \quad (3.4)$$

Після перетворення отримуємо передаточну функцію транспортера по каналу продуктивність живильника – зусилля, що пропорційне масі матеріалу на транспортері:

$$W_T(p) = \frac{Q_n(p)}{Q_d(p)} = \left( \frac{1}{p} \right) + \left( \frac{-e^{-p\tau_2}}{p} \right). \quad (3.5)$$

Для даної системи було обрано стрічковий конвеєр-транспортер ЛТ-12-400, виробник «4Build», Україна. Відомо такі параметри транспортера [25]:

$k_1 = 1.25$  - коефіцієнт, який враховує конструкцію підшипників;

$k_2 = 0.03$  В – коефіцієнт, який враховує ширину стрічки, м/с;

$k_3 = 1.25$  – коефіцієнт, який залежить від довжини стрічки транспортера (при  $l < 15$  м);

$L_1 = 3.7$  м – довжина горизонтальної проекції транспортера (довжина переміщення матеріалу);

$L_2 = 4$  м – довжина транспортера;

$Q = 4.3$  т/год – продуктивність транспортера;

$H = 0.65$  м – висота подачі матеріалу;

$\eta_n = 0.107$  – ККД передачі.

$v_T = 0.85$  м/с – швидкість стрічки транспортера

Потужність електродвигуна транспортера визначається [7, 12]:

$$P = (k_1 k_2 L_1 v_T + 15 \cdot 10^{-5} Q L_2 + 27 \cdot 10^{-4} Q H) k_3 / \eta_n. \quad (3.6)$$

Підставивши значення отримаємо:

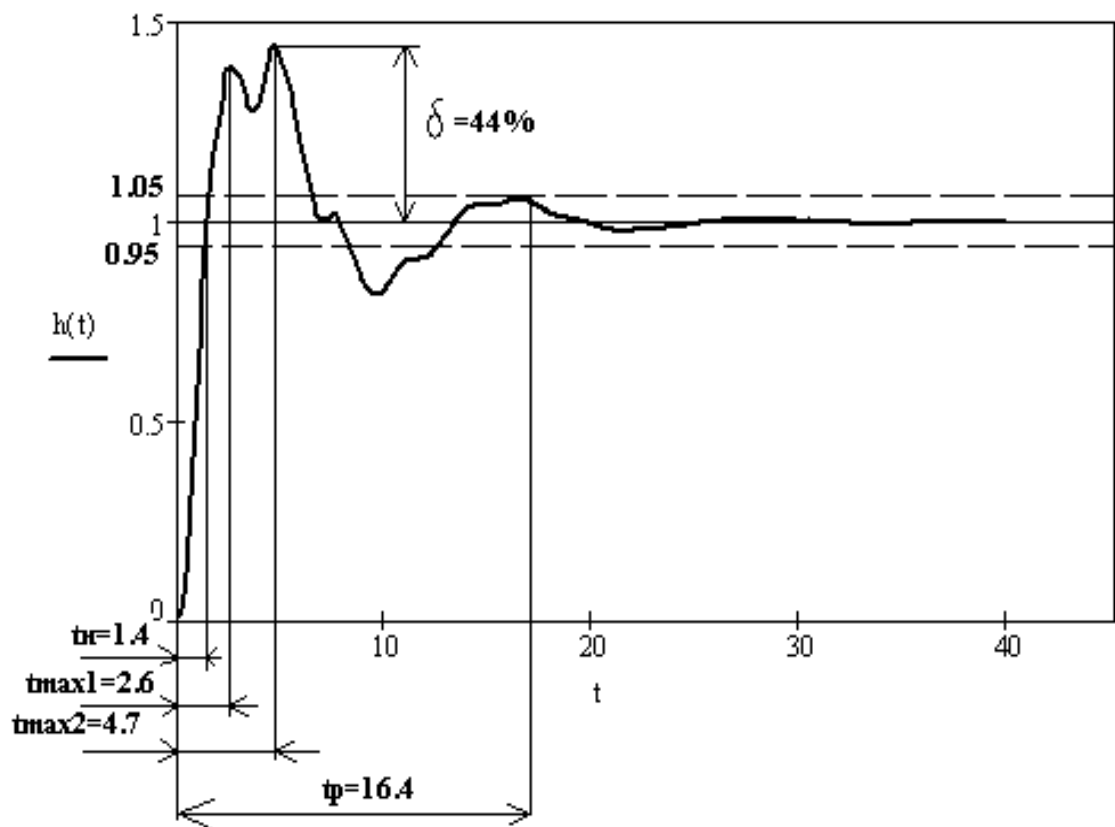
$$P = (1.25 \cdot 0.03 \cdot 3.7 \cdot 0.85 + 15 \cdot 10^{-5} \cdot 4.3 \cdot 4 + 27 \cdot 10^{-4} \cdot 4.3 \cdot 0.65) 1.25 / 0.107 = 1.52 \text{ кВт.}$$

Найкращим показником якості транспортера є перехідний процес. Дані для побудови перехідного процесу транспортера зведемо у табл. 3.2.

**Таблиця 3.2 – Значення перехідної функції  $h(t)$   
стрічкового конвеєра-транспортера**

|             |       |     |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|-------|-----|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>t, c</b> | 0.1   | 1.4 | 2.6  | 3.7  | 4.7  | 7.1 | 9.6  | 12.2 | 14.3 | 16.4 | 21.5 | 26.5 | 33   |
| <b>h(t)</b> | 0.006 | 1   | 1.39 | 1.28 | 1.44 | 1   | 0.82 | 0.92 | 1.04 | 1.05 | 0.98 | 1    | 0.99 |

Графік перехідного процесу транспортера зображено на рис. 3.5.



**Рисунок 3.5 – Перехідний процес стрічкового  
конвеєра-транспортера ЛТ-12-400**

З побудованого перехідного процесу можна наступні прямі показники якості транспортера:

- час регулювання  $t_p = 16.4$  с;
- перерегулювання  $\delta = 44\%$ ;
- час досягнення першого максимуму  $t_{max1} = 2.6$  с;
- час досягнення другого максимуму  $t_{max2} = 4.7$  с;
- час наростання перехідного процесу  $t_n = 1.4$  с.

Частотні характеристики транспортерів покращуються при зменшенні часу перебування матеріалу на стрічці  $\tau$ . Однак, зменшення часу  $\tau$  має обмеження щодо конструкції системи, оскільки в цьому випадку знижується корисне

навантаження та відношення корисного навантаження до маси транспортера, що призводить до збільшення похибки вимірювання зусилля.

### 3.2.3. Датчики

Для побудови різних схем керування електричних автоматичних дозаторів неперервної дії можуть використовуватись струмові прилади. поряд з уніфікованими датчиками використовуються тензорезисторні датчики. Цей датчик використовується як елемент передачі та прийому телеметричної системи передачі сигналу. В дозаторах розробленої системи, тензодатчик використовується в якості чутливого елемента пружинного вагового механізму, що врівноважує, зв'язаного з блоком дистанційного керування, приладом продуктивності, що показує та реєструє.

Особливістю тензорезисторних дозаторів є можливість отримання таких конструктивних рішень, які б не мали обмежень, що властиві рычажно-механічним дозаторам, оскільки володіють підвищеною жорсткістю силовимірювальних елементів, малою інерційністю, малогабаритністю та невеликою металомісткістю конструкцій, дистанційністю передачі показань та іншими особливостями, що характеризують зручність включення тензорезисторних дозаторів у схему комплексної автоматизації. Крім того, тензорезисторні дозатори практично не потребують спеціальних умов, які б перешкоджали їх широкому використанню у промисловості.

Тензорезистори основані на існуванні лінійної залежності між деформацією вантажеприймаючого пружного елемента  $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$  та відносним значенням електричного опору дротового датчика  $\frac{\Delta R}{R}$  [22]:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta L}{L} s \text{ та } \frac{\Delta R}{R} = \varepsilon s, \quad (3.7)$$

де  $s$  – тензочутливість, яка визначається експериментально [22]:

$$s = \frac{\Delta R}{R} \cdot \frac{1}{\varepsilon}. \quad (3.8)$$

Тензочутливість є постійною величиною для даного матеріалу дроту і в невеликих межах змінюється в залежності від зміни геометрії решітки датчика.

Силівимірювальні тензорезисторні датчики випускаються різних типорозмірів на різні межі вимірювань [4, 6].

В якості чутливого елемента використовується цифровий тензодатчик QS-D, виробник KELI Sensor (Ningbo).

Його основні параметри наведені в табл. 3.3.

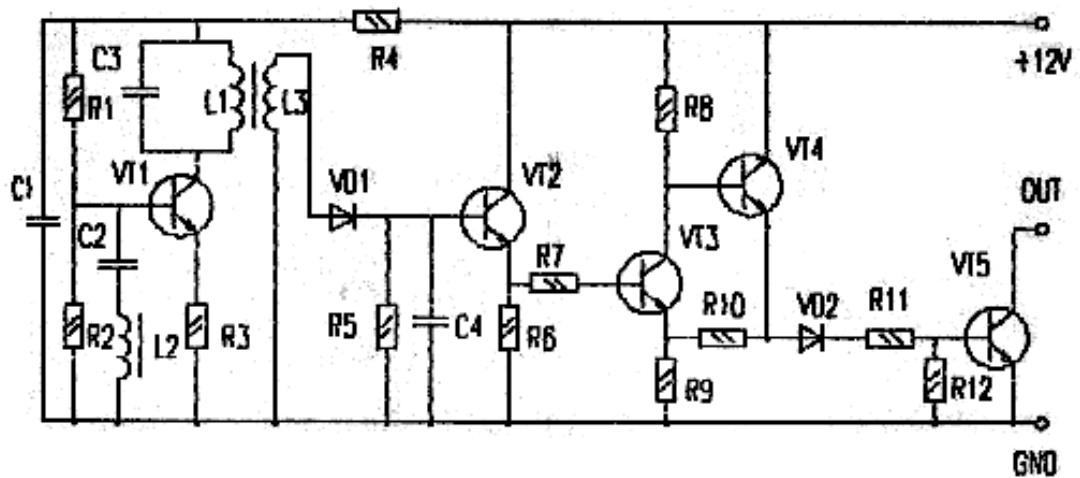
**Таблиця 3.3 – Параметри цифрового тензодатчика типу QS-D**

| № з/п | Параметр                                    | Значення              |
|-------|---------------------------------------------|-----------------------|
| 1     | Клас точності OIML R60                      | C3                    |
| 2     | Номінальне навантаження (E <sub>max</sub> ) | 10,15,20,25,30,40,50т |
| 3     | Повзучість (30хв.)                          | ±0,02%/F.S.           |
| 4     | Діапазонробочих температур                  | -30+70°C              |
| 5     | Швидкість передачі (BPS)                    | 9600                  |
| 6     | Максимальна напруга живлення (В)            | 20                    |
| 7     | Клас захисту                                | IP68                  |

Для спрацювання ДПС використовується вторинний перетворювач. Основне призначення вторинного перетворювача – подавати сигнали на виконавчі механізми. Зважаючи на вимоги, що ставляться до вторинних перетворювачів, які призначені для управління зміною частоти коливань віброживильника обираємо датчик, що серійно виготовляється типу ПЩ-6-1. Принципова схема датчика зображена на рис. 3.6, виробник ТОВ «Укрметавтоматика», м. Дніпропетровськ.

На транзисторі VT1 зібраний генератор синусоїдальних коливань. Якщо проміж котушками L1 і L3 немає металевої пластинки, то коливання, утворенні в контурі LIC3 наводяться в котушки L3 і випрямляються діодом VD1.

Відкриваються транзистори  $VT2$  і  $VT3$ , зачиняються транзистори  $VT4$  і  $VT5$ . На виході датчика сигнал одиниці.



**Рисунок 3.6 – Датчик типу ПЩ-6-1.**

#### **Схема електрична принципова**

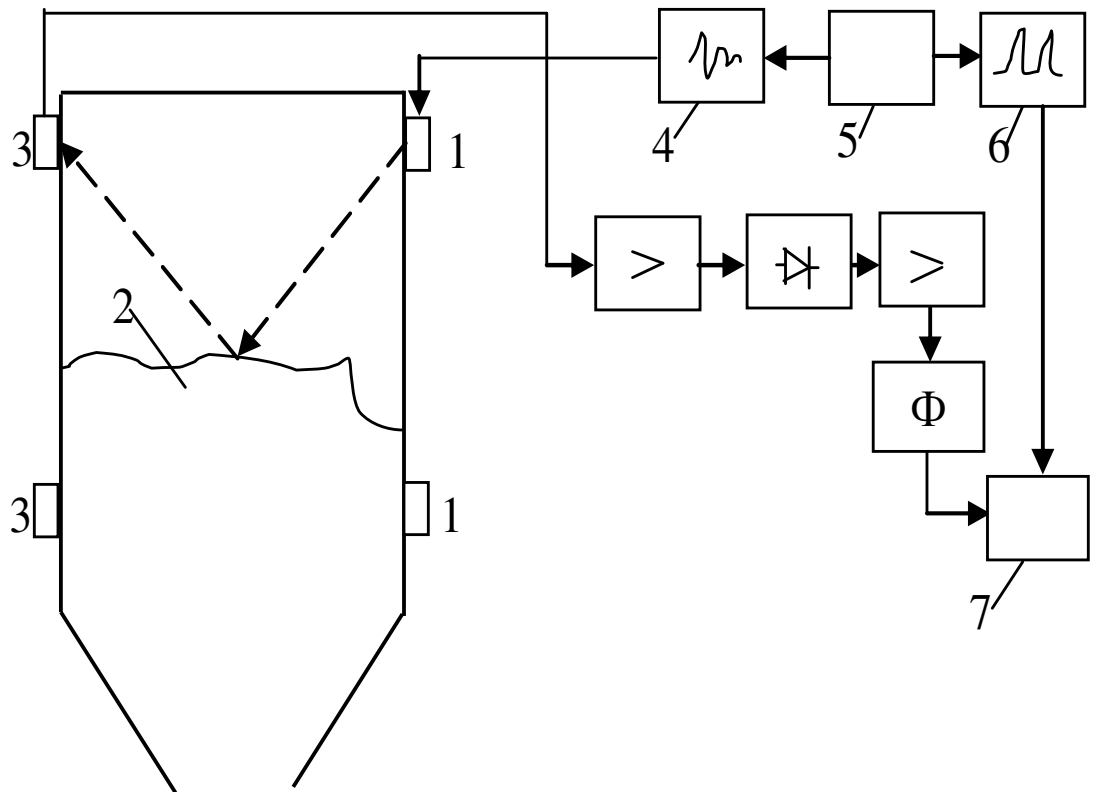
При введенні між котушками металевої пластини зв'язок між ними порушується і в котушці  $L3$  коливання не наводяться. Транзистори  $VT2$  і  $VT3$  закриваються, а транзистори  $VT4$  і  $VT5$  відкриваються. На виході датчика сигнал нуля.

Конструктивно датчик виконаний таким чином, що між котушками  $L1$  і  $L3$  є проріз в якому може вільно, без тертя, рухатись пластина. Датчик виконано герметично. Чутливість датчика складає  $\pm 3$  мм.

Також у системі передбачені датчики верхнього та нижнього рівнів. Потреба у використанні саме цих датчиків полягає в наступному:

- матеріал при заповненні та спорожнюванні бункера не утворює горизонтальну поверхню рівня; зовнішня поверхня матеріалу може бути розташована під кутом до  $30^0$ - $50^0$  до горизонталі (кут природного укосу);
- при спорожнюванні бункера можливі налипання матеріалу на стінках [22].

Для вирішення цих задач можна використати ультразвуковий датчик рівня сипких матеріалів, показаний на рис. 3.7. Для даної системи було обрано ультразвуковий датчик, технічні дані якого наведені в табл. 3.4.



**Рисунок 3.7. - Ультразвуковий датчик рівня сипких матеріалів**

**Таблиця 3.4 – Основні технічні дані ультразвукового датчика**

| Характеристика                            | Значення                 |
|-------------------------------------------|--------------------------|
| межі зміни рівня                          | до 6 м                   |
| частота повторення імпульсів, що зондують | 25 імп/сек               |
| напруга стабілізована                     | 220 В                    |
| частота                                   | 50 Гц                    |
| основна похибка                           | $\pm 5 \%$               |
| Допустима навколишня температура          | $\pm 30^{\circ}\text{C}$ |

Дія датчика (рис. 3.7) заснована на вимірюванні часу проходження ультразвуковим імпульсом, який зондує відстань від випромінювача 1 до контрольованої поверхні 2 і назад до приймача. Вимірювальна схема працює за принципом часової демодуляції. Ультразвукові коливання в магнітострикційному випромінювачі збуджуються імпульсним генератором ударної дії 4. Відбитий імпульс підсилюється, формується та подається у демодулятор 7. Синхронізатор 5 виконує одночасний запуск імпульсного генератора 4 та генератора пилоподібної напруги 6, вихід з якого подається також на демодулятор 7. З демодулятора знімається постійна напруга, яка пропорційна вимірювальному рівню.

#### 3.2.4. Підсилювач

Електронним підсилювачем називається пристрій, який призначено для підвищення потужності вхідного електричного сигналу до номінального значення, що забезпечує нормальне функціонування всього вузла, пристрою або системи. При цьому підсилення малопотужного вхідного сигналу досягається за рахунок енергії зовнішнього джерела живлення значно більшого рівня потужності [11, 13, 17, 19].

Всі електронні підсилювачі, як правило, є підсилювачами потужності. Однак, у ряді випадків основним показником є не величина потужності, а величина струму або напруги. Тому електронні підсилювачі умовно поділяють на підсилювачі напруги, струму та потужності [17, 19].

Підсилювач напруги забезпечує на навантаженні задану величину вихідної напруги. У такому режимі підсилювач працює при виконанні умов  $R_{ex} > R_i$  та  $R_n > R_{вих}$ , це забезпечує відносно великі зміни напруги на навантаженні при невеликих змінах струмів на вхідному та вихідному ланцюгах.

У режимі підсилення струму необхідно виконувати умови  $R_{ex} < R_i$  та  $R_n < R_{вих}$ , при яких забезпечується протікання струму заданої величини і вихідного ланцюга при малих значеннях напруги.

Для підсилювачів потужності умови узгодження вхідного ланцюга з джерелом вхідного сигналу та вихідного ланцюга з навантаженням для передачі максимальної потужності має вигляд:  $R_{ex} \approx R_i$  та  $R_{вих} \approx R_n$ .

По характеру зміни у часі вхідного сигналу розрізняють підсилювачі постійного та змінного струму. Для підсилювачів постійного струму характерна наявність підсилення при нижній частоті  $f_n=0$ . в свою чергу підсилювачі змінного струму поділяються на підсилювачі низької на високої частоти [29].

Також розрізняють підсилювачі операційні, однокаскадні, багатокаскадні, імпульсні, підсилювачі з трансформаторним зв'язком, з резистивно-ємнісним зв'язком, диференційні, балансні, магнітні (МПс) та ін [17, 19].

Серед різних типів підсилювачів, найбільш надійним та універсальним є магнітний підсилювач.

Дія МПс заснована на властивості дроселя насичення змінювати свою індуктивність під впливом підмагнічуючого струму, що в свою чергу обумовлюється нелінійним характером кривої намагнічування феромагнітних матеріалів.

Зовнішній зворотній зв'язок виконується подачею випрямленого робочого струму у спеціальну обмотку, включено так само, як і керуюча обмотка.

Однофазні МПс виконуються з двома пакетами заліза, магнітні потоки робочих обмоток обох пакетів по відношенню до обмотки керування, яка охоплює обидва пакета, направлені зустрічно, завдяки чому компенсується змінна ЕРС у ланцюгах керування.

Значення струму у робочому ланцюгу визначається її загальним опором. При відсутності насичення індуктивність робочих обмоток МПс велика; при протіканні струму в обмотці керування створюється (завдяки додатному зворотному зв'язку) насичення магніто проводу, індуктивність робочих обмоток знижується і струм у робочому ланцюгу різко збільшується. Цей принцип дії дроселя з підмагнічуванням використовується в МПс всіх систем.

При наладці МПс виконують наступні роботи: зовнішній огляд та перевірку відповідності МПс проекту; випробування ізоляцій обмоток;

вимірювання опорів обмоток постійному струму; перевірку полярності виводів обмоток; перевірку вентилів МПс.

З літератури [17-19, 21-23] відома передаточна функція МПс:

$$W_{mp}(p) = \frac{k_{mp}}{Tp + 1}, \quad (3.9)$$

де  $k_{mp} = 42$  - коефіцієнт підсилення МПс;

$T = 105$  с – постійна часу МПс.

Останню формулу можна використовувати для подальших розрахунків.

### 3.2.5. Регулюючий орган

Автоматичний регулятор – це засіб автоматизації, який отримує, підсилює та перетворює сигнал відхилення регульованої величини; він забезпечує підтримання заданого значення регульованої величини або зміни її значення по заданому закону [18].

Автоматичні регулятори класифікуються в залежності від призначення, принципу дії, конструктивних особливостей, типу використовуємої енергії та інше [18].

У відповідності з класифікацією автоматичних систем регулятори поділяють на [11, 14, 16, 18, 20, 24]:

- 1) стабілізуючі, програмні, екстремальні, слідкуючі;
- 2) реагуючі на відхилення регульованого параметра або збурюючої дії;
- 3) релейні, неперервної дії, імпульсні.

За конструктивними ознаками автоматичні регулятори поділяють на [14, 18, 24]: апаратні; приладні; агрегатні; модульні (елементні).

Питання щодо правильного вибору управляючого сигналу (неперервного або дискретного) вирішується на основі аналізу динамічних характеристик об'єкта регулювання. Найпростішим (приблизним) критерієм оцінки в цьому

випадку є відношення часу запізнення об'єкта  $\tau_l$  до його постійної часу  $T$ . так, при  $\tau_l/T < 0.2$  використовують релейний регулятор, при  $\tau_l/T > 0.2$  - регулятор неперервної дії або імпульсний. З п. 3.2.1 та 3.2.2 відомо, що  $\tau_l = 2.6$  с, а  $T = \tau_2 = 4.7$  с. Відношення цих величин дорівнює 1.81. Отже обираємо регулятор неперервної дії.

По закону регулювання бувають пропорційні, інтегральні, пропорційно-інтегральні (ПІ), диференціальні, пропорційно-диференціальні, пропорційно-інтегрально-диференціальні регулятори.

Обираємо ПІ-регулятор. Пропорційно-інтегральні регулятори спричиняють вплив на регулюючий орган пропорційно відхиленню та інтегралу від відхилення регульованої величини [18]:

$$\mu = k_p \varepsilon + \frac{1}{T_i} \int_0^t \varepsilon dt, \quad (3.10)$$

де  $\mu$  - вплив регулятора на об'єкт, направлений на ліквідацію відхилення регульованої величини від заданого значення;

$\varepsilon$  - вхідний вплив на регулятор, дорівнює відхиленню регульованої величини від заданого значення;

$k_p$  - коефіцієнт передачі регулятора, також є його параметром настройки;

$T_i$  - постійна часу інтегрування – параметр настройки регулятора.

Передаточна функція ПІ-регулятора визначається виразом [18]:

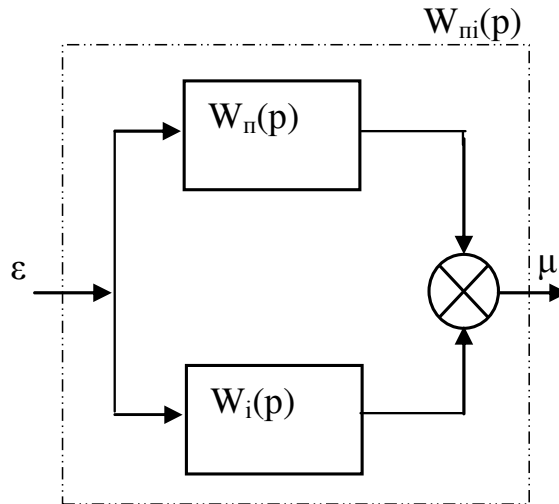
$$W_p(p) = k_p + \frac{1}{T_i p}. \quad (3.11)$$

Якщо при настройці ПІ-регулятора встановити дуже велике значення постійної часу  $T_i$ , то він перетвориться у П-регулятор.

Якщо при настройці регулятора встановити дуже маленьке значення  $k_p$ , то отримаємо І-регулятор з коефіцієнтом передачі за швидкістю  $1/T_i$ .

Параметрами настройки регулятора є коефіцієнт передачі  $k_p$  та постійна часу інтегрування  $T_i$ .

Структурна схема ідеального ПІ-регулятора зображена на рис. 3.8.



**Рисунок 3.8 – Ідеальний ПІ-регулятор. Схема структурна**

Для визначення оптимальних налаштувань регулятора можна використати метод розширеної комплексно-частотної характеристики (КЧХ).

### **3.2.6. Вторинні прилади**

Вторинний вимірювальний прилад (ВМП) - елемент вимірювальної інформаційної системи, що показує або реєструє значення вимірюваних величин. Існують модифікації ВМП [8, 15, 19, 20]:

- одноканальні, що показують або реєструють;
- багатоканальні, що одночасно показують і реєструють значення декількох величин;
- багатокрапкові, вони автоматично по черзі показують і реєструють значення декількох однорідних вимірюваних величин;
- підсумовуючі значення декількох вимірюваних величин;
- інтегруючі, що дають інтегральне (сумарне) значення вимірюваної величини за деякий проміжок часу;
- що сигналізують, із пристроєм світлової чи звукової сигналізації, що спрацьовує при виході значення вимірюваної величини за встановлені межі;
- регулюючі, що виробляють сигнал керування.

Усе більше поширення одержують ВМП з убудованими вимірювальними перетворювачами. Це полегшує об'єднання вимірювальної системи, наприклад із пристроями автоматичного регулювання або з ЕОМ.

Вимоги до технічних характеристик і конструкцій ВМП аналогічні вимогам, пропонованим до вимірювальним, що показують і реєструють приладам. Для ВМП окремо вказуються основні погрішності показання, реєстрації, інтегрування, а при наявності убудованого перетворювача - основну погрішність перетворення й інших характеристик точності [24].

Вимірювальний перетворювач (ВП) - засіб вимірювання, що перетворює вимірювану фізичну величину в сигнал для наступної передачі, обробки або реєстрації. На відміну від вимірювального приладу, сигнал на виході ВП (вихідна величина) не піддається безпосередньому сприйняттю спостерігача. Обов'язкова умова вимірювального перетворення - збереження у вихідній величині ВП інформації про кількісне значення вимірюваної величини.

Вимірювальне перетворення - єдиний спосіб побудови будь-яких вимірювальних пристроїв. Відмінність ВП від інших видів перетворювачів - здатність здійснювати перетворення з установленою точністю. Вимірювальне перетворення того самого виду (наприклад, температури в механічне переміщення) може здійснюватися різними ВП (ртутним термометром, біметалічним елементом, термопарою з мілівольтметром та ін. ).

Серед сучасних ВМП, які виготовляються і розповсюджуються на Україні є ВМП фірм: „Метран”, „Спектр”, „Сапфір” та інші.

З огляду на все вище сказане, обираємо в якості приладу, який реєструє – реєстратор Метран-900.

Багатоканальний реєстратор Метран-900 призначений для збору, обробки і реєстрації інформації, що надходить від датчиків з вихідним уніфікованим сигналом, сигналом взаємної індуктивності, що вимірюють параметри технологічних процесів.

Переваги: альтернатива паперовим самописам (відсутність проблем з чорнилом, перами, ремонтом); можливість підключення різних типів первинних

датчиків у довільному сполученні (всього 12 датчиків); одночасний контроль параметрів різних процесів; вбудований інтерфейс RS232/RS485; візуалізація даних на вбудованому дисплеї в цифровому і графічному виді; наочність і інформативність відображуваної оперативної інформації - по всіх 12 каналах одночасно; можливість одержання всієї необхідної інформації про стан параметрів на будь-який момент часу за період реєстрації; можливість безпосереднього висновку інформації на друкувальний пристрій; мінімальні витрати при монтажу.

В якості інтегруючого приладу, обираємо прилад ІП-1 фірми „Спектр”. Цей прилад призначено для автоматизації обліку витрати продуктів (рідких чи газоподібних) за рахунок підсумовування сигналу з датчика витрати з лінійною шкалою і його перетворення в числові показання електромеханічного лічильника в одиницях витрати.

Технічні показники приладу ІП-1: вхідний сигнал 0-5, 0-2, 4-20 мА; 0-10 В; форма представлення інформації цифрова індикація, електромеханічний лічильник; верхня межа миттєвої витрати відповідає стандартному ряду шкал 8 м<sup>3</sup>/год; індикація миттєвої витрати на індикаторі (у % від максимального; значення шкали) і сумарного значення на електромеханічному лічильнику (м<sup>3</sup>); приведена погрішність 0,4 %; джерело живлення 220В; 50 Гц.

В якості блока дистанційного керування обираємо БДК-4 фірми „Сапфір”. Технічні характеристики БДК-4: інтерфейс керування - двопровідна лінія (600 Ом, телефонний стандарт) від пульта зв'язку; відстань до пульта керування - до 200 метрів; число ліній керування - 4 шт.; число ВЧ-ліній, що комутуються - 4 шт.; число входів керування - 4 шт.; вихід каскадування (підключення ще одного блоку ДК-4); рознімання підключення ВЧ-ліній: СР-75.

### **3.3. Розрахунок окремих вузлів системи**

#### **3.3.1. Побудова функціональної схеми**

Під САК розуміють сукупність об'єкта керування (робочої машини, механізму) та з'єднаних певним чином елементів, взаємодією яких забезпечується розв'язання поставленого завдання керування об'єктом [18].

Основними елементами САК є: об'єкт керування; вимірювальний або чутливий елемент; керуючий орган; виконуючий елемент (орган) [18].

Вимірювальний (чутливий) елемент фіксує зміни вихідної (регульованої) величини об'єкта і в багатьох випадках перетворює її на величину іншого роду.

Як чутливі елементи САК часто використовують датчики, що перетворюють неелектричні величини (швидкість, тиск, зусилля, момент та ін.) на електричні (опір – активний, індуктивний, ємнісний, напругу, струм – постійний, змінний, частоту, фазу та ін.).

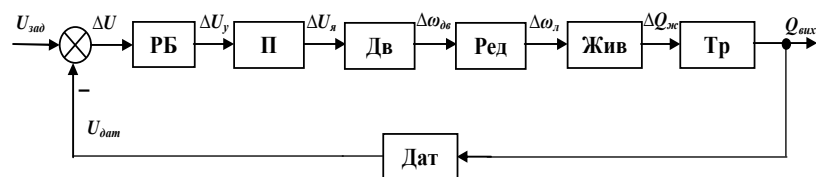
Керуючий елемент дістає інформацію від чутливого елемента і формує потрібний сигнал для виконуючого елемента. Часто він виконує функції підсилювача.

Виконуючий елемент забезпечує потрібний режим роботи керуючих органів об'єкта.

Залежно від технологічних особливостей об'єкта керування виконуючим елементом можуть бути різного роду серводвигуни обертового або поступального руху, що діють на відповідні технологічні регулюючі пристрої – засувки трубопроводів подачі стисненого повітря, пари, води, ручки керування, перемикачі швидкості та ін.

Якщо всі елементи САК позначити прямокутниками, розмістивши їх у послідовності, що відповідає їх взаємодії, а напрямок цієї взаємодії вказати стрілками, то дістанемо функціональну схему САК.

На основі функціональної схеми системи (елементна), описувалася п. 3.1, побудуємо функціональну схему системи (рис. 3.9).



**Рисунок 3.9 – Автоматизована система керування процесом дозування:**

*РБ – регулюючий блок; П – підсилювач; Дв – двигун постійного струму; Ред – редуктор; Жив – живильник; Тр – транспортер; Дат – датчик*

### 3.3.2. Побудова структурної схеми

Під структурною схемою САК у теорії автоматичного керування розуміють графічне зображення математичної моделі системи у вигляді з'єднаних ланок, які відповідають функціональній схемі даної системи. При цьому кожна ланка структурної схеми зображується прямокутником, в якому відображаються у вигляді передаточних функцій, рівнянь динаміки або часової характеристики динамічні властивості даної ланки [18].

У деяких випадках ланки можна пронумерувати, а їх динамічні характеристики зобразити окремо. Вхідні і вихідні величини на структурних схемах можуть бути записані у вигляді зображень або їх оригіналів[18].

Ланки, які забезпечують підсумовування (алгебраїчне) деяких величин, зображують у вигляді кола, поділеного на чотири рівні сектори. Якщо вхідні величини мають різний знак, то це відображується знаком „мінус”.

Структурні схеми широко застосовуються в теорії автоматичного керування при дослідженнях і проектуванні автоматичних систем. З їх допомогою легко простежити зв'язки між ланками, їх вплив, проходження сигналів у системі.

За допомогою апарата передаточних функцій можливе також перетворення складних структурних схем на простіші, що в ряді випадків необхідно для знаходження відповідних рівнянь системи на основі відомих формул.

При побудові структурної схеми системи були використані передаточні функції елементів системи (див. п. 3.2).

Необхідно знайти диференціальні рівняння ДПС та редуктора.

Вихідною величиною ДПС є швидкість  $\omega$ , яка регулюється зміною напруги  $U_{\text{я}}$ , що подається в якірне коло двигуна. Таким чином, треба встановити в динаміці залежність  $\omega = f(U_{\text{я}})$ . Запишемо рівняння електричної рівноваги для якірного кола двигуна, маючи, зокрема, на увазі, що в двигуновому режимі напруга живлення обчислюється за формулою [18]:

$$U_{я} = L_{я} \frac{di_{я}}{dt} + R_{я} i_{я} + e, \quad (3.12)$$

де  $L_{я}, R_{я}$  - індуктивність і активний опір кола якоря;

$e$  - електрорушійна сила двигуна

Для режиму розгону двигуна можна записати рівняння динаміки у вигляді [18]:

$$M_{дин} = M_{об} - M_{ст}, \quad (3.13)$$

де  $M_{дин}, M_{об}, M_{ст}$  - відповідно динамічний, двигунів і статичний моменти двигуна.

Коли  $M_{ст} = 0$ , то можна записати [18]:

$$J \frac{d\omega}{dt} = c_i i_{я},$$

звідки

$$i_{я} = \frac{J}{c_i} \frac{d\omega}{dt},$$

де  $J$  – момент інерції двигуна;  $c_i$  – стала струму.

Підставляючи знайдене значення  $i_{я}$  в рівняння електричної рівноваги кола якоря двигуна, після деяких перетворень дістанемо:

$$\frac{L_{я} J}{c_i} \frac{d^2 \omega}{dt^2} + \frac{R_{я} J}{c_i} \frac{d\omega}{dt} + c_e \omega = U_{я}.$$

Введемо позначення:

$$\frac{L_{я} J}{c_i c_e} = T_1^2; \quad \frac{R_{я} J}{c_i c_e} = T_2; \quad \frac{1}{c_e} = k_o.$$

При цьому рівняння динаміки двигуна постійного струму в операторній формі матиме вигляд:

$$(T_1^2 p^2 + T_2 p + 1) \omega = k_o U_{я}. \quad (3.14)$$

Якщо  $T_2 = \frac{R_y J}{c_i c_e} > 2T_1 = 2\sqrt{\frac{L_y J}{c_i c_e}}$ , або  $R_y \sqrt{\frac{J}{c_i c_e}} > 2\sqrt{L_y}$ , то двигун при даному

співвідношенні параметрів буде аперіодичною ланкою другого порядку, а в протилежному разі – коливальною ланкою.

З довідникових даних [22] відомі параметри  $J, L_y, R_y, e, c_i, U_y$ , звідки  $T_1 = 0.008$  с, а  $T_2 = 0.2$  с,  $k_\omega = 1.28$ . Оскільки  $T_2 > 2T_1$ , то це буде аперіодична ланка другого порядку:

$$W_{\omega\omega}(p) = \frac{k_\omega}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}$$

Диференціальне рівняння редуктора має вигляд:

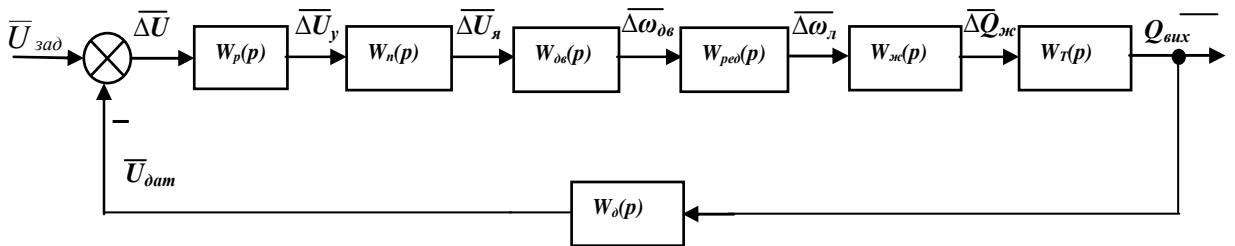
$$\omega_l = k_{ред} \omega_{\omega\omega}. \quad (3.15)$$

Оскільки передаточна функція елемента – це відношення зображення за Лапласом вихідної величини до зображення за Лапласом вхідної величини, запишемо передаточну функцію редуктора:

$$W_{ред}(p) = k_{ред}, \quad (3.16)$$

де  $k_{ред} = 0.02$  - передаточний коефіцієнт редуктора.

З'єднавши типові динамічні ланки відповідно до передачі діянь, дістанемо структурну схему системи керування процесом дозування, яка представлена на рис. 3.10.



**Рисунок 3.10 – Автоматизована система керування процесом дозування**

### 3.3.3. Якість системи за виглядом перехідного процесу

Якість системи оцінюється багатьма показниками, серед яких основними є: характер (вигляд) перехідного процесу, тривалість перехідного процесу, перерегулювання та інші специфічні для окремих видів перехідних процесів. Спочатку визначимо передаточні функції розімкнутої та замкнутої систем не враховуючи регулюючий орган.

Елементи структурної схеми системи розташовані послідовно, тому для отримання передаточної функції розімкнутої системи потрібно перемножити передаточні функції всіх елементів [18]:

$$W_{роз}(p) = W_{мн}(p)W_{дв}(p)W_{ред}(p)W_{жс}(p)W_T(p)W_{д}(p) = \frac{ke^{-p\tau_1}}{TT_1T_2p^3 + (T(T_1 + T_2) + T_1T_2)p^2 + (T + T_1 + T_2)p + 1} \frac{1 - e^{-p\tau_2}}{p}, \quad (3.17)$$

$$\text{де } k = k_{МПс}k_{дв}k_{ред}k_{жс}k_{д} = 2.76.$$

Передаточна функція замкнутої системи, з врахуванням того, що  $W_{зз}(p) = 1$ , розраховується за формулою:

$$W_{зз}(p) = \frac{W_{роз}(p)}{1 + W_{роз}(p)} = \frac{(ke^{-p\tau_1})(1 - e^{-p\tau_2})}{p(TT_1T_2p^3 + (T(T_1 + T_2) + T_1T_2)p^2 + (T + T_1 + T_2)p + 1) + (ke^{-p\tau_1})(1 - e^{-p\tau_2})}$$

Побудуємо перехідний процес замкнутої нескорегованої системи. Для цього скористаємося наступним виразом:

$$h(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^1 \frac{Pz(\omega)}{\omega} \sin(\omega t) d\omega, \quad (3.18)$$

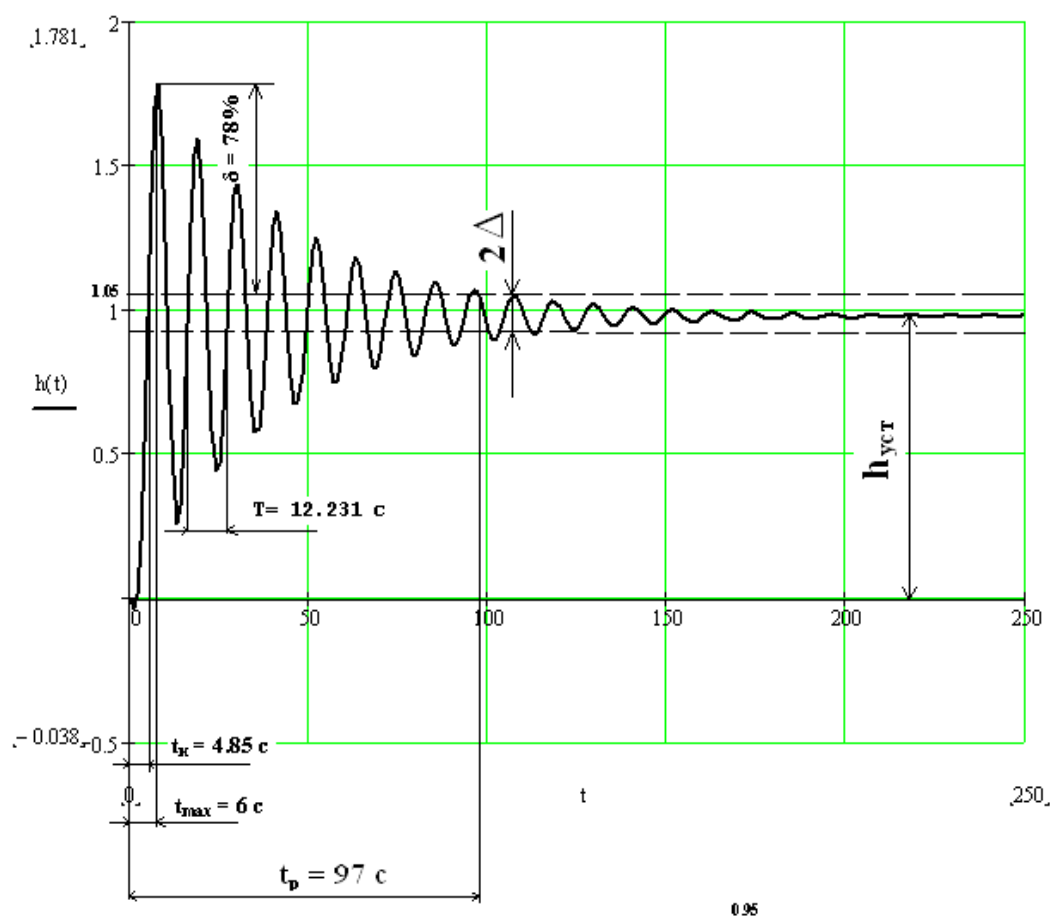
де  $Pz(\omega)$  дійсна частотна характеристика замкнутої системи

Дані для побудови перехідного процесу зведемо у табл. 3.5.

**Таблиця 3.5 - Значення перехідної функції  $h(t)$  не скорегованої системи**

|             |   |      |      |      |      |      |      |      |      |     |        |      |      |       |
|-------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|--------|------|------|-------|
| <b>t, c</b> | 0 | 6    | 12   | 18   | 24   | 30   | 36   | 42   | 48   | ... | 141    | 168  | 218  | 232   |
| <b>h(t)</b> | 0 | 1,78 | 0,26 | 1,59 | 0,47 | 1,45 | 0,59 | 1,32 | 0,67 | ... | 1,0064 | 0,96 | 0,98 | 1,001 |

Згідно табл. 3.5 побудуємо графік перехідного процесу системи, який зображено на рис. 3.11.



**Рисунок 3.11 – Графік перехідного процесу нескорегованої системи**

З побудованого перехідного процесу можна визначити наступні прямі показники якості САК:

1) перехідний процес – коливальний (період коливань не змінюється з часом);

2) час регулювання  $t_p = 97$  с – це час від початку дії вхідного діяння до входу системи в зону  $2\Delta$ , він залежить від швидкодії динамічних ланок та від їх кількості в головному контурі;

3) перерегулювання  $\delta = 78\%$ ;

4) кількість коливань перехідного процесу  $n = 9$ ;

5) час досягнення першого максимуму  $t_{max} = 6$  с;

6) час наростання перехідного процесу  $t_n = 4,85$  с – це час досягнення вихідною величиною усталеного значення.

### **3.3.4. Визначення оптимальних налаштувань ПІ-регулятора методом розширеної комплексно-частотної характеристики**

За основу метода прийнято поняття так названих розширених частотних характеристик  $W(m, j\omega)$ , які отримуються з передаточних функцій заміною  $p = \omega(j - m)$ , де  $m$  – степінь затухання перехідного процесу, дорівнює 0.221 [18].

Передаточна функція ПІ-регулятора задається у вигляді:

$$W_p(p) = -(c_0 / p + c_1), \quad (3.19)$$

де  $c_0 = k_p / T_{iz}$ ;  $c_1 = k_p$ ;  $T_{iz}$  – постійна часу ізодрому.

При налаштуванні коефіцієнта підсилення  $k_p$  буде змінюватись і постійна часу інтегрування:

$$T_i = T_{iz} / k_p, \quad (3.20)$$

Для знаходження оптимальних параметрів регулятора знаходимо розширену амплітудно-фазову характеристику об'єкта регулювання, яка визначається як відношення вимушених коливань на виході лінійної системи до вхідних.

Останні мають вигляд:  $X_{ex} = e^{(-m\omega + j\omega)t}$ .

тоді знаходимо:

$$W_{o.p.}(m; \omega) = M_{o.p.}(m; \omega) \cdot e^{if_{o.p.}(m; \omega)}, \quad (3.21)$$

де  $M_{o.p.}(m;\omega)$  – модуль розширеної амплітудно – фазової характеристики об’єкта регулювання;

$f_{o.p.}(m;\omega)$  – аргумент розширеної амплітудно – фазової характеристики об’єкта регулювання.

Поведінка замкнутої системи визначає настройки регулятора. При визначенні настройок регулятора знаходять ті настройки, які забезпечують задану якість перехідного процесу при стрибкоподібному збуренні на вході об’єкта регулювання. На якість перехідного процесу впливають степінь коливальності (затухання процесу регулювання)  $m$ , інтегральна похибка та амплітуда коливань.

При розрахунку оптимальних настройок знаходять всі настройки регулятора, які забезпечують задану якість коливальності перехідних процесів. Будуються криві рівної степені коливальності у площині параметрів настройки регулятора. На кривій рівної степені коливальності знаходять точку, яка відповідає оптимальним настройкам, що задовольняють вимогам до інтегральної похибки та амплітуді першої напівхвилі.

Оптимальні настройки ПІ – регулятора, які забезпечують степінь  $m$  коливальності, знаходять за наступними формулами [23]:

$$c_0 = \omega \cdot (1 + m^2) \frac{\sin[-f_{o.p.}(m;\omega)]}{M_{o.p.}(m;\omega)}; \quad (3.22)$$

$$c_1 = \frac{m \sin[-f_{o.p.}(m;\omega)] - \cos[-f_{o.p.}(m;\omega)]}{M_{o.p.}(m;\omega)}. \quad (3.23)$$

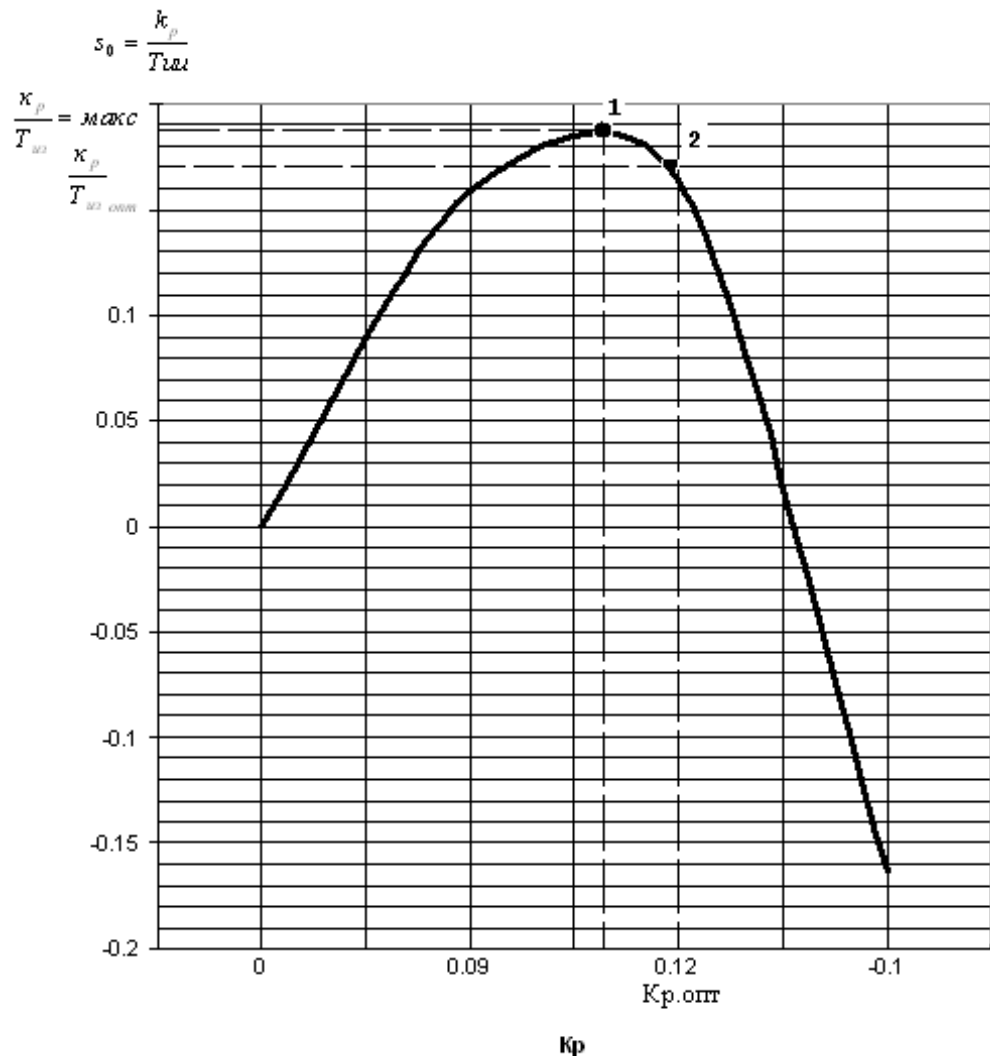
На основі отриманих розрахункових даних будується крива рівної степені коливальності (рис. 3.12). Якщо припустити, що діючі в системі збурення є низькочастотними (зокрема, детерміновані збурення типу „стрибка” є низькочастотними), то оптимальні параметри настройки регулятора

відповідають умові  $c_0 = k_p/T_{iz} = \text{макс}$  (точка 1 на рис. 3.13). В цьому випадку інтегральна оцінка  $I_2$ , наближається до мінімуму. Частіше вибирають оптимальну точку 2, яка розташована правіше точки 1. По цій же точці визначається частота регулювання  $\omega_p$ .

За отриманими оптимальними настройками  $c_1$  і  $c_0$  визначається час ізодрому регулятора [23]:

$$T_{iz} = \frac{c_1}{c_0}. \quad (3.24)$$

Підставивши всі необхідні значення параметрів було визначено  $\omega_p = 0.279$  рад / сек. Звідки час ізодрому регулятора складатиме  $T_{iz} = c_1 / c_0 = 0.752$  сек. А постійна інтегрування складатиме  $T_i = T_{iz} / k_p = 6$ .



**Рисунок 3.12 – Графік кривої рівної степені коливальності параметрів ПІ- регулятора**

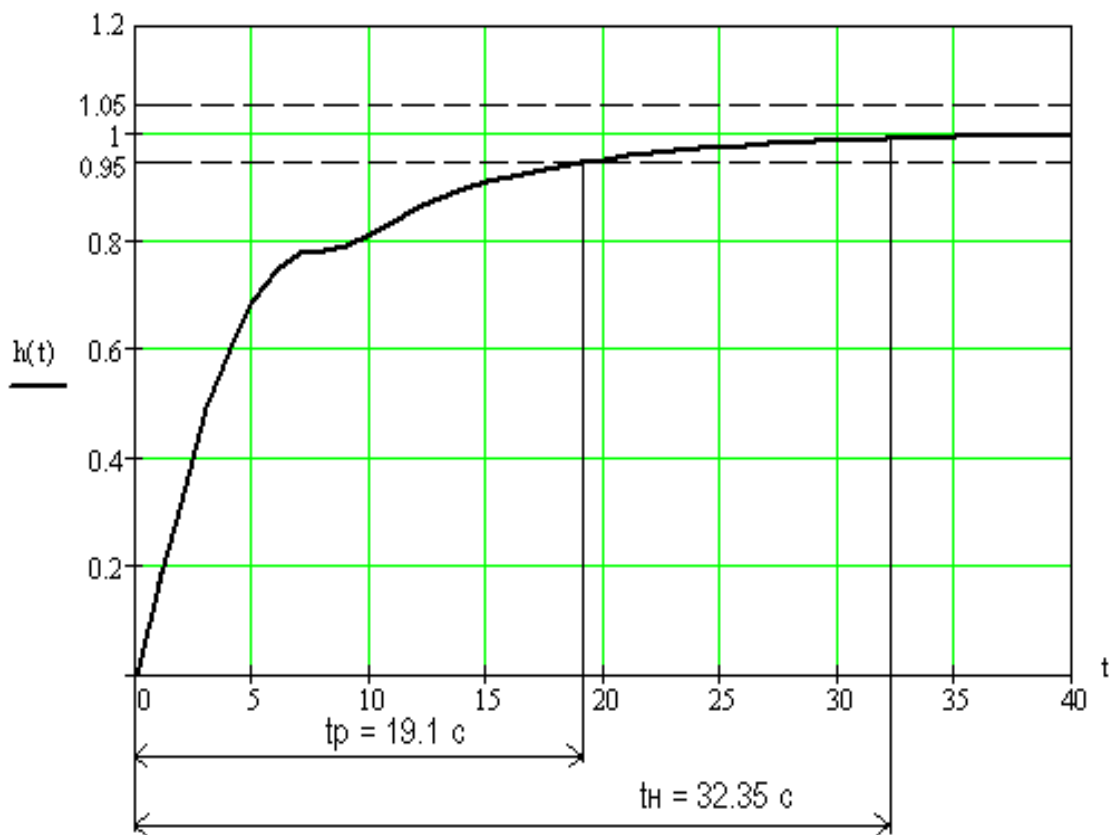
### 3.3.5. Побудова перехідного процесу системи, скорегованої методом розширених комплексно-частотних характеристик

Для побудови перехідного процесу скорегованої системи необхідно спочатку доповнити передаточну функцію розімкнутої системи ланкою ПІ-регулятора з визначеними параметрами. Далі отримаємо передаточну функцію замкнутої системи, і, використовуючи формулу 3.18 знайдемо точки для побудови графіка перехідного процесу. Дані зведемо у табл. 3.6.

**Таблиця 3.6 - Значення перехідної функції  $h(t)$  оптимальної системи**

| t, c | 0 | 1     | 2    | 4   | 7    | 10   | 20   | 30    | 32 |
|------|---|-------|------|-----|------|------|------|-------|----|
| h(t) | 0 | 0,171 | 0,33 | 0,6 | 0,78 | 0,81 | 0,95 | 0,986 | 1  |

Згідно даних табл. 3.6 побудуємо графік перехідного процесу скорегованої системи, який наведено на рис. 3.13.



**Рисунок 3.13 – Графік перехідного процесу системи, скорегованого методом розширених КЧХ**

З побудованого перехідного процесу можна визначити наступні прямі показники якості системи автоматичного регулювання:

- час регулювання  $t_p = 19.1$  с;
- перерегулювання – відсутнє;
- час наростання перехідного процесу  $t_n = 32,35$  с.
- по вигляду кривої перехідний процес – монотонний.

При значенні  $\tau_I = 0$  (випадок, коли немає запізнення в живильнику) є можливість зменшити діапазон час ізодрому та отримати покращення якості перехідного процесу.

### **3.4. Висновки до розділу**

1. Було запропоновано автоматизовану систему керування процесом дозування борошна. Проведено обґрунтування та вибір основних складових системи.

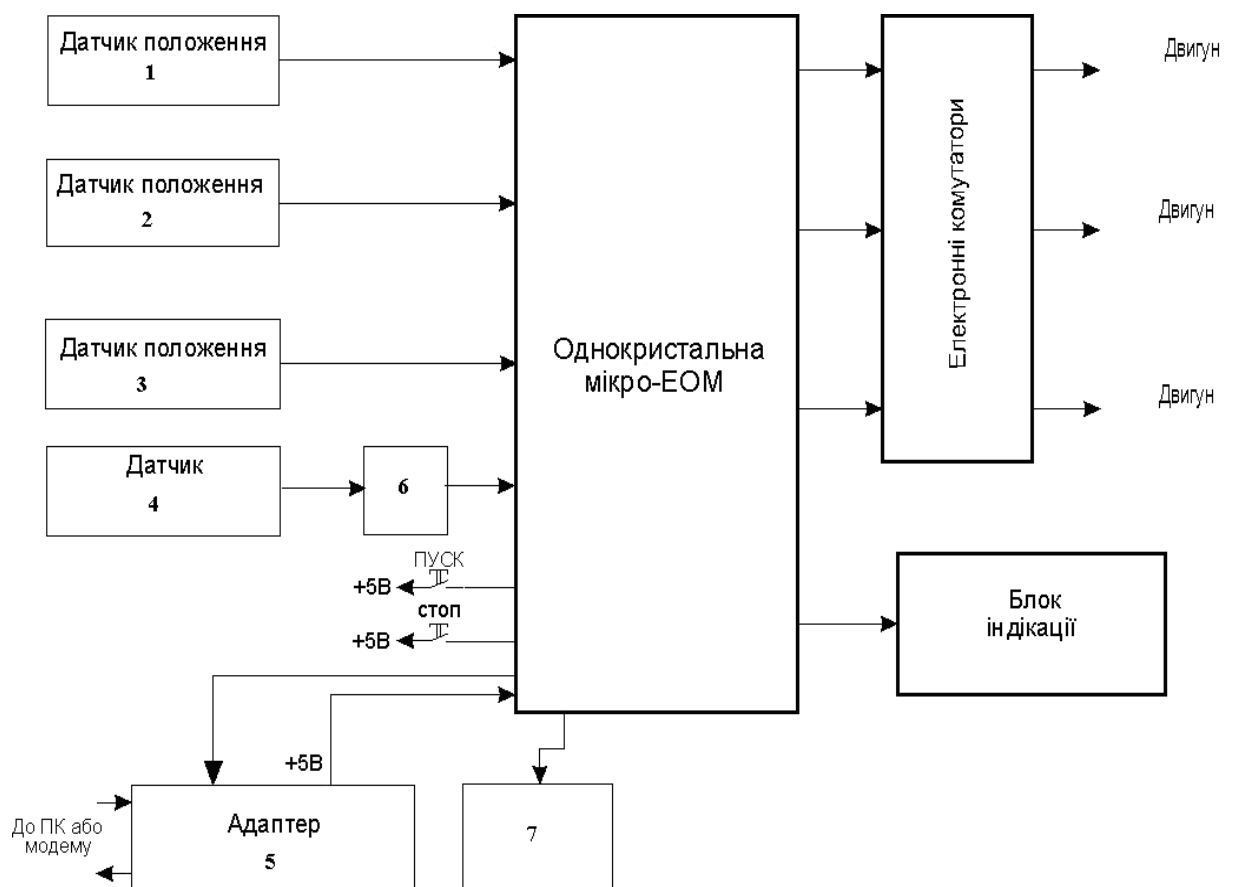
2. Було побудовано функціональну схему автоматизованої системи керування процесом дозування борошна. Визначено передаточні функції всіх елементів системи та побудовано структурну схему системи. Крім того, було розраховано основні параметри ПІ-регулятора та побудовано перехідні процеси системи.

## 4. РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ДОЗУВАННЯ БОРОШНА

### 4.1. Розробка електричних схем роботи системи

#### 4.1.1. Схема електрична структурна

Електрична структурна схема автоматизованої системи керування технологічним процесом дозування борошна представлена на рис. 4.1.



**Рисунок 4.1 – Автоматизована система керування процесом дозування борошна**  
**Схема електрична структурна**

До складу системи входять:

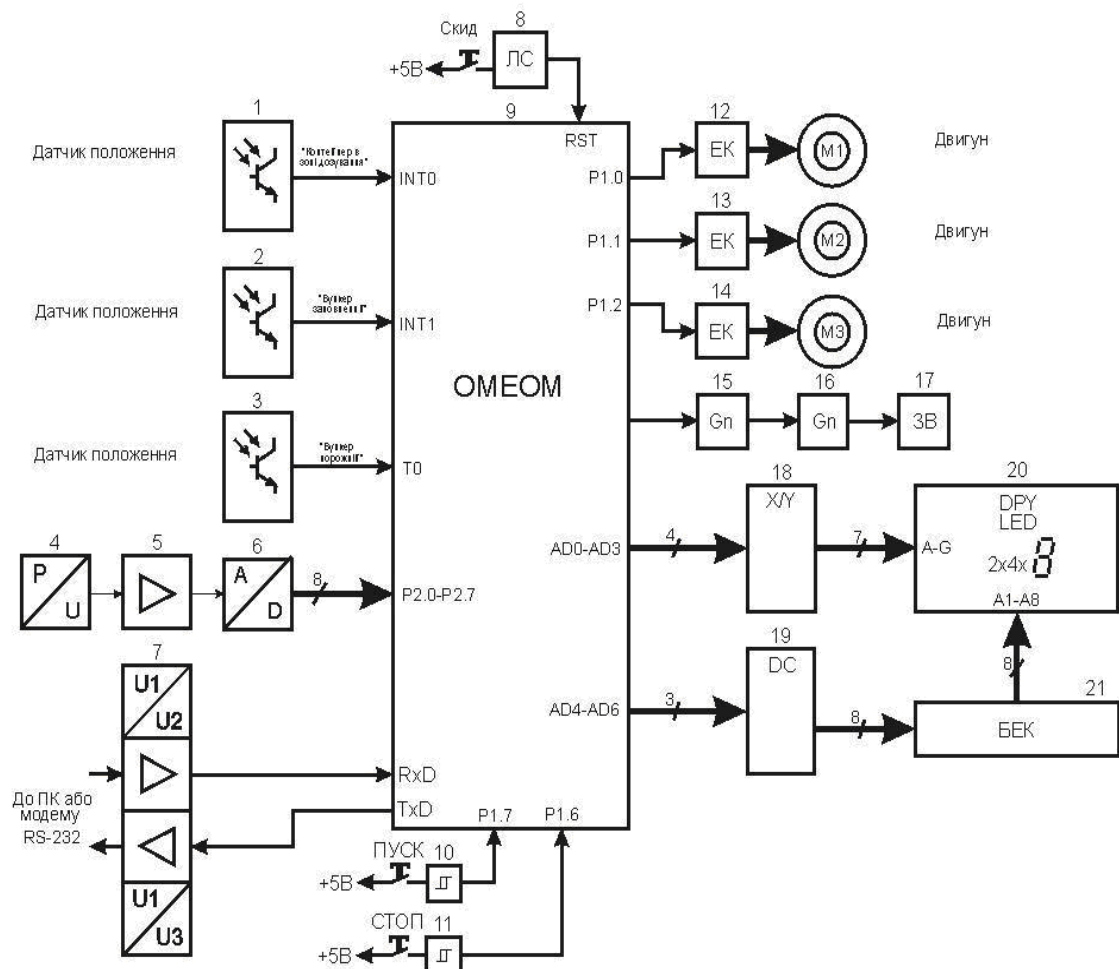
- датчик положення контейнера 1; датчик верхнього рівня бункера 2;
- датчик нижнього рівня бункера 3; датчик ваги 4;
- адаптер рівнів RS-232 5;
- схема вимірювань 6;
- однокристална мікро-ЕОМ (ОМЕОМ) 7;
- блок сигналізації 8;
- електронні комутатори 9;
- блок індикації 10.

Датчики положення контейнера 1 призначений інформування керуючого пристрою про те, що контейнер знаходиться в зоні дозування. При цьому контролер повинен зупинити транспортер і включити дозатор. Датчики верхнього рівня 2 та нижнього рівня 3 призначені для контролю рівнів завантаження накопичувального бункера. За допомогою цих датчиків контролер керує завантаженням накопичувального бункера шляхом включення двигуна завантаження. Датчик ваги 4 вимірює вагу матеріалу, який насипають в контейнер, а мікро-ЕОМ керує дозуванням згідно з заданим значенням ваги. Інформація з датчиків 1-3 поступає до мікро-ЕОМ 7, яка обробляє отримані дані та управляє виконавчими механізмами (двигунами) згідно з алгоритмом функціонування та робочою програмою. Управління виконавчими механізмами відбувається через електронні комутатори 9, які виконують функцію узгодження сигналів управління та силових сигналів. Крім того, комутатори забезпечують гальванічну розв'язку сигналів. Датчик ваги 4 підключено до мікро-ЕОМ 7 через схему вимірювання 6, яка узгоджує сигнали та перетворює отримані дані у цифровий вигляд. Для відображення поточного значення ваги дозованого матеріалу та кількості завантажених контейнерів в схему введено блок цифрової індикації 10. Блок сигналізації 8 інформує обслуговуючий персонал про збої в роботі системи або можливість виникнення аварійних ситуацій. Для забезпечення обміну даними з диспетчерською ЕОМ або віддаленим ПК в системі передбачено послідовний інтерфейс RS-232.

Узгодження рівнів даного інтерфейсу виконує адаптер рівнів 5. Зовнішні виводи адаптера підключаються до COM-порта ЕОМ, телефонного або радіо модему.

#### 4.1.2. Схема електрична функціональна

На основі електричної структурної схеми була розроблена електрична функціональна схема системи, яка наведена на рис. 4.2.



**Рисунок 4.2 – Автоматизована система керування  
процесом дозування борошна  
Схема електрична функціональна**

Датчик положення контейнера 1 оптичного типу призначений для контролю положення контейнера в зоні дозування. Датчик встановлено під виходом дозатора на транспортері. При перетинанні контейнером світлового потоку датчик формує сигнал “Контейнер в зоні дозування”, який вказує системі про можливість початку дозування. Сигнал з датчика поступає на вхід зовнішнього переривання INT0 мікро-ЕОМ 9. Відповідна процедура переривання починає процес дозування.

Датчик верхнього рівня бункера 2 контролює верхній рівень в накопичувальному бункері, а датчик нижнього рівня 3 – нижній рівень. Обидва датчики рівнів оптичного типу. Датчики встановлено в накопичувальному бункері. При спустошенні накопичувального бункера під час дозування спрацьовує датчик нижнього рівня 3, який формує сигнал “Бункер порожній”. Сигнал поступає на вхід T0 мікро-ЕОМ. Згідно з алгоритмом функціонування, мікро-ЕОМ вмикає двигун завантаження бункера. При завантаженні, рівень матеріалу збільшується і при досягненні верхнього рівня спрацьовує датчик верхнього рівня 2, який формує сигнал “Бункер заповнений”. Сигнал поступає на вхід зовнішнього переривання INT1 мікро-ЕОМ 9, яка вмикає двигун завантаження бункера.

Датчик ваги 4, тензометричного типу вимірює вагу насипаного в контейнер матеріалу. Сигнал з датчика ваги 4 через узгоджувач підсилювач 5 поступає на аналого-цифровий перетворювач (АЦП) 6.

Узгоджувач підсилювач призначений для нормалізації сигналу датчика та узгодження опорів датчика та АЦП. Поточне значення ваги контейнера в цифровому вигляді з виходів АЦП 6 передається на лінії порта P2 мікро-ЕОМ 9.

Наявність оперативних даних ваги дозволяє мікро-ЕОМ керувати процесом дозування і при досягненні необхідного значення ваги припинити дозування і почати новий цикл.

Основою системи є однокристална мікро-ЕОМ 9. Для апаратного скиду мікро-ЕОМ при включенні напруги живлення в схему введено ланцюг скиду 8. Для примусового скиду передбачена кнопка “Скид”.

Для візуального контролю поточної ваги та кількості фасованих доз в схемі передбачено блок цифрових дисплеїв 20. Дисплеї являють собою набори світлодіодних індикаторів цифрового типу. Порт P0 мікро-ЕОМ використовується для управління 8-розрядним цифровим світлодіодним індикатором 20, на який виводиться поточне значення ваги контейнера (4 розряди) та кількості доз (4 розряди). В даній схемі реалізовано принцип програмної динамічної індикації. Суть полягає в тому, що через лінії порта AD0-AD6 в певний момент часу виводяться дані та номер першого розряду, а в інший момент дані та номер другого розряду и т д в циклі. Кількість циклів відповідає кількості розрядів індикатора. Через лінії AD0-AD3 виводяться дані в двійковій системі числення, які поступають на входи перетворювача кодів 18. Перетворювач 18 виконує функцію перетворення двійкового вхідного коду на код семисегментного цифрового індикатора. Виходи перетворювача кодів підключено до індикатора 20.

З виходів AD4-AD6 у двійковій формі передається номер активного в даний момент часу розряда, який поступає на входи дешифратора 19. Дешифратор 19 перетворює вхідний двійковий код у позиційний. Таким чином, на виході дешифратора, номер якого відповідає номеру активного розряда з’являється сигнал включення розряда. Цей сигнал поступає на блок електронних ключів 21 і вмикає відповідний ключ активуючи потрібний розряд індикатора.

В наступному циклі інші дані будуть виводитись в наступний розряд. Таким чином, послідовно в часі, циклічно будуть виведені дані у всі розряди індикатора. Порт P1 мікро-ЕОМ призначений для управління двигунами M1 – M3. Комутація обмоток двигунів здійснюється через електронні ключі 12-14. Застосування ключів дозволяє гальванічно розв’язати ланцюги управління та силові ланцюги. Для ручного запуску та зупинки системи в схемі передбачено

кнопки “Пуск” та “Стоп”. Кнопки підключені до формувачів 10,11 (тригери Шмідта), які усувають перешкоди при замиканні. Виходи формувачів підключено до ліній P1.6, P1.7 мікро-ЕОМ. Для обміну даними з операторською ЕОМ та віддаленим ПК в схемі передбачений послідовний інтерфейс RS-232. Для узгодження рівнів в схему введено перетворювач рівнів 7. Виводи перетворювача підключені до виводів послідовного порта UART мікро-ЕОМ 9.

#### **4.1.3. Схема електрична принципова**

На основі електричної функціональної схеми була розроблена електрична принципова схема системи, яка наведена на рис. 4.3.

Сигнал з датчика положення контейнера оптичного типу через роз’єм ХР2.1 поступає на вхід зовнішнього переривання INT0 мікро-ЕОМ DD1. Коли оптичний канал датчика перекритий (контейнер в зоні) на виході датчика формується рівень лог. “0”, який викликає відповідну процедуру переривання мікро-ЕОМ. Починається процес завантаження контейнера.

Для контролю верхнього та нижнього рівнів завантаження накопичувального рівня в схемі передбачені оптичні датчик. Датчик верхнього рівня підключається через роз’єм ХР2.2 до входу зовнішнього переривання INT1, а датчик нижнього рівня – через роз’єм ХР2.3 до входу Т0. При досягненні в бункері верхнього рівня (перекривається оптичний канал датчика), на його виході формується сигнал з рівнем лог. “0”, який викликає відповідну процедуру переривання мікро-ЕОМ. Процес завантаження бункера припиняється. По мірі розходу сипучої речовини її рівень в накопичувальному бункері зменшується. При зменшенні рівня до зони датчика нижнього рівня він спрацьовує і на вхід Т0 мікро-ЕОМ поступає лог. “0”. Починається процес завантаження накопичувального бункера.

Для управління вузлами системи використовується мікро\_ЕОМ DD1 типу AT89C52 компанії ATMEL. Для синхронізації мікро-ЕОМ застосовано зовнішній частото-задаючий ланцюг на елементах С1,С2,ЗQ1, підключений до

виводів XTAL1, XTAL2 вбудованого в мікро-ЕОМ тактового генератора. Стабілізація частоти відбувається за рахунок використання кварцевого резонатора.

Для формування сигналу скиду при включенні напруги живлення в схему введено ланцюг R21,C3,SB1,DD5.1.

При появі напруги живлення через інтегруючий ланцюг R21, C3 на вхід тригера Шмідта поступає сигнал лог “0”, а з його виходу сигнал лог “1”, який призводить до скиду контролера. По мірі заряду ємності напруга на ній зростає і при досягненні рівня лог “1” тригер DD5.1 перемикається. Таким чином на вхід RST мікро-ЕОМ формується імпульс сигналу скиду позитивної полярності тривалістю, яка залежить від сталої часу інтегруючого ланцюга R21, C3 ,і повинна перевищувати 10 машинних циклів мікро-ЕОМ.

Для примусового скиду контролера в схемі передбачено кнопка SB1 “Скид”, яка шунтує ємність, формуючі сигнал скиду примусово.

На вхід ЕА мікро-ЕОМ надходить сигнал лог”1” від джерела живлення через резистор R20. Таким чином вибирається режим роботи з внутрішньою пам’яттю програм, де зберігається програма управління системою.

Сигнал з датчика ваги в аналоговому вигляді через роз’єм XS6 поступає на вхід операційного підсилювача DA10 типу INA128. Підсилювач являє собою малOSHумлячий прецензійний термокомпенсований операційний підсилювач. Коефіцієнт підсилення задається за допомогою резисторів R12, R13.

З виходу підсилювача сигнал поступає на вхід аналого-цифрового перетворювача (АЦП) DA11 типу K1107ПВ2, який перетворює вхідний аналоговий сигнал у цифровий 8-розрядний. З виходу АЦП цифровий код подається на порт P2, з якого зчитується мікро\_ЕОМ програмними засобами. Для тактування (синхронізації) АЦП використовується лінія T1 порта P3 мікро-ЕОМ.

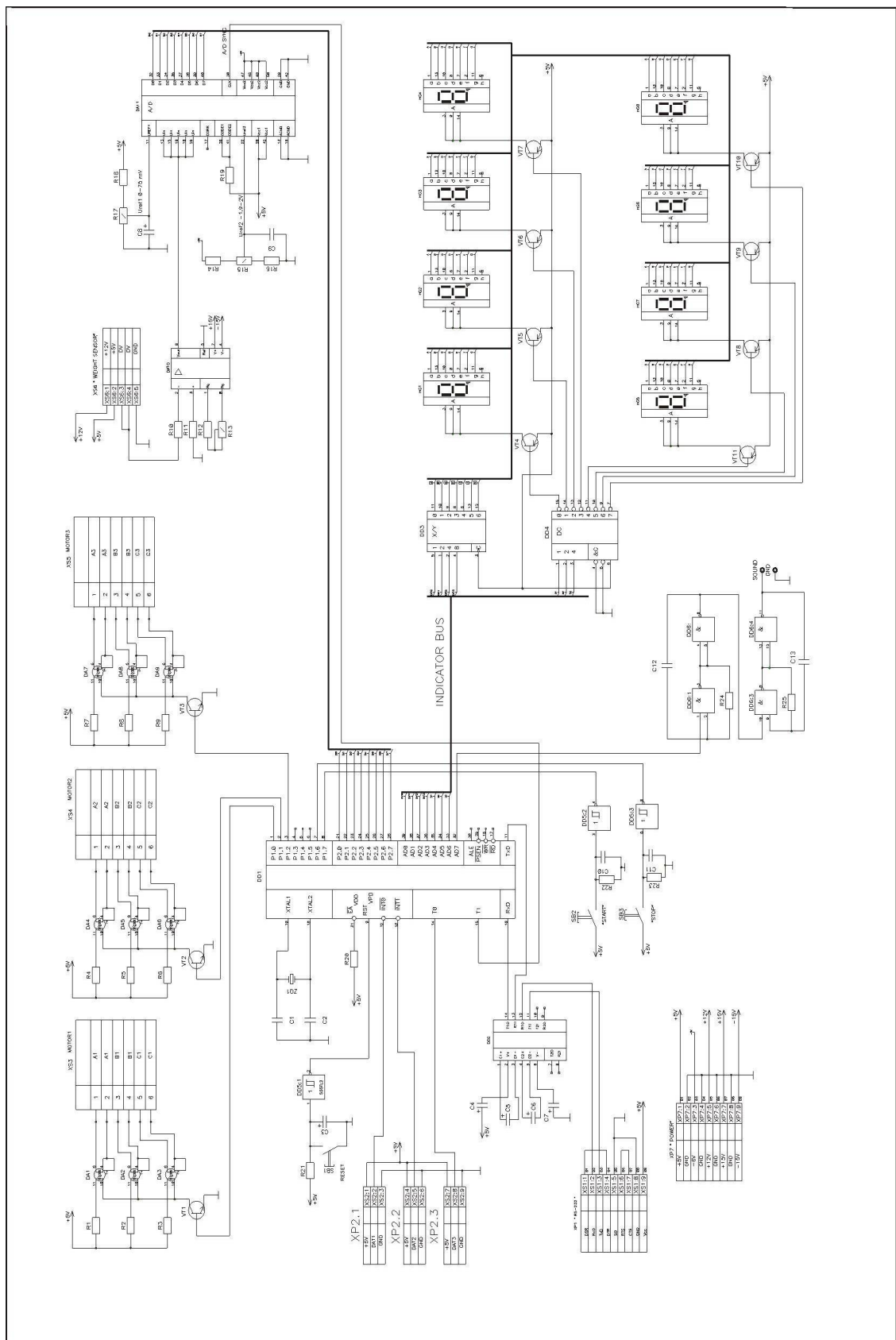


Рисунок 4.3 – Автоматизована система керування процесом дозування борошна .  
Схема електрична принципова.

Позитивна опорна напруга 0-75 мВ необхідна для роботи АЦП формується за допомогою діляника напруги на елементах R17, R18.

Регулювання величини напруги здійснюється за допомогою резистора R17. Ємність C8 додатково згладжує опорну напругу.

Негативна опорна напруга – 1.9-2 В необхідна для роботи АЦП формується за допомогою дільника напруги на елементах R14, R15, R16. Регулювання величини напруги здійснюється за допомогою резистора R15. Ємність C9 додатково згладжує опорну напругу.

Керування агрегатами (двигунами) системи виконується через лінії порту P1. Поява сигналу лог"1" на лінії P1.0 вмикає двигун приводу завантажувача накопичувального бункера, на лінії P1.1 – двигун приводу дозатора, на лінії P1.2 – двигун приводу транспортера. Всі канали управління двигунами аналогічні. Розглянемо роботу одного з них. При появі на лінії P1.0 лог"1" відкривається транзисторний ключ на VT1, вихід якого підключено до входів управління оптичних симісторів DA1-DA3 типу K293КП13П (за кількістю фаз двигуна). Дана мікросхема являє собою твердотільне оптичне реле, джерелом випромінювання якого є світло діод, а комутуючим елементом оптичний симістор. При відкриванні транзисторного ключа через світлодіоди реле починає протікати струм управління. Що призводить до відкривання симістора, а відповідно і до підключення навантаження (двигуна). Двигуни підключено до блоку управління через роз'єми XS3-XS5 відповідно.

Для сигналізації про аварійний стан в схемі передбачена звукова сигналізація побудована на двох керованих генераторах: генераторі тону та генераторі переривань. Генератор тону побудовано на елементах DD6.3, DD6.4, R25, C13. Частоту генерації 2-3 кГц задає ланцюг R25, C13. Генератор переривань побудовано на елементах DD6.1, DD6.2, R24, C12. Частоту генерації 5-10 Гц задає ланцюг R24, C12. При появі на виході AD7т рівня лог"1" включається генератор переривань на виході якого формуються імпульси частотою 5-10 Гц. Імпульси поступають на входи генератора тона запускаючи його. Таким чином, на виході генератора тона формується переривчаста послідовність тональних імпульсів, яка подається на звуковий п'єзоелектричний випромінювач.

Для включення та виключення процесу дозування в схемі передбачено кнопки SB2 “Старт” та SB3 “Стоп”. Кнопки підключено до входів тригерів Шмітта DD5.2, DD5.3 типу K555ТЛ1, які усувають дребезг контактів ємності C10, C11 підключенні до входів тригерів додатково усувають дребезг під час комутації. Виходи тригерів підключено до ліній P1.6, P1.7, які опитуються мікро-ЕОМ програмно.

Для відображення поточного значення ваги та кількості відвантажених доз в схему введено цифровий індикатор на елементах HG1-HG8 типу АЛС324Б. Порт AD контролера використовується для управління 8-розрядним цифровим світлодіодним індикатором, на який виводяться поточні значення. В даній схемі реалізовано принцип програмної динамічної індикації. Суть полягає в тому, що через лінії порта AD0-AD6 в певний момент часу виводяться дані та номер першого розряду, а в інший момент дані та номер другого розряду и т д в циклі. Кількість циклів відповідає кількості розрядів індикатора. Через лінії AD0-AD3 виводяться дані в двійковій системі числення, які поступають на входи перетворювача кодів (ПК) DD3 типу K514ИД2. Перетворювач кодів виконує функцію перетворення двійкового вхідного коду на код семисегментного цифрового індикатора. Виходи перетворювача кодів підключено до катодів індикаторів HG1-HG8.

З виходів AD4-AD6 у двійковій формі передається номер активного в даний момент часу розряду, який поступає на входи дешифратора знакомісця DD4 типу K555ИД7. Дешифратор знакомісця перетворює вхідний двійковий код у позиційний. Таким чином, на виході дешифратора, номер якого відповідає номеру активного розряду з’являється сигнал включення розряду. Цей сигнал поступає на блок електронних ключів на транзисторах VT3-VT10 типу КТ361 і вмикає відповідний ключ, активуючи потрібний розряд індикатора.

В наступному циклі інші дані будуть виводитись в наступний розряд. Таким чином, послідовно в часі, циклічно будуть виведені дані у всі розряди індикатора.

Для обміну даними з операторською ЕОМ передбачений послідовний інтерфейс RS-232. Для узгодження рівнів в схему введено перетворювач рівнів DD2 типу MAX232 компанії MAXIM. Виводи перетворювача підключені до виводів послідовного порта UART мікроконвертера. Передача даних на ПЕОМ ведеться через лінію TxD, а прийом даних – через лінію RxD мікроконвертера.

## **4.2. Опис організації робіт, пов'язаних із застосуванням системи**

### **4.2.1. Загальні вказівки**

Використання індустріальних методів монтажних робіт, а також їх спеціалізація дозволяють суттєво знизити трудомісткість та скоротити тривалість монтажу обладнання та засобів автоматизації [12, 15, 20, 23].

Монтажні роботи умовно поділяють на три основні види: підготовчі, заготівельні та монтажно-встановочні [12].

Підготовчі роботи ведуть будівельники. Сюди входить риття каналів та траншей, обладнання проходів у стінках та перекриттях для електричних та трубних проводок [12, 15].

Заготівельні роботи ведуть на виробничих базах та на заводах монтажних трестів, де виготовлюється нестандартне обладнання, різні монтажні вироби, ведуть зборку трубних блоків, монтажних вузлів та виробів, а також зборку та комутацію щитів і пультів [12].

Монтажно-встановочні роботи полягають в установці готових вузлів та блоків, щитів та пультів, датчиків, первинних приладів, виконавчих механізмів, прокладанні електричних та трубних проводок. Цей вид робіт є другою стадією монтажу засобів автоматизації та виконується після закінчення будівельних та оздоблювальних робіт на об'єкті [12].

До монтажно-встановочних робіт можна віднести:

- монтаж та встановлення бункера;
- монтаж та встановлення датчиків рівня на бункері;
- монтаж і встановлення віброживильника;

- монтаж і встановлення транспортера;
- монтаж і встановлення тензорезисторного датчика;
- монтаж і встановлення щита керування, на передній панелі якого розташовані вторинні прилади, регулюючий блок, сигнальна лампа, перемикачі та кнопка запуску системи;
- монтаж і встановлення кінцевого вимикача.

Щоб контрольно-вимірювальні прилади та засоби автоматизації чітко та надійно працювали на об'єкті, необхідно систематично кваліфіковано їх обслуговувати, своєчасно та якісно ремонтувати, проводити налагодження та перевірки. Ці роботи повинні проводитись кваліфікованими кадрами, які повинні: обслуговувати, ремонтувати та перевіряти засоби автоматизації; приймати участь у монтажу, налагодженні та пробній експлуатації запровадженої системи автоматизації; складати заявки та технічні засоби автоматизації, запасні частини, лабораторне обладнання та матеріали; підвищувати кваліфікацію.

#### **4.2.2. Підготовка системи до експлуатації**

Система постачена спеціальним дистанційним щитом, за допомогою якого можливо підтримання заданих параметрів. Регулятор перевіряє задані і дійсні параметри. Якщо параметр не відповідає заданому, тоді включаються потрібні прилади і установка коректується до заданого параметра.

Система має чотири датчика різних типів. Датчики рівня встановлюються на бункері. Кінцевий вимикач на транспортері. Перетворювач встановлюється над транспортером.

При дозуванні борошна у діжу, обслуговуючому персоналу необхідно одягати респіратор. Оскільки при зсипанні борошна у діжу виділяється значна кількість пилу.

### **4.2.3. Експлуатація системи**

Насамперед необхідно провести підготовчі роботи з бункером. Перевірити наявність борошна у ньому.

Необхідно стежити за тим, щоб діжа випадково не від'їхала від транспортера. Оскільки при цьому вимкнеться система. Діжа повинна бути сухою та чистою. При вимкненні кінцевого вимикача, параметри системи обнуляються.

Необхідно стежити за сигнальною лампою. При її спрацюванні необхідно ввімкнути кнопку запуску приводу перегрівача.

Якщо після описаних операцій борошно не поступає у достатній кількості, необхідно вимкнути систему і виявити пошкодження.

Ввімкнення системи відбувається за допомогою перемикача. В залежності від роботи можна встановити перемикач у „місцеве” (ліве), „дистанційне” (праве) та „відключення” (нейтральне).

### **4.4. Висновки до розділу**

Було запропоновано автоматизовану систему керування процесом дозування борошна. Наведено структурну схему системи, електричні структурну, функціональну, принципову схеми системи.

Наведено опис робіт, пов'язаних з експлуатацією автоматизованої системи керування процесом дозування борошна. Монтажно-встановочні роботи полягають в установці готових вузлів та блоків, прокладанні електричних проводок.

## ВИСНОВКИ

В результаті проведених теоретичних та практичних досліджень створено автоматизовану систему керування процесом дозування борошна при виготовленні хлібобулочних виробів. Розроблена система дозволяє підвищити технологічну і енергетичну ефективність процесу дозування борошна, шляхом створення автоматизованої системи керування процесом дозування.

1. В результаті досліджень було визначено:

- основні параметри живильника (ширина лотка  $b = 40...70$  мм; амплітуда коливань  $A = 4...6$  мм; частота коливань лотка  $\omega = 10...25$  Гц; чисте запізнення в живильнику  $\tau_1 = 2.6$  сек.);
- основні параметри транспортера (швидкість стрічки  $v_T = 0.85$  м/с; потужність  $P = 1.52$  кВт; довжина стрічки транспортера  $L_T = 4$  ; запізнення на транспортері (час перебування матеріалу на транспортері)  $\tau_2 = 4.7$  сек.);
- оптимальні настройки ПІ-регулятора (коефіцієнт пропорційності  $k_p = 0.12$ ; постійна інтегрування  $T_i = 6.009$  сек.; час ізодрому  $T_{iz} = 0.752$  сек.; частота регулювання  $\omega_p = 0.279$  с<sup>-1</sup>).

2. Використання ПІ-регулятора з зазначеними для нього оптимальними параметрами настройки робить систему стійкою без перерегулювання.

3. Розроблено алгоритм роботи системи, структурну, функціональну та принципову схеми електричної системи.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гвоздев О., Ялпачик Ф., Олексієнко В. *Машини та обладнання хлібопекарського виробництва: підручник*. Київ: Вища освіта, 2010. 307 с. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/199662156.pdf>.
2. Самойчук К. *Технологічне обладнання хлібопекарської і макаронної галузі: навч. посіб.* Київ: Профкнига, 2021. 372 с.
3. Дробот В. *Довідник з технології хлібопекарського виробництва: довідник*. Київ: Профкнига, 2019. 580 с.
4. Безвесільна О.М., Кашперський В.С. *Засоби вимірювання маси і ваги.* – К.: «Либідь», 1996. 214 с.
5. *Основи розрахунку обладнання для дозування сипучих та рідких матеріалів // Головна - Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного.* URL: <http://www.tsatu.edu.ua/ophv/wp-content/uploads/sites/13/lekcija-4-osnovy-rozrahunku-obladnannja-dlja-dozuvannja-sypuchyh-ta-ridkyh-materialiv.pdf> (дата звернення: 17.03.2023).
6. *Автоматичне дозування сипучих матеріалів - Статті та публікації - Прес-Центр - СВ АЛЬТЕРА. Електродвигун, редуктор, витратомір, пускач, датчик...* URL: <https://www.svaltera.ua/press-center/articles/4342.php> (дата звернення: 17.03.2023).
7. Ємельянів А., Ємельянів В. *Виконавчі пристрої промислових регуляторів: Машини*, 1975. 224 с.
8. *Телемеханіка та автоматизовані системи управління в електроенергетиці: навч. посіб.* / [П. Г. Плешков, С. В. Серебренніков, К. Г. Петрова] ; М-во освіти і науки України, Кіровоград. нац. тех. ун-т. – Кіровоград : КНТУ, 2016. – 163 с. URL: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/7946>.
9. *Повідайло В. О. Вібраційні процеси та обладнання: навч. посіб.* — Львів: Видавництво Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2004. — 248 с.

10. Проць Я. І., Данилюк О. А., Лобур Т. Б. Автоматизація неперервних технологічних процесів: Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів / ред. Я. І. Проць. Тернопіль : ТДТУ, 2008. 240 с.
11. Кондратець В. О. Теорія і технічні засоби систем: Підручник //К.: Вища школа. – 1993.
12. Стеклов В. К. Проектування систем автоматичного керування. Київ : Вища шк., 1995. 232 с.
13. Є.П.Босов, Р.В.Жесан, В.М.Каліч. Електронні пристрої системи автоматики. Кіровоград 2009.
14. Бочков В. М., Сілін Р. І. Обладнання автоматизованого виробництва. Львів. політехніка, 2015. 404 с.
15. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи : Навч. посіб. для студентів вищ. техн. навч. закл., які навчаються за напрямом "Електромеханіка". Київ : Либідь, 2005. 680 с.
16. Клендій П., Потапенко М., Корчемний М. Теоретичні основи автоматики : навч. посіб. Тернопіль : Богдан, 2011. 304 с.
17. Будіщев М. С. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка : підручник. Львів : Афіша, 2001. 424 с.
18. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування. Підручник. – К.: «Либідь», 1997. 544 с.
19. В.Ф. Пашенко. Основи проектування електронних пристроїв систем автоматики. -К.: 1998.
20. Васильківський І. С., Фединець В. О., Юсик Я. П. Виконавчі пристрої систем автоматизації. Львів. політехніка, 2020. 220 с.
21. Автоматизація виробничих процесів / І. Ельперін та ін. Ліра-К, 2017. 378 с.
22. Лукінюк М. В. Технологічні вимірювання та прилади : Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Київ : НТУУ "КПІ", 2007. 436 с.
23. Трегуб В. Проектування систем автоматизації. Ліра-К, 2019. 344 с.

24. Савицький В., Федоришин Р. Технічні засоби автоматизації. Львів. політехніка, 2018. 292 с.

25. Стрічковий конвеєр, транспортер ЛТ-12-400. *4build*.  
URL: <https://4build.biz/lentochnyj-transporter-konvejer-lt-12-400>.

26. Цифровий тензодатчик QS-D | KELI Sensor (Ningbo). | *KELI Sensor (Ningbo)*. URL: <https://keli.com.ua/product/tsifrovij-tenzodatchik-qs-d/>.

27. Датчик індуктивний ПЩ6-1. *profmaster*.  
URL: <https://profmaster.com.ua/ua/p238923-pisch-datchik-pisch.html>