

Факультет комп'ютерних інформаційних технологій

Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

Ступінь вищої освіти "магістр"

Спеціальність: 174 - Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка

Освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

ДЯКУН Роман Мирославович

(прізвище, ім'я по-батькові)

_____ Комп'ютеризована система управління роботою порційного механізму/
Computerized control system for the operation of a portioning mechanism

_____ керівник _____ роботи _____ д.т.н., _____ професор
Н.Я.Возна _____

Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Ступінь вищої освіти "магістр"
Спеціальність: 174 - Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка
Освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри СКС

А.І.Сегін

“ ____ ” _____ 20__ р.

З А В Д А Н Н Я
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
ДЯКУН Роман Мирославович

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема випускної кваліфікаційної роботи

_____ Комп'ютеризована система управління роботою порційного механізму/
Computerized control system for the operation of a portioning mechanism

_____ керівник _____ роботи _____ д.т.н., _____ професор
Н.Я.Возна _____

затверджені наказом по університету від 12 грудня 2023 р. № 753

2. Строк подання студентом закінченої випускної кваліфікаційної роботи:

30 листопада
2024р.

3. Вихідні дані до випускної кваліфікаційної роботи:

- _____ 1. Види порційних механізмів _____
- _____ 2. Технологічний процес дозування _____
- _____ 3. Вимоги до технічної експлуатації системи _____
- _____ 4. Контроль параметрів технологічного процесу _____
- _____

4. Основні питання, які потрібно розробити:

1. Аналіз технології процесу роботи порційного механізму
2. Проектування комп'ютеризованої системи управління роботою порційного механізму
3. Математичний розрахунок комп'ютеризованої системи управління

5. Перелік графічного матеріалу у роботі:

1. Схема автоматизації процесу дозування
2. Інформаційна схема об'єкта керування
3. Структура автоматизованої системи управління роботою порційного механізму
4. Функціональна схема автоматизації технологічного процесу

6. Консультанти розділів випускної кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Возна Н.Я. д.т.н., професор, професор кафедри СКС		
2	Возна Н.Я. д.т.н., професор, професор кафедри СКС		
3	Возна Н.Я. д.т.н., професор, професор кафедри СКС		

7. Дата видачі завдання 20 жовтня 2023р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технології процесу роботи порційного механізму	11.2023р. – 12.2023р.	
2	Проектування комп'ютеризованої системи управління роботою порційного механізму	01.2024р. – 04.2024р.	

3	Математичний розрахунок комп'ютеризованої системи управління	04.2024р. – 10.2024р.	

Студент

(підпис)

Дякун Р.М.

Керівник роботи

(підпис)

д.т.н., проф. Возна Н.Я.

РЕФЕРАТ

Дякун Р.М. Комп'ютеризована система управління роботою порційного механізму. – Рукопис.

Дослідження на здобуття ступеня вищої освіти «магістр» за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка», освітньо-професійна програма. – Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2024.

У роботі проаналізовано особливості роботи порційного механізму, обґрунтовано доцільність автоматизації порційних процесів. Для проектування комп'ютеризованої системи управління визначено параметри контролю та регулювання, здійснено вибір технічних засобів автоматизації, обґрунтовано організацію автоматизованого робочого місця оператора. Побудована математична модель об'єкта управління, побудовано перехідний процес, розраховані показники надійності контуру регулювання, побудовано алгоритм роботи системи управління.

ABSTRACT

Dyakun R.M. Computerized control system for the operation of a portioning mechanism. - Manuscript.

Research on obtaining the degree of higher education "master" in specialty 174 "Automation and computer-integrated technologies", educational and professional program. – West Ukrainian National University, Ternopil, 2024.

The paper analyzes the features of the operation of the batch mechanism, justifies the feasibility of automating batch processes. For the design of a computerized control system, the parameters of control and regulation are

determined, the choice of technical means of automation is made, the organization of the automated operator's workplace is justified. A mathematical model of the control object is built, a transient process is built, the reliability indicators of the control circuit are calculated, and an algorithm for the operation of the control system is built.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ПОРЦІЙНОГО МЕХАНІЗМУ	7
1.1 Дослідження місця порційних механізмів у сучасних технологічних процесах.....	7
1.2 Аналіз існуючих підходів до автоматизації порційних процесів.....	13
2. ПРОЕКТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РОБОТОЮ ПОРЦІЙНОГО МЕХАНІЗМУ	20
2.1 Визначення вимог до автоматизації комп'ютеризованої системи управління.....	20
2.2 Визначення параметрів контролю та регулювання.....	23
2.3 Побудова структури автоматизованої системи управління роботою порційного механізму	27
2.4 Вибір компонентів системи	30
2.5 Вибір технічних засобів автоматизації.....	34
2.6 Організація автоматизованого робочого місця оператора.....	46
3. МАТЕМАТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ	54
3.1 Математична модель об'єкта управління.....	54
3.2 Побудова перехідного процесу.....	56
3.3 Розрахунок показників надійності контуру регулювання.....	58

3.4 Побудова алгоритму роботи системи управління	59
ВИСНОВКИ.....	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	65
ДОДАТОК А Копії публікацій.....	69

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасне виробництво характеризується високими вимогами до точності, продуктивності та ефективності. Порційні механізми широко використовуються в різних галузях промисловості, таких як харчова, фармацевтична, хімічна та будівельна. Однак ручне або застаріле управління такими механізмами обмежує їх продуктивність і точність, що може призводити до втрат матеріалів, зниження якості продукції та збільшення виробничих витрат.

Автоматизація порційних механізмів із використанням комп'ютеризованих систем управління дозволяє: забезпечити високу точність дозування, що особливо важливо для виробництва продукції з жорсткими вимогами до якості, наприклад, у фармацевтичній або харчовій промисловості; зменшити втрати матеріалів, знижуючи відходи, що сприяє раціональному використанню ресурсів; підвищити продуктивність процесу, завдяки автоматичному виконанню рутинних завдань і оптимізації роботи обладнання; інтегрувати порційний механізм у загальну систему управління виробництвом; забезпечити гнучкість і масштабованість процесу, що дозволяє швидко адаптувати систему до змін у виробничих потребах.

Зростання популярності цифрових технологій у виробництві також створює потребу у впровадженні таких систем для моніторингу, аналізу та оптимізації роботи механізмів. Розробка комп'ютеризованої системи управління дозволяє впроваджувати інноваційні підходи, такі як використання сенсорних технологій, обробка даних у реальному часі, дистанційне управління та прогнозна аналітика.

Тема є актуальною з точки зору економії ресурсів, підвищення якості продукції, автоматизації виробничих процесів та відповідає сучасним тенденціям розвитку комп'ютерно-інтегрованих технологій і автоматизації.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є розробка комп'ютеризованої системи управління подачі дозованого матеріалу, що

сприятиме підвищенню продуктивності обладнання, покращенню якості продукції та зменшенню трудовитрат. Для досягнення цієї мети необхідно виконати низку завдань, серед яких основними є:

- аналіз технологічного процесу дозування;
- розробка проєкту комп'ютеризованої системи для регулювання подачі дозованого матеріалу;
- виконання розрахунків системи автоматичного управління;
- організація контролю параметрів технологічного процесу.

Об'єктом дослідження є порційний механізм.

Предмет дослідження є дозувальні установки.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у розробці практичних рекомендацій щодо проектування комп'ютеризованої системи управління подачі дозованого матеріалу для виготовлення бетонної суміші. Запропоновано метод контролю технологічних параметрів, який забезпечує налаштування системи на задану масу та точність дозування матеріалу, зміну параметрів роботи установки та оперативний моніторинг її стану.

Практичне значення отриманих результатів розроблена комп'ютеризована система управління дає змогу автоматизувати виробництво бетонної суміші і мінімізувати похибки дозування.

Публікації. Дякун Р. Автоматизація процесу виробництва склотари / Роман Дякун, Ірина Кінь // Збірник матеріалів науково-практичного симпозіуму «Технології інтернету речей: системи та рішення» (ТІР СТ - 2024), Тернопіль, 2024. - С.67-70.

Кінь.І. Комп'ютеризовані системи автоматизації технологічних процесів у промисловому виробництві / Ірина Кінь, Андрій Дунець, Роман Дякун // Збірник матеріалів науково-практичного симпозіуму «Технології інтернету речей: системи та рішення» (ТІР СТ - 2024), Тернопіль, 2024. - С.32-35.

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ПОРЦІЙНОГО МЕХАНІЗМУ

1.1 Дослідження місця порційних механізмів у сучасних технологічних процесах

Робота порційного механізму – це процес, під час якого механізм дозує матеріал або речовину у визначених порціях з дотриманням заданих параметрів. Цей принцип широко використовується в технологічних процесах, де важлива точність подачі, контроль кількості та якості змішування чи пакування. Контрольований процес вимірювання, подачі та розподілу певної кількості матеріалу, речовини чи енергії відповідно до заданих параметрів називається дозуванням. Інструменти для дозування можуть бути механічними, пневматичними, електронними або комбінованими залежно від вимог процесу. Вибір пристроїв для дозування залежить від дози та дотримання технологічних вимог, які висуваються під час цього процесу.

Сьогодні більшість дозувальних пристроїв є складними фізико-механічними системами, що функціонують під управлінням електронних або мікропроцесорних блоків керування. На рисунку 1.1 наведена класифікація дозуючих пристроїв [1].

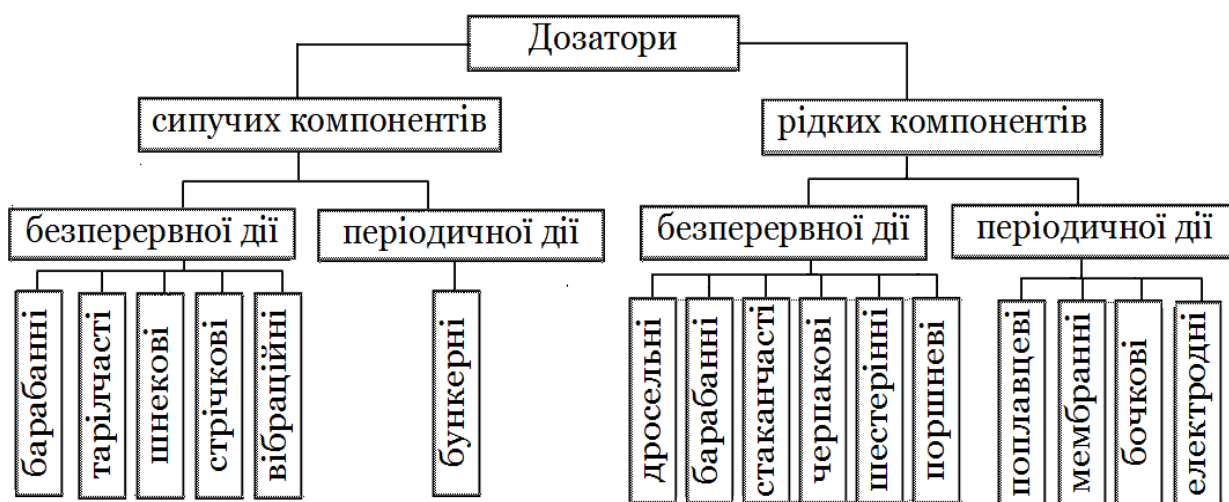


Рисунок 1.1 – Загальна класифікація дозаторів

Найпоширенішими способами дозування є: [2]:

- ваговий,
- об'ємний,
- комбінований,
- з корекцією за заданим параметром.

Ваговий спосіб забезпечує найточніше визначення дози матеріалу за масою. Вагові дозатори (автоматичні системи дозування) є високоточними автоматичними пристроями, що використовуються для дозування продукції у харчовій, будівельній та сільськогосподарській галузях. Їх зазвичай інтегрують у технологічні лінії підприємств.

Хоча вагові дозатори мають складнішу конструкцію, вони забезпечують мінімальну похибку навіть за змінних умов, таких як крупність матеріалу, його щільність, висота падіння чи інтенсивність наповнення. Завдяки цьому вони стали найбільш поширеними у використанні.

Приклад вагового дозатора наведений на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 – Ваговий дозатор

Принцип роботи вагового дозування відбувається в подачі матеріалу до зважувальної ємності за допомогою живильника. Спочатку створена подача так званої "грубої дози", яка зазвичай менша за необхідну масу. Потім матеріал

дозується невеликими порціями (тонке дозування або досипання) для досягнення необхідної маси в ємності [3]. Після завершення дозування матеріал переміщують на наступні етапи:

- вплив маси матеріалу на чутливий елемент зважувального пристрою;
- перетворення цього впливу в числове значення;
- реєстрація отриманого значення;
- порівняння його із заданим;
- формування команди для керування системою подачі продукції;
- відкриття заслінки ємності зважування.

До вагового способу дозування належить метод формування дози в силовому полі, наприклад, в електростатичному.

При застосуванні об'ємного способу дозування масу матеріалу, що дозується, визначають за його об'ємом. Приклад дозатора за об'ємом наведений на рисунку 1.2.



Рисунок 1.3 – Об'ємний дозатор

Дозувальні пристрої, які використовують цей метод дозування, складаються з кількох основних елементів [4]. Це бункер для накопичення матеріалу, живильник, який забезпечує рівномірне постачання матеріалу від бункера до дозувального механізму, сам дозувальний механізм, а також вивідний пристрій, що відповідає за переміщення матеріалу для подальшої

обробки або використання.

Використання об'ємного способу дозування значно спрощує сам процес, проте супроводжується похибками в обсязі доз. Цей фактор суттєво обмежує його застосування в деяких технологічних процесах. Результати роботи об'ємних дозувальних пристроїв в основному залежать від коливань ступеня ущільнення сипучих матеріалів, а також густини рідких, в'язких і пластичних матеріалів. Для досягнення мінімальної похибки необхідно забезпечити стабільний потік і контрольовану швидкість наповнення мірної ємності [5]. Крім того, для кожного типу дозувального пристрою важливо визначити коефіцієнт заповнення мірної ємності різними видами продукції, який, як правило, залежить від типу матеріалу та конструкції дозатора і визначається експериментальним шляхом.

Об'ємний спосіб дозування використовується для подачі матеріалів у невеликих дозах, коли похибка дозування є мінімальною. Продуктивність дозаторів об'ємного типу вища порівняно з ваговими дозаторами. Найкращі результати досягаються при дозуванні в'язких та пластичних матеріалів, коли зміни температури та тиску залишаються незначними.

До об'ємних дозаторів відносяться також пристрої, які працюють за такими принципами [4]:

- потокового типу, де доза пропорційна потоку матеріалу за заданий час;
- часового типу, де величина дози залежить від часу, протягом якого відмірюється матеріал;
- дозатори для штучної продукції, що відокремлюють і відраховують визначену кількість одиниць виробів з основного потоку для подальшого пакування.

Дозування з корекцією за заданим параметром можна визначити як за об'ємом, так і за масою. Під час такого процесу, окрім величини дози, контролюються цілий ряд параметрів, таких як: температура, тиск, концентрація тощо.

Для підвищення ефективності вагового дозування застосувати комбінований метод дозування. При цьому «грубе» та «точне» дозування здійснюється в різний час і просторі, що дозволяє поєднувати ці етапи. Залежно від порядку виконання операції формування дози, комбінований метод може бути названий «об'ємно- ваговий» або «ваговий подвійної дії».

Крім зазначених способів дозування, на практиці застосовується багатокомпонентне дозування із використанням одного або ж декількох із вище наведених способів.

За структурою робочого циклу дозування буває безперервним або дискретним [6].

Об'ємні дозатори безперервної дії забезпечують рівномірний потік продукту, при цьому обсязі матеріалу, що дається за одиницю часу, меншою швидкістю подачі або площею поперечного перерізу потоку. У дозуючих пристроях з постійним перерізом потоку використовують спеціальні привідні механізми для регулювання швидкості подачі продукту в межах, менших для процесу. У випадку іншого варіанту ці пристрої оснащуються механізмами, що не дозволяють змінити потік продукту під час його переміщення [7].

Дискретне дозування відбувається в короткому повторенні циклів вимірювання дози продукту та її подачі. При дискретному об'ємному способі дозатор вимірює порцію, фактично за допомогою мірної камери заданого обсягу. Цей метод дозування базується на відмірюванні дози певної маси [3].

У переробних виробництвах найбільш широкого використання отримали: об'ємний порційний і об'ємний безперервний способи.

Для приготування сумішей із сипучих продуктів у відношенні від конструкції робочого органу використовують різні об'ємні масові дозатори, такі як: барабанні, тарілчасті, шнекові, мірні ємності та бункерні з противагою.

Для дозування вологих розсипних продуктів необхідні набори стрічкових або шнекових транспортерів, обладнаних системами для регулювання витрат, які вмикаються в строго визначений час. Рідкі продукти, в основному, дозують за допомогою мірних ємностей різних конструкцій.

Для дозування сипучих харчових продуктів у великобаритну тару, таку як мішки та пакети, на переробних підприємствах застосовують вагові дозатори.

Барабанні дозатори поділяються на два типи: з циліндричними або гранованими барабанами, а також секторні.

Циліндричні, гладкі та дрібнорифлені барабани застосовуються для порошкових і дрібнозернистих матеріалів, тоді як грановані барабани підходять для дрібно- та середньокускових матеріалів.

Швидкість обертання барабанів становить 0,025 м/с, і зазвичай такі дозатори монтуються під бункерами. Коефіцієнт заповнення жолобів коливається в межах 0,8–0,9.

Шнекові дозатори використовують для подачі порошкоподібних матеріалів, таких як борошно, у випадку, коли можливість подрібнення окремих часток не має значення.

Вібраційні дозатори [4] підходять для роботи з природними матеріалами. Під час роботи виконується короткочасний відрив матеріалу від поверхні лотка, що забезпечує його перебування в стані вільного польоту протягом певного часу. Це зменшує тривалість контакту матеріалу з лотком і знижує знос останнього.

Стрічкові дозатори конструкції для подачі та дозування сипучих, слабосипучих і вологих матеріалів. Вони можуть встановлюватися як горизонтально, так і під нахилом. Верхня частина стрічки розташована на опорних роликах або ковзає по нерухомому металевому настилу. Уздовж стрічки встановлені борти, які що створюють жолоб. Конструкція бункера забезпечує запобігання прямому тиску матеріалу на стрічку. Висота шару матеріалу на стрижні регулюється за допомогою заслінки. Рекомендована швидкість руху стрічки становить 0,1-0,5 м/с.

1.2 Аналіз існуючих підходів до автоматизації порційних процесів

Однією з основних цілей управління об'єктами є стабілізація потоків матеріалів, тому для автоматизації виробничих процесів все більше використовують різноманітні дозувальні пристрої.

Системи автоматичного дозування (САД) — це пристрої, які здатні автоматично вимірювати й видавати задану кількість певних речовин. Усі системи дозування можна класифікувати за типом дозованих речовин на дозатори рідин, газів та сипких матеріалів.

Порційні САД використовуються для розфасування продукції в тару, а також під час циклу виробничих процесів. Системи дозування безперервної дії призначені для забезпечення стабільного постачання речовини, в основному в безперервних виробничих процесах.

Системи автоматичного дозування сипучих матеріалів поділяються на дискретні та безперервні [15]. Для матеріалів з мало змінюваною насипною вагою ефективно отримати простий об'ємний методом дозування, а для інших матеріалів застосувати – ваговий метод.

Дозатори дискретної дії речовини використовуються для змішування компонентів у циклічних технологічних процесах та для фасування продукту в тару. Вони виготовляються серійно для зважування від кількох грамів до тисяч кілограмів. Автоматичні вагові дозатори безперервної дії призначені для дозування матеріалів з іншими фізико-механічними властивостями, і їх продуктивність може досягати 500 т/год.

Дозувальні системи можуть мати різноманітні типи живильників і вагових механізмів, які працюють з електричним, гідравлічним або пневматичним керуванням [12]. Автоматичне безперервне вагове дозування матеріал може виконуватися за допомогою бункерних або стрічкових дозаторів. Спрощені схеми автоматизації бункерного (а) та стрічкового (б) вагових дозаторів показано на рисунку 1.9.

Система автоматики бункерного дозатора (рисунок 1.9, а) забезпечує регулювання витрат сипкого матеріалу через живильник 1, пропорційно змінює маси матеріалу в бункері 2, який вимірює ваговий датчик (наприклад, тензометричний) 3.

У стрічкових дозаторах (рисунок 1.9, б) подача сипкого матеріалу зростає навантаженням на ваговий чутливий елемент 9 та швидкість транспортера 10, виміряною тахогенератором 11. Це значення коригується регулятором 12, який діє на виконавчий механізм 7, який у своєму режимі регулює положення заслінки 8. Бункерні та вагові дозатори також можна використовувати для дозування в'язких рідин.

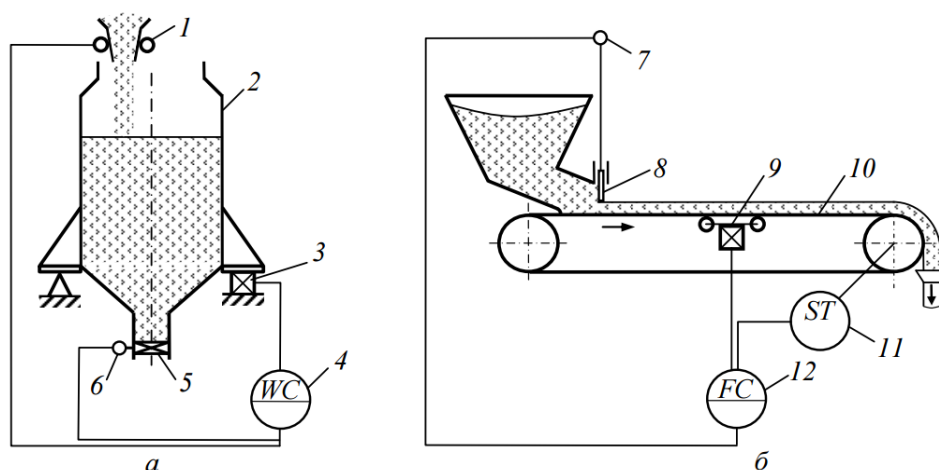


Рисунок 1.9 - Спрощені схеми автоматизації вагових дозаторів

Стрічковий стаціонарний дозатор з механічним зв'язком між датчиком і регулятором (рис. 1.10) для сипких матеріалів складається з приймальної лійки 5, короткого стрічкового конвеєра, який є ваговою платформою, та вагового приводного механізму з вантажоприймальним роликом, розташованим під ваговою частиною стрічки [9]. Стрічковий конвеєр змонтований на рамі дозатора, а його барабан 3 приводиться в рух електродвигуном 2. Приймальна лійка 5 розміщена на стояку 4.

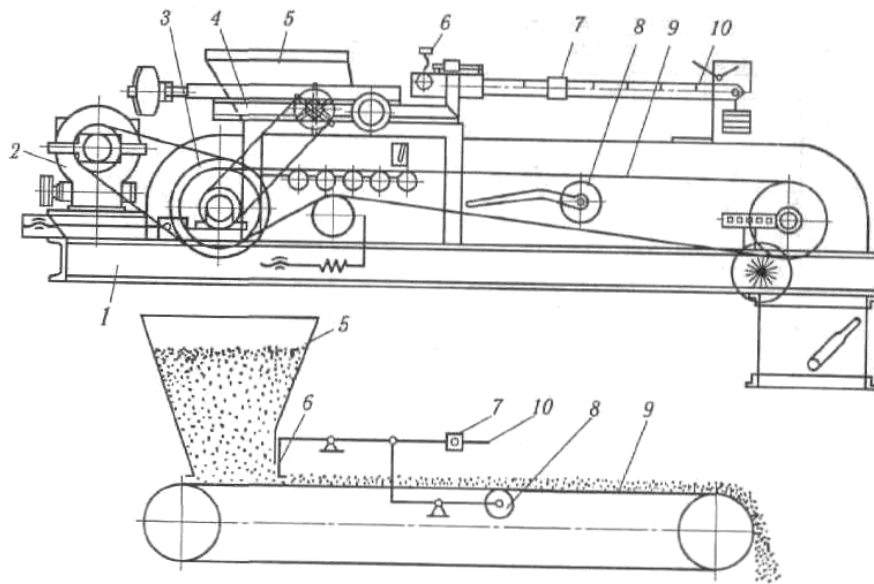


Рисунок 1.10 - Стрічковий стаціонарний дозатор з механічним зв'язком датчика та регулятора.

Матеріал з лійки надходить на стрічку дозатора, що захоплює матеріал і витягує його з лійки.

Ваговий механізм дозатора [16] складається з важеля з ваговим роликом 8 на одному плечі. На ролик відображається стрічка з матеріалом, що на ній знаходиться. Інше плече важеля з'єднується через тягу з коромислом 10, на якому закріплена гиря 7. Якщо матеріал надходить рівномірно, коромисло перебуває в рівновазі. При зміні маси матеріал змінюється також тиск на ролик. Якщо кількість матеріалу на стрічці збільшується, ролик опускається, а інший кінець важеля через тягу піднімає праве плече корони. Це, у свою чергу, призводить до опускання лівого плеча коромисла та заслінки 6, що зменшує впускний відвір приймальної лійки. У результаті вихідний матеріал на стрічку зменшується, поки не відновиться задана продуктивність. При зменшенні вмісту матеріалу на стрижні ролик збільшується, а коромисло збільшує заслінку, внаслідок чого збільшується подача матеріалу на стрічку.

Продуктивність дозатора, т/год $P = 3600vm$, де v — це швидкість стрічки м/с; m — маса матеріалу на 1 м стрічки, т/м.

У безперервних технологічних процесах активно застосовуються автоматичні дозатори безперервної дії, які дають визначену кількість матеріалу рівномірним потоком.

У ваговому дозаторі (рисунок 1.11) інтенсивність потоку матеріалу регулюється заслінкою 2, яка оснащена сервоприводом 3 [16]. У відношенні від матеріалів на стрічці ваговий конвеєр 1 змінює своє положення. Переміщення конвеєра фіксується датчиком 5, сигнал якого, пройшовши через підсилювач 4, регулює роботу сервоприводу заслінки, внаслідок чого підтримується задана продуктивність дозатора.

В об'ємному дозаторі (рисунок 1.12) регулювання шляхом зміни швидкості руху стрічки вагового конвеєра в залежності від кількості матеріалу на стрічці. Ваговий конвеєр 1 підвішений на тензометричний датчик 2, змінює матеріал на стрічці відповідно до зміни електричного сигналу датчика 2, який через підсилювач 3 активує командоапарат 4, збільшуючи його на більший чи менший коефіцієнт передачі.

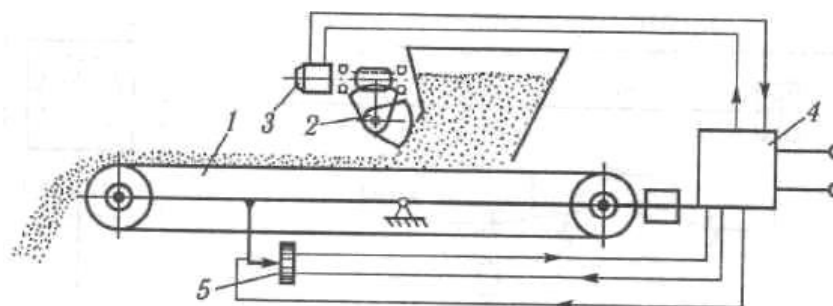


Рисунок 1.11 - Автоматичний ваговий дозатор з електричним зв'язком датчика і регулятора.

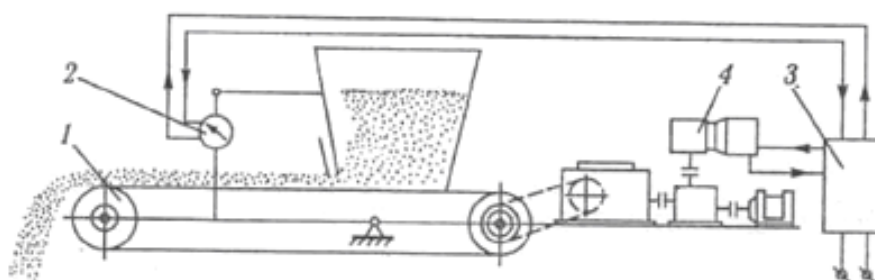


Рисунок 1.12 - Автоматичний об'ємний дозатор з електронною системою регулювання

Командоапарат змінює передаточне відношення варіатора 3, що, у свій час, впливає на частоту обертання ведучого барабана конвеєра.

Принцип дії автоматичного об'ємного дозатора відбувається у підтримці сталого матеріалу на транспортній стрічці, яка рухається з постійною швидкістю. При невеликій зміні матеріалу автоматично коригується продуктивність живильника.

Сучасні технологічні процеси часто включають операцію точного дозування різних сипких речовин, що входять до складу готового продукту. Компонентний склад продукту значною мірою використовує його споживчі характеристики та витрати на виробництво, що ставить високі вимоги до організації процесу дозування. Використання традиційних методів вагового дозування сипких матеріалів вимагає застосування складних і дорогих електромеханічних систем, значних витрат на їх обслуговування, а також необхідності спеціальної модернізації трубопр.

Системи автоматичного дозування забезпечують контроль та реєстрацію результатів дозування [14]. Сьогодні багато промислових підприємств все частіше переходять від простих дозуючих установок до комплексних систем дозування, які використовують у своїх виробничих циклах і включають модулі для зберігання, очищення, транспортування, дозування т.

Системи автоматичного дозування (САД) можуть бути як простими (одно- та багатокomпонентні дозатори для міксерів), так і складними цільними дозуючими системами, що складаються з кількох дозаторів, міксерів, систем транспортування компонентів і напівфабрикатів, а також додаткового дозування на різних етапах виготовлення [16].

Прикладом простої системи автоматичного дозування (САД) є бетонозмішувальні установки (БСУ), де після введення рецепту оператором усі компоненти направляються в міксер. Після перемішування отримується готовий продукт — бетон, який завантажується в автомобільний міксер і відправляється на будівельний об'єкт.

Прикладом складової системи автоматичного дозування (САД) є хлібобулочний комбінат, який після виробництва випускає одночасно багато видів булочних продуктів і використовує велику кількість сортів борошна та інших компонентів. Борошно одного сорту із силосу може подаватись у кількох дозаторах (через перемикання по напрямку пневматичного транспорту) і змішуватися з іншими сортами за допомогою дозаторів у певних пропорціях. Після цієї готової борошняної суміші подається в тістозмішувач іншим дозатором. Паралельно з дозатором борошняної суміші в тістозмішувачі містяться дріжджі, масла, інші рідкі компоненти та мікрокомпоненти (наприклад, спеції). Замість може відбуватися в кількох етапах, між якими буде отримано дозування різних компонентів. При використанні великої кількості споживачів, системи дозування повинні забезпечити різну швидкість подачі компонентів, щоб досягти за міксером. Після замісу та вистоювання тісто направляється в пекарню, де можуть бути додані ще інгредієнти (родзинки, горіхи тощо). Ще одним прикладом складної САД є система дозування на підприємствах з виробництва комбікормів та кормів для домашніх вихованців

Процеси зважування, дозування і змішування є основними та вихідними на таких заводах. Усі компоненти, що надходять на виробництво, мають різні фізико-механічні та хіміко-біологічні характеристики, проходять різні етапи обробки і змішуються на відповідних стадіях. Наприклад, вітаміни додаються мікродозаторами на завершальній стадії, після всіх термальних обробок, оскільки їх структура може бути зруйнована під впливом високої температури, і в такому разі їх додавання втрачає сенс. Невірне або неточне зважування та дозування потенційно до порушення компонентів, що закладені в рецептурі комбікормів, що знижує їх якість і поживну цінність, а в окремих випадках може спричинити захворювання тварин.

Усі дозатори в технологічній лінії повинні мати високу точність для забезпечення виробництва якісного продукту. Об'ємне дозування компонентів не гарантує точне збереження рецептури через непостійні сипучі властивості

цих матеріалів під час процесу дозування. Тому на виробництві кормів доцільно використовувати вагові тензометричні дозатори. Впровадження вагових тензометричних дозаторів, бункерних ваг та систем транспортування компонентів дозволяє автоматизувати виробничі процеси та мінімізувати похибки.

При виборі дозуючих машин для системи дозування, наприклад, комбікормів, необхідно забезпечити фізико-механічні властивості вихідних компонентів. Особливе значення має вологість, погіршений вміст води погіршує сипкість матеріалів, а деякі продукти, такі як крейда та сіль, мають властивість злежуватися. Тому для цих матеріалів не підходять дозатори з гравітаційним штателем, а краще використовувати шнекові дозатори. Системи дозування на підприємствах з виробництва комбікормів та кормів для домашніх тварин, забезпечуючи високу точність дозування, сприяють досягненню високої якості. Мікрокомпоненти можуть оброблятися за допомогою спеціальної системи дозування мікрокомпонентів або потокових установок для виготовлення суміші. Для роботи з матеріалами з низькими характеристиками плинності розроблені спеціальні комбінації бункерних вивідних пристроїв і шнекових дозаторів.

У системі дозування можлива обробка із будь-якими кількостями, від грамів до тонн, з дотриманням суворих стандартів точності. Крім того, ці системи можуть дозувати компоненти в заданій тимчасовій або логічній послідовності [16].

Автоматичні та напівавтоматичні системи дозування призначені для керування процесами переміщення та дозування компонентів, видачі оперативної інформації про відповідність рецептури, а також для моніторингу роботи механізмів системи та обліку витрат компонентів. Для автоматизованих систем дозування розробляються спеціалізовані програми управління, які не можуть задавати, коригувати та підтримувати рецептуру. Це надає значну перевагу атмосфері з ручними системами, не дозволяє швидко змінювати рецептуру і підтримувати точну інформацію.

2. ПРОЕКТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РОБОТОЮ ПОРЦІЙНОГО МЕХАНІЗМУ

2.1 Визначення вимог до автоматизації комп'ютеризованої системи управління

Процес дозування є базовою операцією у технологічному процесі приготування бетонної суміші, який складається з наступних технологічних операцій [12]:

- транспортування цементу, щебеню, піску в витратні бункери бетонозмішувального вузла;
- дозування компонентів бетонної суміші: піску; щебеню; цементу; води; хімічних добавок за допомогою дозаторів з похибкою не більше 2% від маси [17];
- перемішування складових бетонної суміші в бетонозмішувач, які надходять у наступній послідовності: щебінь, пісок, цемент, вода з розчином хімічної добавки. Тривалість перемішування повинна бути не менше 90 сек.;
- вивізка бетонної суміші.

Контроль точності дозування здійснюється не рідше одного разу на місяць за допомогою контрольних гир або електронних вантажів персоналом бетонозмішувального вузла. При похибці дозатора, що перевищує допустиму, дозатор підлягає ремонту і метрологічного огляду [18].

Підбір складу бетону повинен бути таким, щоб і бетонна суміш, і затверділий бетон мали необхідні для даного конкретного випадку властивості (легкоукладальність, міцність, морозостійкість), а вартість бетону була максимально низькою [12]. Загальна кількість наповнювачів і співвідношення великого і дрібного заповнювача розраховують так, щоб витрати цементу були мінімальними. Це досягається в тому випадку, якщо обсяг великого заповнювача у бетоні буде максимально можливим, а дрібний заповнювач займе порожнечі між зернами великого заповнювача. Цементне тісто

заповнює порожнечі між зернами піску (близько 35 ... 40% від обсягу піску) і пов'язує всі частинки один з одним. Приготування бетонної суміші повинне забезпечити одержання однорідної маси.

В цілому технологічний процес виробництва бетону зводиться до:

- точного визначення обсягів компонентів, що змішуються;
- ретельному змішуванню складових до однорідної маси;
- додавання води до консистенції густої сметани, коли готовий розчин легко "вливати", при цьому він повинен заповнювати всі порожнечі, не утворюючи повітряних порожнин. Надлишок води як і її недостатність призведе до усадки і розтріскування готових виробів та неякісним показникам міцності.

Спрощена схема технологічного процесу виготовлення бетонної суміші наведена на рисунку 2.1.

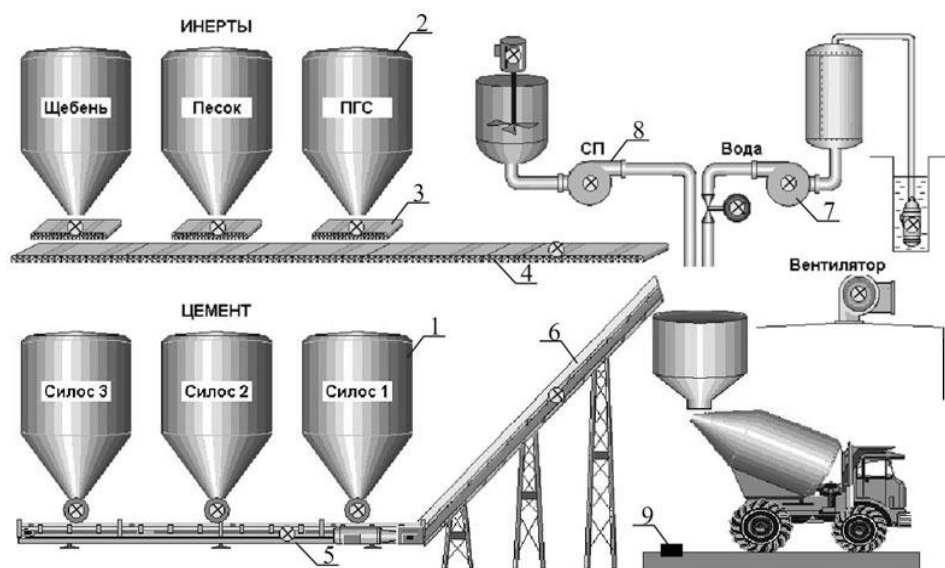


Рисунок 2.1 – Схема технологічного процесу виготовлення бетонної суміші

Найважливішою умовою приготування бетонної суміші із заданими показниками властивостей, а також забезпечення сталості цих показників від замісу до замісу є точність дозування складових матеріалів у відповідності з робочим складом бетону.

Дозування матеріалів виробляють дозаторами (мірниками) періодичної або безперервної дії. Перші можуть мати ручне, напівавтоматичне або автоматичне керування. Найбільш досконалі автоматичні дозатори по масі, що володіють високою точністю дозування, малою тривалістю циклу зважування і легкістю управління [17].

Тому у якості об'єкта керування приймемо ваговий дозатор для цементу неперервної дії (рисунок 2.2), де 1 - циферблат, 2 - тяга, 3, 9 - вагові важелі, 4, 10 - пневмоциліндри, 5 - лійки, 6, 7 - електропневматичні клапани, 8 - рама, 11 - ваговий бункер, 12 - випускний клапан, 13 - впускний клапан.

Основними технічними засобами для випуску бетонної суміші є видаткові бункери з розподільними пристроями, дозатори, бетонозмішувачі, системи внутрішніх транспортних засобів і комунікацій, роздатковий бункер.

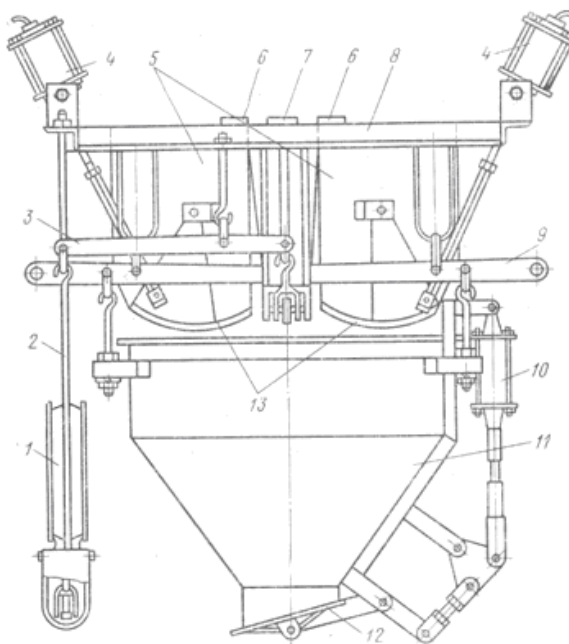


Рисунок 2.2 – Схема автоматичного вагового дозатора

Дозування складових матеріалів повинно проводитися за масою. Точність дозування цементу, активних добавок та води повинна бути не нижче 1% при приготуванні суміші на заводах і не нижче 3% – на бетонозмішувальних установках, для заповнювачів – відповідно на 2 і 3%. Допускається на дрібних бетонозмішувачах здійснювати дозування цементу

за масою, а заповнювачів за об'ємом з урахуванням їх вологості. Перевірка виготовлення бетону та його рухливості на місці приготування повинна проводитися не рідше двох разів на зміну за умови постійної вологості заповнювачів. Забороняється використовувати природну суміш піску та гравію без розсіювання на фракції.

Для опису технологічного процесу перемішування розглянемо технологічну схему, яка зображена на рисунку 2.3.

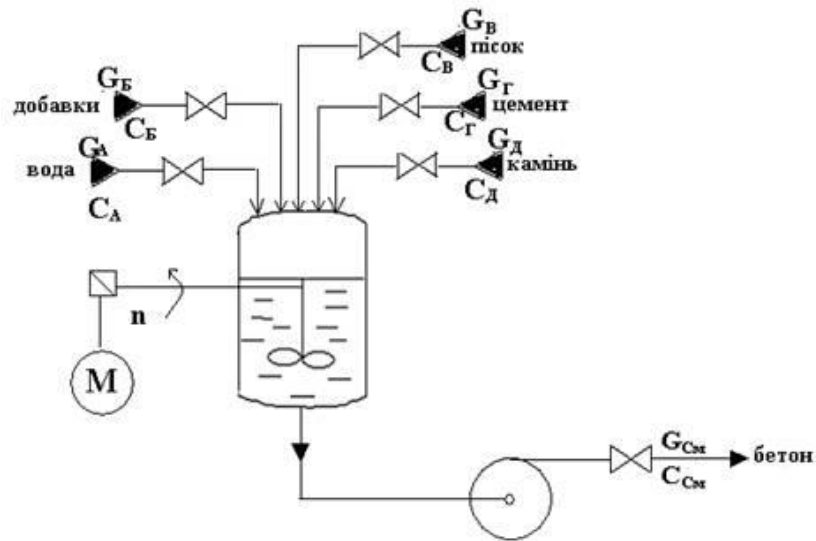


Рисунок 2.3 - Технологічна схема змішувача

В резервуар подаються речовини А, Б, В, Г і Д після чого відбувається перемішування цих речовин до тих пір доки суміш не досягне потрібної однорідності.

Показник ефективності процесу - концентрація суміші на виході з резервуару $C_{см}$. Ціль управління процесом - забезпечення заданої концентрації суміші при ефективному і інтенсивному перемішуванні.

2.2 Визначення параметрів контролю та регулювання

Показником ефективності процесу дозування є витрата дозуючого матеріалу, а метою керування – підтримання певного значення цієї витрати. Типова схема автоматизації процесу дозування наведена на рисунку 2.4.

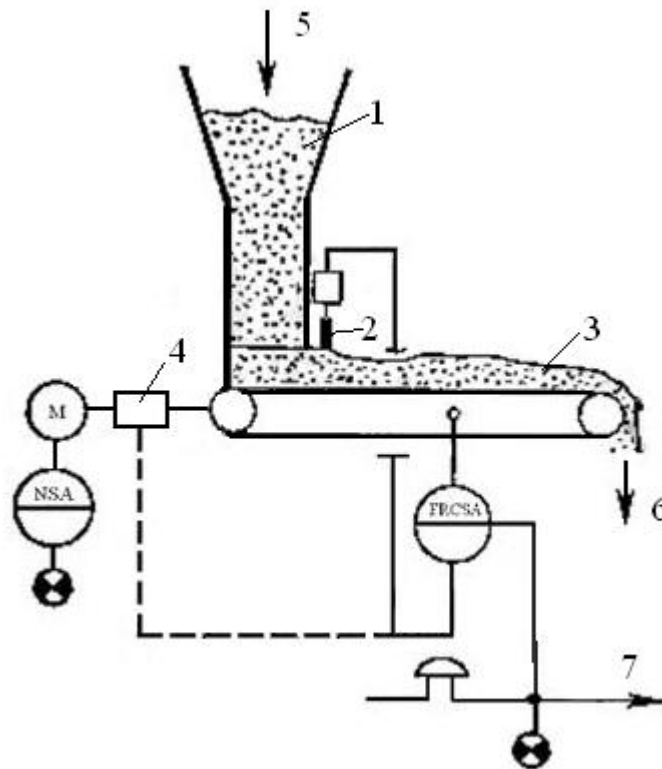


Рисунок 2.4 – Схема автоматизації процесу дозування

На рисунку 2.4 представлена типова схема автоматизації процесу дозування де: 1 – бункер; 2 – засувка; 3 – транспортер; 4 – варіатор; 5 – матеріал; 6 – вихід матеріалу; 7 – вихід в схему захисту і блокування.

Регулюючі впливи можуть здійснюватися шляхом цілеспрямованої зміни швидкості руху матеріалу за допомогою варіатора або іншого спеціального обладнання. Збурення можуть виникати через зміну розмірів частинок або зміни насипної щільності матеріалу. Насипна щільність, як правило, залежить від попереднього технологічного процесу, але також може варіюватися під впливом метеорологічних умов і вологості навколишнього середовища.

Зміни рівня вологості впливають на коефіцієнт внутрішнього тертя, що стає суттєвим джерелом збурень. У результаті об'єкт зазнає впливу цих збурень, які необхідно компенсувати регулюючими впливами, такими як коригування ступеня відкриття засувки або швидкості подачі матеріалу. При цьому витрата дозованого матеріалу виступає регульованою величиною.

Необхідно контролювати витрату матеріалу та його кількість, а також сигналізувати про значні відхилення витрати від заданого значення і стан привода дозатора (режими «Увімкнений» або «Вимкнений»). У разі повного припинення подачі матеріалу на стрічку транспортера захисні пристрої повинні автоматично зупинити роботу дозатора та інших пов'язаних механізмів.

На рисунку 2.5 наведена структурна інформаційна схема об'єкта керування [19] де:

- керовані змінні - C_{cm} , h_{cm} .
- можливі контролючі збурення: C_A , C_B , C_V , C_T , C_D ;
- можливі керуючі впливи: G_A , G_B , G_V , G_T , G_D , G_{cm} .

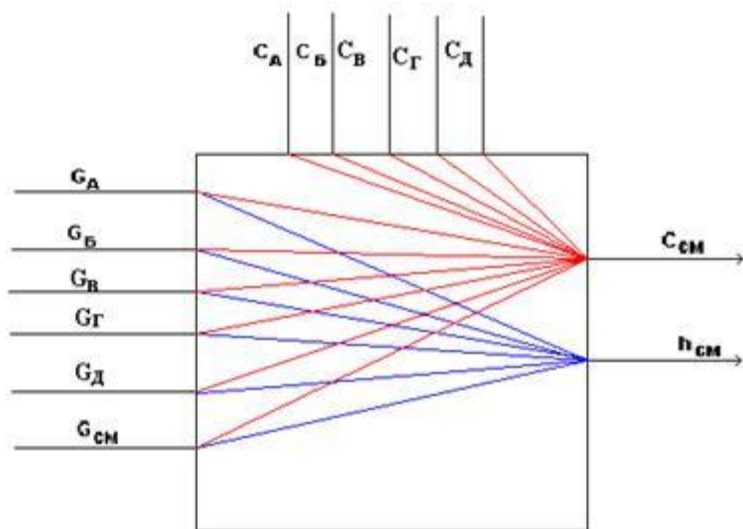


Рисунок 2.5 - Інформаційна схема об'єкта керування

Проаналізувавши рівняння динаміки та статички вибираємо регулюючі та регульовані параметри об'єкту. До регулюючих параметрів належать: витрата компонентів. Регульованими параметрами відповідно є: концентрація цільового компоненту у вихідній суміші і рівень в змішувачі.

Регулювання:

- концентрації C_{cm} за подачею реагенту G_A - як показника ефективності процесу перемішування з цілю отримання однорідної суміші;

- рівня в резервуарі h_{cm} за подачею реагенту G_B - для забезпечення матеріального балансу по рідкій фазі.

Контроль:

- витрати - $G_A, G_B, G_V, G_T, G_D, G_{cm}$;
- концентрація - C_{cm} ;
- рівень - h_{cm} .

Сигналізація:

- суттєві відхилення C_{cm} и h_{cm} від завдання;
- різке падіння витрати реагентів $G_A^-, G_B^-, G_V^-, G_T^-, G_D^-$, при цьому формується сигнал «В схему захисту».

Система захисту.

По сигналу «В схему захисту» - відключаються магістралі подачі компонентів G_A, G_B, G_V, G_T, G_D і відбору суміші G_{cm} .

В таблиці 2.1 приведені контрольовані параметри технологічного процесу виготовлення бетонної суміші.

Таблиця 2.1 - Контрольовані параметри

№ п/п	Обсяг автоматизації	Показ	Реєстрація	Сигналізація	Блокування	Автоматичне регулювання
	Назва параметра					
1	Витрата готового продукту	+	+	+	-	+
2	Витрата компонентів	+	+	+	+	+
3	Рівень суміші в резервуарі	+	+	+	-	+
4	Якість продукту	+	+	+	+	+

Виходячи з вищепроведених досліджень процесу перемішування можна зробити наступні висновки для проектування комп'ютеризованої системи регулювання подачі дозованого матеріалу та підбору технічних засобів автоматизації.

Для даної системи потрібно вимірювати: 5 точок витрат; 1 точка рівня;

1 точка концентрації; 1 точка швидкості обертання двигуна.

Для даної системи потрібно регулювати: 1 параметр співвідношення витрат; 1 параметр рівня; 1 параметр концентрації; 1 параметр швидкості обертання двигуна.

Відповідно до кількості параметрів регулювання потрібно підібрати регулюючі органи для кожного контуру регулювання, тобто нам потрібно 4 регулюючих органів.

Також для кожного контуру регулювання потрібно підібрати регулятори з відповідними законами регулювання для забезпечення якісного регулювання.

Система автоматизації складається з 2 контурів регулювання, які є одноконтурними і непов'язані між собою.

2.3 Побудова структури автоматизованої системи управління роботою порційного механізму

Автоматизація вагових дозувальних систем із застосуванням багатокомпонентних ваг [16] зосереджується на вдосконаленні систем управління живильниками, вагами та змішувачами, що передбачає використання більш сучасних, складних і дорогих центральних пультів автоматичного керування.

Задача забезпечення рівномірного заповнення певної ємності (бункера, бака тощо) сипучими матеріалами вирішується шляхом модернізації одного з ключових компонентів бетонозмішувальної установки — дозувально-змішувального відділення (ДСВ).

У даній роботі запропонована трирівнева структура комп'ютеризованої системи управління подачею дозованого матеріалу (рисунок 2.6). Верхній рівень представлений автоматизованим робочим місцем (АРМ) оператора, середній рівень займає пульт управління, а на нижньому рівні розташовані датчики та виконавчі механізми.

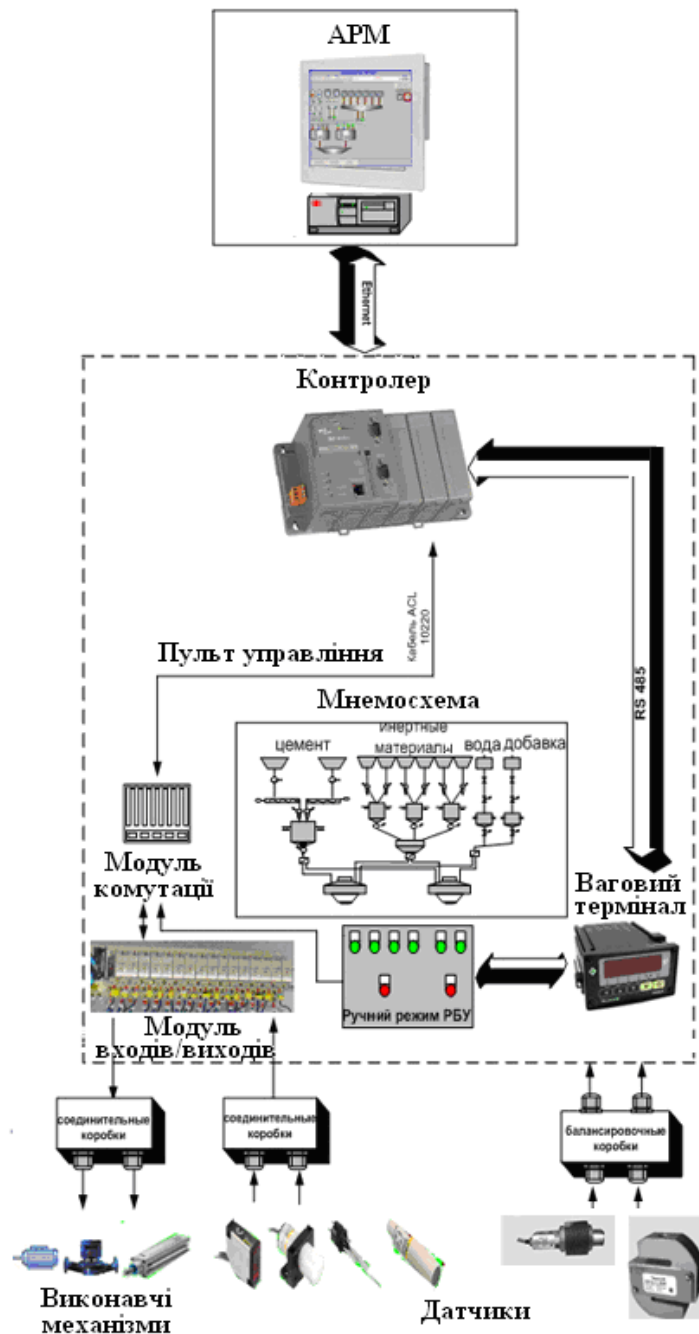


Рисунок 2.6 - Структура автоматизованої системи управління роботою порційного механізму

Основними функціями комп'ютеризованої системи управління роботою порційного механізму є візуалізація технологічного процесу, автоматичний контроль стану всіх виконавчих механізмів із формуванням попереджувальних і аварійних сигналів та діагностичних повідомлень, а також автоматичне коригування кількості дозованих матеріалів, води й інертних компонентів відповідно до рецептури з урахуванням їх вологості. Крім того,

система забезпечує стабілізацію водоцементного співвідношення (за наявності СВЧ-вологоміра), контроль рухливості та однорідності бетонної суміші, а також ведення протоколів роботи, створення архівів за звітний період і формування звітів про витрати матеріалів і обсяги виробленої продукції як в автоматичному, так і в ручному режимі.

На рисунку 2.7 представлено функціональну автоматизацію процесу дозування матеріалів у технологічному циклі виготовлення бетонної суміші. Вона демонструє основні компоненти, що беруть участь у дозуванні, включаючи сенсори, регулятори, приводи та інші елементи системи, які забезпечують точність подачі матеріалів і відповідність характеристикам готового продукту.

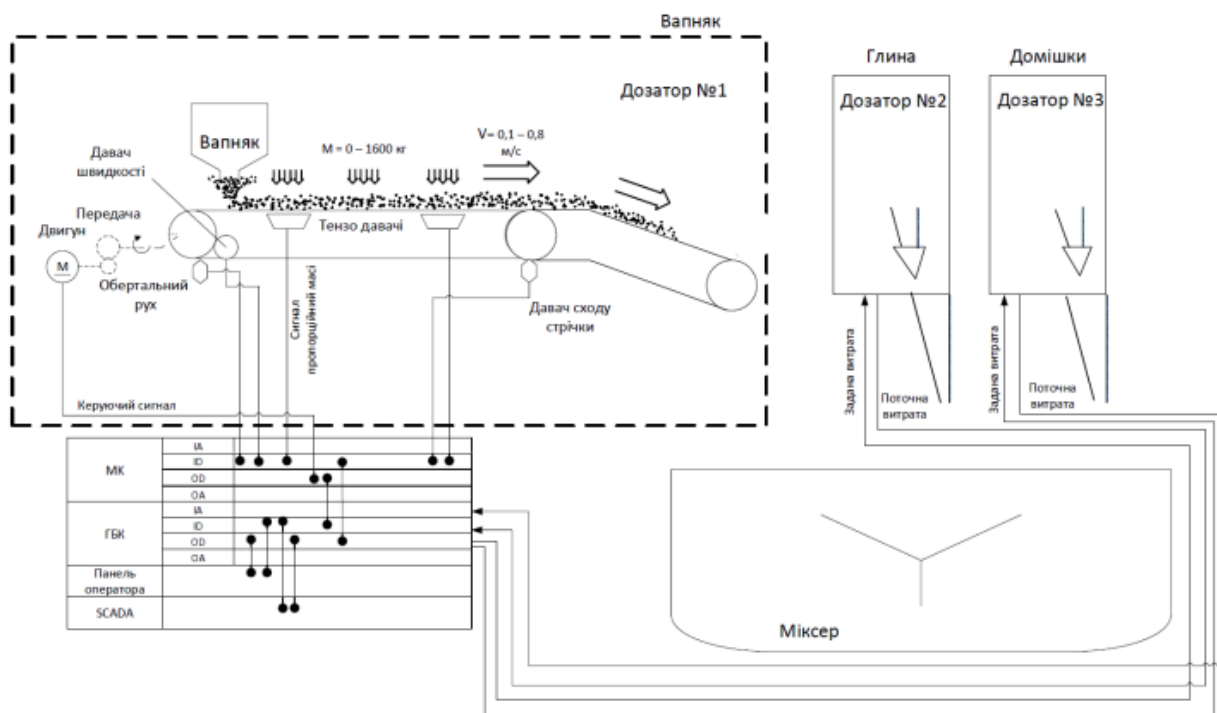


Рисунок 2.7 - Функціональна схема автоматизації технологічного процесу

Комп'ютеризована система управління процесом дозування в виробництві бетону включає кілька основних компонентів. До її складу входить програмно-технічний комплекс, пульт керування, який містить модулі входів/виходів, комутаційний модуль, ваговий термінал і контролер. Для забезпечення точності вимірювань використовуються тензометричні ваговимірювальні пристрої, що складаються з тензодатчиків, вузлів встройки

та вагових терміналів, встановлених на дозаторних ємностях.

Система також включає бункерні та конвеєрні дозатори для інертних матеріалів, таких як пісок і щебінь, дозатори цементу, води та хімічних добавок. Для ефективної роботи передбачено технологічне обладнання, системи пневмоавтоматики, силове електрообладнання та відповідні комплектуючі елементи.

2.4 Вибір компонентів системи

Дозатор піску та інших інертних матеріалів (таблиця 2.5) може функціонувати як під управлінням локального шафи управління, так і в складі автоматизованої системи управління (АСУ) [20]. При роботі в режимі локального керування кожен процес дозування або вивантаження активується натисканням оператором кнопки «Пуск», розташованої на панелі управління шафи.

Дозатор може працювати в двох режимах: грубого і точного дозування. Під час роботи дозатора на верхньому індикаторі вагового перетворювача відображається поточна вага матеріалу в ваговому бункері, а на нижньому індикаторі відображаються різні лічильники, що перемикаються по черзі: кількість схилів, сумарна вага дозованого продукту та інші параметри.

При управлінні дозатором через систему АСУ, користувач має можливість створювати базу рецептів, коригувати існуючі рецепти, задавати кількість циклів дозування, вести облік дозованих матеріалів та інші операції. Також система дозволяє здійснювати управління іншими видами обладнання, такими як інші дозатори, змішувачі та інші компоненти технологічного процесу. Технічні характеристики наведені в таблиці 2.2.

Стандартна комплектація дозатора піску та інших інертних матеріалів включає ваговий бункер на несучій рамі для підвішування до перекриття, розвантажувальну заслінку з пневмоприводом, дві або три дозуючі заслінки з пневмоприводом, ваговий транспортер для підвішування до перекриття, шафу

управління з пускорегулюючою апаратурою та ваговий перетворювач-контролер.

Таблиця 2.2 - Технічні характеристики дозатора піску та інших інертних матеріалів Гамма

Найбільша межа дозування (НМД), кг	1000; 2000; 3000
Найменша межа дозування (НмМД) кг	150; 300; 300
Електричне живлення	380В / 220В / 50Гц / 9кВА
Живлення стисненим повітрям, МПа	0,5-0,8
Продуктивність, доз/год	до 60
Діапазон робочих температур:	+ 1 ... + 40°C

Дозатори інертних матеріалів, таких як пісок і щебінь, мають кілька важливих особливостей. Дозуючі заслінки встановлені на рамі з можливістю переміщення, що дозволяє точно співвіднести фланці заслінок з відповідними фланцями конусів бункерів для інертних матеріалів. Вагова ємність дозатора з випускною заслінкою підвішена на рамі за допомогою чотирьох S-образних датчиків, які змонтовані таким чином, щоб вагову ємність можна було точно налаштувати по висоті та відрегулювати в горизонтальній площині. Прохідний перетин заслінок регулюється спеціальними упорами. Висока надійність заслінок забезпечується використанням якісних підшипників та апаратури пневмоавтоматики.

Дозатор цементу, сухих добавок та інших сипучих матеріалів може працювати як під управлінням локальної шафи управління, так і під контролем автоматизованої системи управління (АСУ) (таблиця 2.5) [21]. Якщо використовується локальне управління, кожен процес дозування або вивантаження матеріалу здійснюється після натискання операторами відповідної кнопки на дверцятах шафи, таких як «Дозування» або «Розвантаження дозатора». Існує можливість роботи в режимі грубої або точної подачі. Під час роботи дозатора на верхньому індикаторі вагового перетворювача відображається поточна вага матеріалу в ваговому бункері, а на нижньому індикаторі можна побачити один з кількох лічильників, що перемикаються по кільцю: кількість циклів, сумарну вагу віддозованого

продукту тощо. При управлінні дозатором через систему АСУ можна створювати та коригувати рецепти, налаштовувати кількість дозувальних циклів, вести облік матеріалу та здійснювати контроль за іншими дозаторами, змішувачами та іншими елементами обладнання.

Стандартна комплектація дозатора цементу, сухих добавок та інших сипучих матеріалів Гамма включає: ваговий бункер на несучій рамі для підвіски до перекриття, розвантажувальну заслінку з пневмоприводом, пульт керування, розвантажувальну заслінку Ду250, блок підготовки повітря та ваговий перетворювач-контролер. Технічні характеристики дозатора цементу, сухих добавок та інших сипучих матеріалів можна знайти в таблиці 2.3.

Дозатор цементу з двома шнековими гвинтовими живильниками має вагову ємність з випускною заслінкою, яка спирається на три тензометричних датчики балочного типу. Шнекові гвинтові живильники оснащені універсальними вхідними патрубками, що можуть вільно обертатися, що дозволяє точно поєднати вихідний патрубок живильника з вхідним патрубком дозатора.

Таблиця 2.3 - Технічні характеристики дозатора цементу, сухих добавок та інших сипучих матеріалів

Найбільша межа дозування (НМД), кг	200; 500
Найменша межа дозування (НмМД) кг	30; 60
Електричне живлення	220В / 50Гц / 50ВА
Живлення стисненим повітрям, МПа	0,5-0,8
Продуктивність, доз / год год (в разі управління від системи АСУ)	до 60

Дозатор води та рідких добавок Гамма 100-1 (таблиця 2.5) працює під управлінням вагового перетворювача-контролера ТВ-011, який вбудований у шафу автоматики, або через систему АСУ [22]. При управлінні через шафу автоматики процес дозування (слив дозованої кількості) активується натисканням кнопки «ПУСК» оператором. Дозатор може працювати в двох режимах: грубо / точно. Під час роботи ваговий перетворювач-контролер відображає поточну вагу в бункері, а також інформує про кількість циклів,

загальну вагу дозованого продукту та інші параметри.

При роботі під управлінням АСУ надається можливість створювати базу рецептів, коригувати існуючі рецепти, задавати кількість циклів дозування, вести облік продуктів та інші операції. Також є можливість управляти іншим обладнанням, зокрема іншими дозаторами, змішувачем тощо. Технічні характеристики дозатора води та рідких добавок наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 - Технічні характеристики дозатора води і рідких добавок

Ємність вагового бункера	100
Найбільша границя дозування (НПД), кг	100
Найменша границя дозування (НмПД) кг	15
Електричне живлення	220В / 50Гц / 50ВА
Живлення стисненим повітрям, МПа	0,5-0,8
Продуктивність, доз / год год (в разі управління від системи АСУ)	до 60
Діапазон робочих температур:	+ 1 ... + 40°C

Така конструкція блоку дозатора води та рідких добавок забезпечує високу точність дозування рідких компонентів суміші.

Таблиця 2.5 – Види дозаторів

Найменування дозатора	Зовнішній вигляд
Дозатор піску та інших інертних матеріалів	

Дозатор сухих добавок та сипучих матеріалів	
Дозатор рідких добавок	

2.5 Вибір технічних засобів автоматизації

ТЗА та управління включають апаратні, програмні та конструктивні засоби, а також комплекси цих засобів, що спрямовані на вирішення як типових, так і специфічних завдань автоматизації технологічних процесів [23].

Вибір технічних засобів значною мірою впливає на підвищення техніко-економічних показників системи управління технічними процесами та виробництвом загалом. Це включає такі аспекти, як якість управління, надійність, витрати на проектування, безпеку експлуатації, можливість адаптації системи до змін у властивостях об'єктів технічних процесів та умови

роботи оператора.

Згідно із стандартом, усі промислові засоби автоматизації технологічних процесів класифікуються за функціональними групами, що визначають їх відношення до системи. Ці групи включають: засоби на вході системи (датчики), засоби на виході системи (вихідні перетворювачі), засоби відображення інформації та команд управління процесом, включаючи (мовні засоби), внутрішньосистемні технічні засоби автоматизації (що забезпечують взаємозв'язок між пристроями з різними сигналами і машинними мовами), засоби для передачі, зберігання та обробки інформації, а також виконавчі пристрої.

Таке різноманіття груп, типів і конфігурацій ТЗА створює проблему вибору при проектуванні технічного забезпечення систем автоматизованого контролю технологічного процесу для кожного конкретного випадку.

Тензометричний датчик (тензодатчик) перетворює деформацію в сигнал, який зручний для вимірювання, зазвичай це електричний сигнал. Датчики типу STSC S-подібної конструкції (таблиця 2.5) застосовуються для вимірювання сил стиснення та розтягування.

Датчик виготовлений з нержавіючої сталі та використовується в таких сферах, як зважування цистерн, дозатори, бункерні ваги, розривні машини, а також у змішаних електронно-механічних терезах. На рисунку 2.8 зображена стандартна схема підключення тензодатчика STSC.

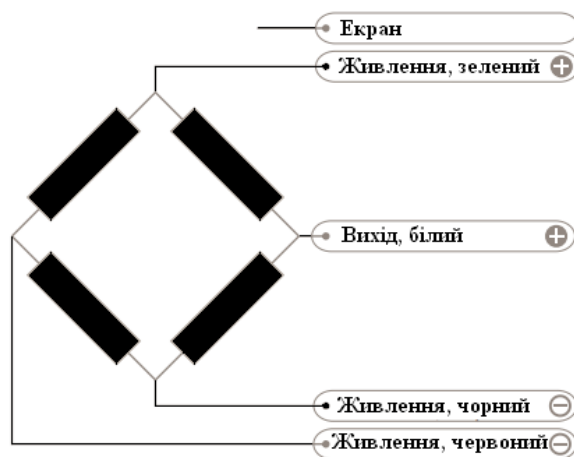


Рисунок 2.8 - Стандартна схема підключення тензодатчика STSC

Основними характеристиками тензодатчика є компенсація на широкий діапазон температур та висока чутливість. Ступінь захисту IP66 забезпечує можливість експлуатації датчика навіть у складних погодних умовах, у відкритих системах.

Залежно від конструкції та принципу дії датчики положення мають різні діапазони спрацьовування, точність і здатність виявляти об'єкти з різних матеріалів [26]. Фотоелектричні датчики мають найбільший діапазон виявлення, динамічний діапазон і точність (рисунок 2.13). Вибір відповідного типу дозволяє вирішувати практично всі завдання виявлення, за винятком випадків, коли потрібно працювати через непрозорі перешкоди або при великому рівні паразитного засвічення.

Фотоелектричні датчики мають найвищу відстань виявлення, динамічний діапазон та точність (таблиця 2.5). Завдяки вибору відповідного типу, вони здатні вирішувати майже всі завдання виявлення, за винятком випадків, коли необхідна робота через непрозору перешкоду або в умовах високого рівня паразитного засвічення.

Фотоелектричні датчики є досить складними пристроями, тому серед усіх датчиків положення вони мають найбільшу вартість. Номенклатура фотоелектричних датчиків надзвичайно широка, оскільки конструкція цих пристроїв оптимізується під конкретні завдання, що робить неможливим створення універсального рішення для всіх можливих умов використання.

Індуктивні датчики положення (таблиця 2.5) мають діапазон спрацьовування від 1 до 60 мм при точності в межах 10-20%. Вони зазвичай складаються з котушки індуктивності та схеми обробки сигналу, які поміщені в циліндричний або прямокутний корпус. Ці датчики призначені для виявлення феромагнітних об'єктів. Оскільки в їх складі немає дорогих компонентів, вони є найбільш економічними і широко використовуваними в промисловій автоматизації. Параметри таких датчиків, що випускаються різними виробниками, зазвичай схожі, тому при виборі постачальника важливими

критеріями можуть бути надійність і тривала стабільність роботи датчика. За цими показниками датчики SICK мають найвищий рейтинг.

Індуктивні датчики SICK у промисловій автоматизації здебільшого використовуються так само, як кінцеві вимикачі або обмежувачі. Котушка індуктивності всередині корпусу датчика створює змінне магнітне поле на його фронтальній частині. Коли металевий об'єкт потрапляє в зону цього поля, змінюється амплітуда коливань контуру, що спричиняє спрацювання датчика та зміну його вихідного сигналу. Оскільки ці датчики реагують лише на металеві об'єкти, вони не чутливі до різних перешкод, таких як сторонні предмети, руки оператора чи забруднення.

Індуктивні датчики SICK представлені різними серіями, серед яких є мініатюрні датчики IM з різьбленням M4 і M5 в корпусі з нержавіючої сталі, стандартні датчики IM у корпусах від M08 до M30 з відстанню спрацювання від 1.5 до 20 мм, а також доступні датчики IME з уніфікованими робочими характеристиками. Крім того, є моделі Triplex з розширеним діапазоном сканування та IM EX, які призначені для роботи у вибухонебезпечних середовищах.

Індуктивні датчики SICK також включають прямокутні моделі IQ, які мають як мініатюрні, так і стандартні корпуси з відстанню спрацювання до 60 мм. Є також циліндричні датчики без різьби, наприклад, серія IN, яка охоплює моделі з діаметром від 3 мм і вище, в металевих і пластикових корпусах. Для харчової промисловості є спеціальні моделі IMF, а також серія INOX, що виготовляється в повністю металевих корпусах для важких умов експлуатації з рівнем захисту IP68 / IP69K.

Діапазон спрацювання ємнісних датчиків положення варіюється від 2 до 25 мм з точністю близько 20%. Вони активуються при зміні ємності простору перед датчиком, коли в цей простір входить об'єкт, структура якого відрізняється від структури повітря. Цей об'єкт не обов'язково має бути твердим. За правильного налаштування такі датчики можуть використовуватися для визначення рівня заповнення неметалевих ємностей

через їх стінки. Ємнісні датчики ідеально підходять для роботи з сипучими та рідкими середовищами.

Ємнісні датчики SICK AG (таблиця 2.5) призначені для безконтактного виявлення об'єктів, виготовлених з різних матеріалів, як металевих, так і неметалевих (наприклад, сипучі матеріали, рідини, зернисті речовини) на відстані до 25 мм. Ці датчики здатні визначати наближення і присутність об'єктів, що робить їх ідеальними для моніторингу рівня заповнення бункерів з рідинами чи сипучими матеріалами, а також для контролю вмісту закритих упаковок. Датчики мають широкий робочий діапазон температур і велику відстань спрацьовування. Вони доступні в циліндричних (CM) та прямокутних (CQ) корпусах і можуть бути встановлені як урівень, так і з піднесенням над площиною монтажу.

Ємнісні датчики SICK мають високу стійкість до впливу електромагнітних полів і відповідають класу захисту IP 67 / IP 68, що дозволяє їм ефективно працювати в складних умовах експлуатації. Крім того, ці датчики оснащені вбудованим захистом від короткого замикання та переполюсовки напруги живлення, що підвищує їх надійність і довговічність.

Ультразвукові датчики положення мають діапазон спрацьовування від 30 мм до 8 м і точність близько 2%. Вони активуються при виявленні відбитого ультразвукового імпульсу від об'єкта, при цьому тип об'єкта не має значення. Важливо, щоб рівень відбитого сигналу був вищий за поріг спрацьовування датчика. Найкраще ці датчики працюють з гладкими дерев'яними та металевими поверхнями, з картоном - дещо гірше. Складнощі виникають, коли на поверхні об'єкта є поглинаючі шари, наприклад, ворсова тканина або хутро, а також на великих відстанях через нерівності або розсіюючі структури поверхні.

Ультразвукові датчики є універсальними засобами вимірювання відстані, здатними працювати з будь-якими матеріалами та точно визначати положення і відстань до об'єкта навіть у складних умовах, з точністю до міліметра.

На відміну від фотоелектричних датчиків, вони не залежать від зовнішніх факторів, таких як пил, дим чи шум, що дає змогу здійснювати вимірювання в таких середовищах. Ці датчики можуть вимірювати відстань до об'єктів будь-якої форми, кольору, розміру та матеріалу, з діапазоном спрацьовування від 100 мм до 6 м.

Ультразвукові датчики складаються з передавача і приймача ультразвукових хвиль, що інтегровані в один корпус. Принцип роботи заснований на вимірюванні часу проходження ультразвукової хвилі, відбитої від об'єкта в межах робочого діапазону. Залежно від потреби, ці датчики можуть мати як цифрові, так і аналогові виходи.

Серед основних переваг ультразвукових датчиків можна відзначити безконтактне визначення об'єкта і його відстані за допомогою ультразвуку, високу точність вимірювань, широкий діапазон сканування, можливість виявлення прозорих об'єктів та рідин, а також стійкість до забруднень навколишнього середовища. Крім того, ці датчики мають компактний дизайн і захищений корпус з класом захисту IP65, а також оснащені захистом від короткого замикання.

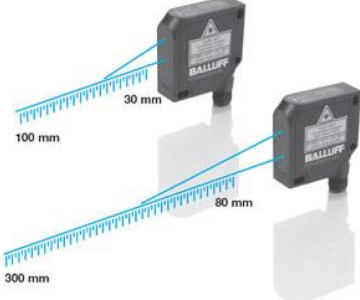
Оптичні датчики (таблиця 2.5) призначені для вирішення задач визначення положення, швидкості та напрямку обертання об'єктів, виготовлених з неферромагнітних матеріалів. Це основна відмінність їх від магнітних датчиків Холла. До прикладів таких об'єктів відносяться грошові купюри, монети, жетони, що потрапляють у щілину автомата, а також пластикові диски, мітки, картки тощо.

Датчики магнітного поля на основі ефекту Холла ефективно виявляють положення, присутність, лінійне переміщення та кутові зміни ферромагнітних об'єктів. Однак для виявлення об'єктів з інших матеріалів, таких як пластмаса, папір або картон, потрібні більш складні рішення. У таких випадках оптичні інфрачервоні (ІЧ) датчики, наприклад від Honeywell, пропонують широкі можливості завдяки своїй схемотехнічній гнучкості.

Принцип роботи цих приладів базується на перериванні або відображенні інфрачервоного променя, коли він стикається з оптично непрозорим об'єктом, що перебуває в полі зору датчика. Конструктивно ці датчики складаються з інфрачервоного випромінювача та приймача, які інтегровані в одному корпусі.

Таблиця 2.5 – Давачі, що застосовуються у системі управління роботою порційного механізму

Найменування давача	Зовнішній вигляд
Тензодатчик STSC	
Фотоелектричні датчики положення	
Індуктивні датчики положення	
Ємнісні датчики SICK AG	

Ультразвукові датчики положення	
Оптичні датчики положення	

Тиск у газоподібних та рідких середовищах є одним із ключових параметрів, що вимагає вимірювання для належного обслуговування комунікаційних та технологічних систем [27].

Диференційний манометр (ДМ) — це прилад для вимірювання різниці (перепаду) тиску. Він також використовується для визначення рівня рідин, а також для вимірювання витрат рідини, пари або газу методом перепаду тиску (рисунок 2.9).



Рисунок 2.9 – Диференційний манометр

Диференційний манометр дозволяє не лише вимірювати поточний тиск, але й фіксувати різницю між динамічними показниками, що сприяє більш точному контролю за системою та підвищує надійність її роботи. Крім того,

ДМ використовуються для вимірювання витрат газу, стисненого повітря або рідини.

Диференційні манометри можна класифікувати за принципом дії на рідинні та механічні [28]: рідинні манометри вимірюють тиск або розрідження, врівноважуючи його стовпом рідини, і поділяються на трубні, поплавкові, кільцеві та дзвонові. Механічні манометри працюють на основі пружних деформацій чутливих елементів, таких як мембрани, пружини чи сильфони, де деформація елемента пропорційна вимірюваному тиску.

Механічні диференційні манометри поділяються на мембранні з плоскою металевою мембраною, на мембранні з неметалевою мембраною, та сильфонні манометри.

У процесі виробництва бетонної суміші виникає потреба у вимірюванні рівня рідин і сипучих матеріалів, а також у сигналізації про досягнення мінімальних або максимальних рівнів у резервуарах і апаратах. Іноді рівень є основним, а в деяких випадках і єдиним параметром, що використовується не лише для управління технологічним процесом, а й для обліку сировини та готової продукції в сховищах і резервуарах.

Сучасні засоби вимірювання рівня можна поділити на дві основні групи: рівнеміри та сигналізатори рівня. Вибір методу вимірювання залежить від умов роботи та характеру середовища, в якому проводяться вимірювання. Рівнеміри можуть забезпечувати дистанційну передачу даних або надавати можливість візуального зчитування показників безпосередньо на місці їх встановлення.

Вимірювання рівня рідин у резервуарах та баках є важливою складовою багатьох галузей промисловості, науки та техніки. Це необхідно для забезпечення ефективного контролю технологічних процесів, управління запасами та підтримки безпеки в різних виробничих системах.

Основними групами рівнемірів є [28]:

- візуальні (за допомогою водомірного скла);

- гідростатичні методи вимірювання рівня визначають рівень рідини шляхом вимірювання тиску, що виникає на дно резервуара внаслідок ваги рідини. Для цього вимірюється різниця між тиском рідини та атмосферним тиском за допомогою диференціального манометра;

- електромеханічні та механічні, зокрема поплавкові та буйкові;

- електричні методи вимірювання рівня включають кондуктометричні, де рівень перетворюється в зміну електричного опору, та ємнісні, де рівень визначається через зміну ємності між електродами, що розташовані в резервуарі.

Найпоширенішими типами рівнемірів, що застосовуються в промисловості є поплавкові рівнеміри - принцип роботи заснований на відсліджуванні рівня рідини за допомогою поплавка. Питома густина поплавка менша, ніж рідини, тому він завжди знаходиться на її поверхні. Переміщення поплавка перетворюється у вихідний сигнал відлікових пристроїв, що може здійснюватись за допомогою звичайних механічних пристроїв або з перетворенням переміщення в електричний сигнал за допомогою різних вимірювальних перетворювачів.

Механічні рівнеміри є простими пристроями, в яких поплавок закріплений на мірній стрічці з перфорацією. Коли рівень рідини змінюється, і поплавок переміщається, стрічка входить в зчеплення з виступами мірного шківів механічного відлікового пристрою. Це дозволяє виміряти рівень рідини за допомогою десяткового лічильника з кількома барабанами, де найменша поділка становить 1 мм. Ці рівнеміри зазвичай використовуються для вимірювання рівнів рідких нафтопродуктів, мають верхню межу вимірювання до 20 м та похибку до ± 4 мм.

На рисунку 2.10 показана схема поплавкового рівнеміра з реостатним перетворювачем переміщення та логометричним вимірювальним пристроєм полягає в тому, що поплавок, що плаває на поверхні рідини, переміщується в залежності від рівня рідини. Це переміщення передається на реостатний перетворювач, який змінює своє електричне опір залежно від положення

поплавка. Потім зміна опору перетворюється в електричний сигнал, що надходить на логометричний вимірювальний пристрій. Цей пристрій обробляє сигнал і надає точні дані про рівень рідини в реальному часі, що дозволяє здійснювати моніторинг і контроль рівня рідин у резервуарах або інших контейнерах.

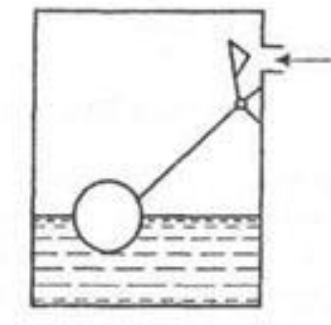


Рисунок 2.10 - Схема поплавкового рівнеміра

Робота буйкових рівнемірів полягає у виштовхувальній силі, що діє на занурене у рідину тіло. У випадку буйкових рівнемірів, циліндричний буйок, довжина якого значно більша за діаметр, занурюється в рідину (рисунок 2.11).

Питома густина буйка набагато більша за питому густину рідини, що дозволяє йому плавати на поверхні. При зміні рівня рідини буйок піднімається або опускається, і це переміщення фіксується за допомогою різних механізмів, таких як реостатні або магнітні перетворювачі. Вихідний сигнал, що змінюється в залежності від рівня рідини, може бути використаний для подальшого аналізу або контролю в автоматизованих системах.

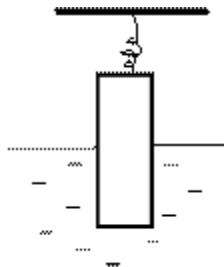


Рисунок 2.11 - Схема буйкового рівнеміра

Буйок механічно з'єднаний з чутливим елементом вторинного перетворювача, і його рух обмежений пружиною, один кінець якої

закріплений на верхній частині буйка, а інший — на нерухомій частині перетворювача. Завдяки цьому буйок, вільно закріплений на пружині, перетворює великі зміни рівня (до 10-20 м) у невеликі переміщення буйка та чутливого елемента. При зміні рівня рідини на буйок діє підйомна сила, яка змушує пружину стискатися. Це переміщення впливає на чутливий елемент, наприклад, плунжер індуктивного чи взаємодійного перетворювача, змінюючи вихідну індуктивність, електричний опір або вихідну електрорушійну силу (ЕРС).

Функцію перетворення буйкового датчика можна визначити, враховуючи такі фактори. Коли буйок занурюється в рідину, на нього починає діяти сила виштовхування:

$$F_x = S(H-x) \rho_p g,$$

де H - рівень рідини; x - переміщення буйка; S - площа поперечного перерізу буйка; ρ_p - питома густина рідини; g - земне прискорення. Сила пружності пружини змінилася на величину $F_{np} = Wx$, де W - штивність пружини.

Прирівнявши ці дві сили, отримаємо

$$x = H \frac{1}{1 - \frac{W}{\rho_p g S}}.$$

В останній час набули популярності буйкові та поплавкові рівнеміри з силовою компенсацією, а також перетворювачі зі статичним зрівноваженням.

Для вимірювання рівня суміші в резервуарі використовуємо поплавковий магнітний рівнемір ОВЕН ПДУ (рисунок 2.12).



Рисунок 2.12 - Поплавковий магнітний рівнемір ОВЕН ПДУ

Це пристрій, який призначений для моніторингу поточного рівня рідини в резервуарі та перетворення значення, яке вимірюється в уніфікований вихідний сигнал від 4 ... 20 мА постійного струму [29]. Рівнеміри можуть використовуватися для контролю рівня рідини в різних резервуарах, зокрема й у тих, що знаходяться під тиском. Робоче середовище для цих датчиків включає хімічно нейтральні та агресивні рідини, які не викликають корозійних реакцій з матеріалом датчика (нержавіючою сталлю 12Х18Н10Т) і не утворюють вибухонебезпечних летючих з'єднань.

2.6 Організація автоматизованого робочого місця оператора

Система управління передбачає організацію автоматизованого робочого місця (АРМ) оператора на основі SCADA системи. На робочому місці оператора встановлено виносний пульт управління, що оснащений кнопками та компактним світлодіодним індикатором СМІ2 (рисунок 2.13 [30]).



Рисунок 2.13 - Індикатор СМІ2, ОВЕН

ОВЕН СМІ2 – це індикатор, який використовується для відображення інформації оператору через протоколи Modbus RTU/ASCII та ОВЕН. Він працює в мережі RS-485. Яскравий світлодіодний дисплей та велика висота символів (14 мм) забезпечують хорошу видимість значення на великій відстані. Пристрій має просту настройку та легкий монтаж у стандартний отвір для світлосигнальної арматури діаметром 22,5 мм.

Індикатор СМІ2 є зручним засобом для відображення оперативної інформації. На ньому виводяться дані в текстовому та числовому форматах, такі як режим роботи, виконувана операція, маса матеріалу у ваговому бункері, стан системи та інші важливі параметри.

Система працює в трьох основних режимах: автоматичному, ручному (для виконання окремих операцій технологічного циклу) та режимі налагодження, який використовується для пуско-налагоджувальних робіт та налаштування обладнання.

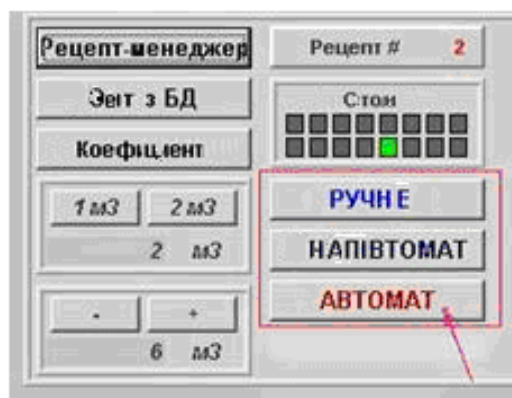


Рисунок 2.14 – Вікно вибору режиму роботи установки

В автоматичному режимі бетонозмішувальної установки оператору достатньо вибрати рецептуру бетонної суміші та запустити процес. Подальші етапи — від дозування і змішування до вивантаження суміші в автомобільний бетонозмішувач — виконуються без участі оператора. Оператор лише контролює хід технологічного процесу на екрані монітора, а облік сировини та готової продукції також відбувається автоматично.

У ручному (налагоджувальному) режимі оператор керує процесом за допомогою пульта управління, по черзі включаючи бетонозмішувач, дозуючи компоненти суміші за допомогою вагових терміналів, відкриваючи шибер бетонозмішувача і вивантажуючи суміш у автомобільний бетонозмішувач. Особливістю цього режиму є те, що облік витрат сировини та виходу готової продукції здійснюється автоматично, без участі оператора.

Крім того, оператор має можливість оптимізувати часові параметри та

циклограму роботи в напівавтоматичному режимі.

Управління лінією вагового дозування сипких матеріалів значно покращено завдяки використанню НМІ-засобів ОВЕН, зокрема світлодіодного індикатора СМІ2 та сенсорної панелі СП270 (рисунок 2.15) [30].

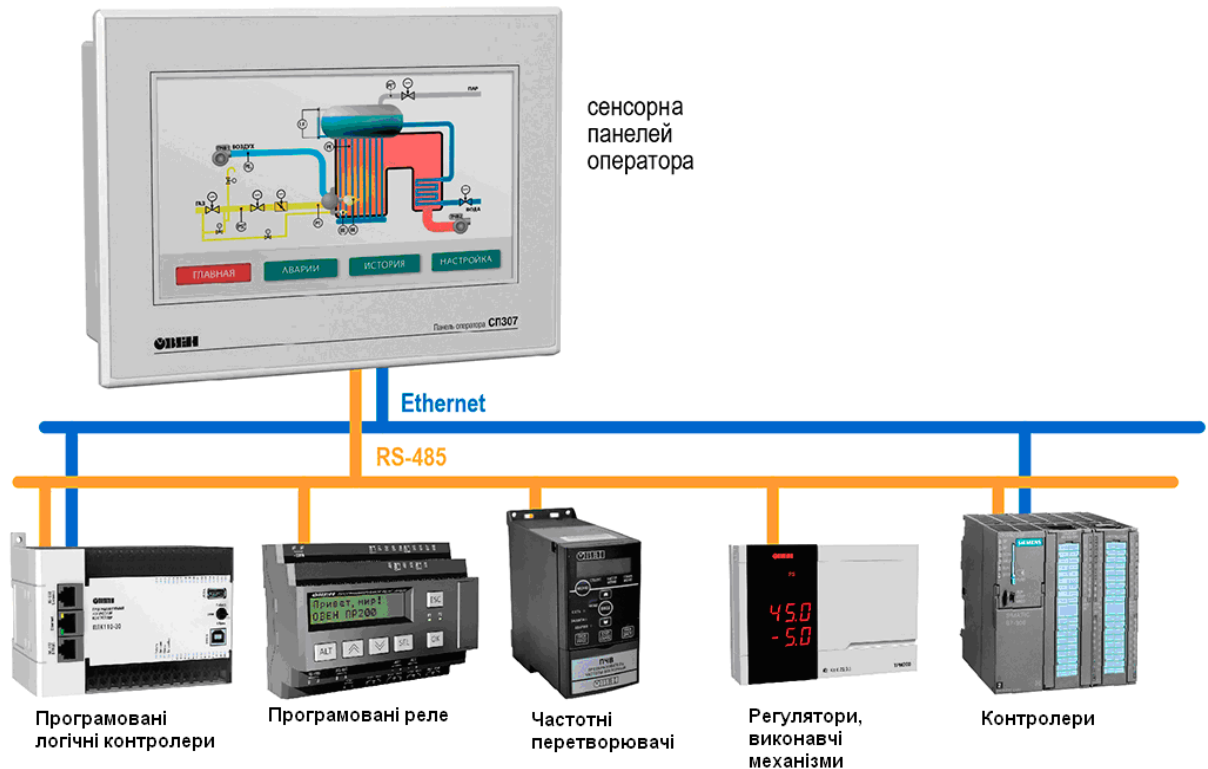


Рисунок 2.15 - Сенсорна панель СП270

Для СП270 розроблено зручний та інтуїтивно зрозумілий графічний інтерфейс оператора, що дозволяє без труднощів налаштовувати систему на потрібну масу та точність дозування матеріалу, коригувати параметри роботи установки, а також оперативно контролювати стан системи та виконувати інші налаштування.

Статистичні дані роботи лінії зберігаються модулем ОВЕН МСД200 (рисунок 2.16) на SD-карті пам'яті. За необхідності ця інформація може бути передана на віддалений ПК і завантажена в базу даних програми 1С для подальшої обробки та аналізу.



Рисунок 2.16 – Модуль збору даних ОВЕН МСД200

Розроблена локальна система обігріву щита управління з індикацією внутрішньої температури повітря, що реалізована на базі вимірювача-регулятора ОВЕН ТРМ201 [30].



Рисунок 2.17 - Терморегулятор ОВЕН ТРМ201

Терморегулятор ОВЕН ТРМ201 із підтримкою інтерфейсу RS-485 використовується для вимірювання, контролю та регулювання температури в теплоносіях та різноманітних середовищах, зокрема в холодильному обладнанні, сушильних шафах і печах різного призначення.

Результати модернізації АСУ:

- значне підвищення продуктивності;
- поліпшення якості виробленої продукції (бетонної суміші) завдяки високій точності дозування компонентів, автоматичному контролю рухливості та гомогенності суміші, а також дотриманню технологічного регламенту з мінімізацією людського фактора;

- можливість документально підтверджувати якість кожної партії бетону. При потребі доступні звіти по кожній дозі суміші із зазначенням заданих рецептом і фактично використаних компонентів;
- зниження витрат завдяки оптимальному використанню сировини;
- автоматизований облік витрат цементу, піску, щебеню, води, хімічних добавок і обсягу виробленого бетону.

Інструментальна система TRACE MODE 6 (рисунок 2.18) є універсальним інструментом для розробки та налагодження додатків, призначених для автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУТП) та систем управління виробництвом (АСУВ).

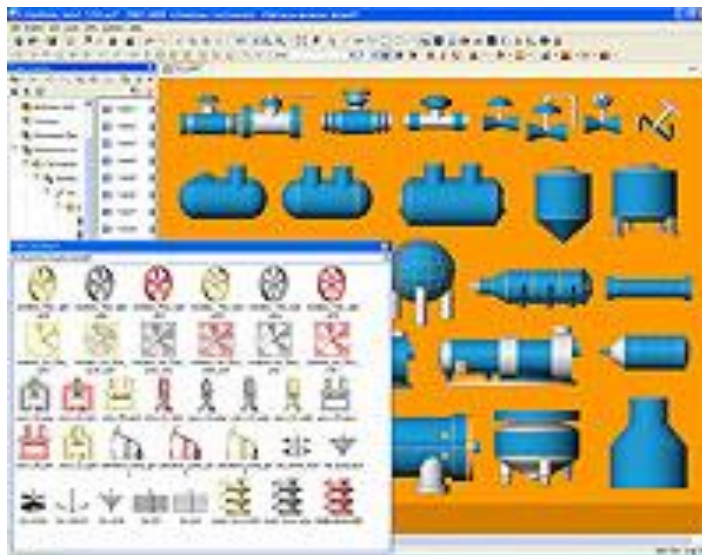


Рисунок 2.18 – Інструментальна система TRACE MODE 6

Інструментальна система TRACE MODE 6 складається з інтегрованого середовища розробки та профайлера, що виконує функції налагоджувального монітора в реальному часі. Ця унікальна програмна платформа об'єднує всі основні компоненти, зокрема:

- SOFTLOGIC — модуль для програмування контролерів.
- SCADA / HMI — система для створення розподілених автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУТП).

- MES-EAM-HRM — економічні модулі, інтегровані в платформу T-FACTORY.exe, що забезпечують створення автоматизованих систем управління виробництвом (АСУП) з повною інтеграцією в АСУТП.

Інтегроване середовище розробки TRACE MODE 6 дає можливість поступово розширювати функціональність АСУ. Розробка може починатися з простого моніторингу та візуалізації технологічного процесу на одному ПК (SCADA / HMI) і розвиватися до впровадження складних контурів управління, організації розподілених обчислень, додавання робочих місць і підключення економічних модулів. Ці модулі включають облік і технічне обслуговування обладнання (EAM), управління персоналом (HRM) та виконання виробничих процесів (MES).

Завдяки єдності редакторів, засобів налагодження та мов програмування, перехід, наприклад, від розробки операторського інтерфейсу SCADA / HMI до програмування SOFTLOGIC для контролерів або економічних модулів, проходить плавно і без психологічного дискомфорту для розробника.

На дисплеї оператора (рисунок 2.19) в онлайн-режимі відображається: поточний обсяг матеріалу в бункері; відхилення від заданої маси; оновлення процесу зважування; поточне значення ваги та статуси засувки; загальна кількість відвантаженого матеріалу; таблиця для введення завдань по одиничному зважуванню; статистичні дані про роботу системи.

Залишок зерна в бункері, кг	15.0	2.8
Відхилення від заданої маси, кг	15.0	2.8
Задана маса матеріалу, кг	550.0	Далі
Маса довантаження матеріалу, кг	530.0	Вихід

Рисунок 2.19 – Дисплей оператора

Налаштування та робота з проектом. Цей проект моделює технологічний процес виробництва бетону, що включає послідовне зважування та змішування компонентів. Кількісні параметри компонентів задаються через менеджер рецептів, реалізований на основі глобальних змінних. Кожен рецепт зберігається на жорсткому диску в директорії проекту у вигляді файлу формату W<номер рецепта>.txt.

Бетонна суміш включає в себе вісім компонентів: камінь типу №1, камінь типу №2, пісок, цемент типу №1, цемент типу №2, вугільний пил, вода та добавки.

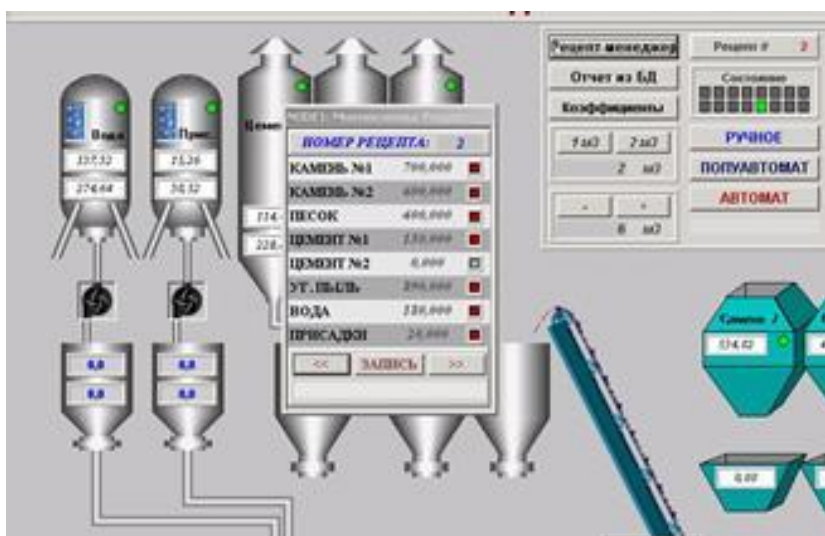


Рисунок 2.20 – Вікно вибору компонентів суміші

Алгоритм роботи з проектом:

1. Перш за все, необхідно вибрати рецепт для виготовлення продукції (рисунок 2.20). Рецепт обирається в менеджері рецептів за допомогою клавіш >> або <<.
2. Далі потрібно встановити кількість бетону, яка буде дозуватися і перемішуватися в міксері за один такт роботи системи, а також загальну кількість бетону, що виготовляється за один виробничий цикл.
3. Потім вибирається режим роботи установки: ручне управління, напівавтоматичний або автоматичний.

4. Після кожного циклу виробництва дані автоматично записуються в базу даних MSAccess у файл db.mdb, який зберігається в директорії проекту. Для перегляду цих даних можна скористатися менеджером звітів, натиснувши кнопку "ReportManager" у головному меню.

Розроблена АСУ для лінії вагового дозування сипких матеріалів покращує ергономіку робочого місця оператора, підвищує інформативність та гнучкість управлінської системи, спрощує процес перенастроювання, зменшує похибку дозування та автоматизує облік.

3. МАТЕМАТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

3.1 Математична модель об'єкта управління

Дослідження рівняння динаміки, сформованого на основі матеріального балансу за цільовим компонентом [31].

Рівняння динаміки:

$$p_{cm} * S_{ann} * \frac{dh_{cm}}{dt} = G_A + G_B + G_B + G_F + G_D - G_{cm} \quad (3.1)$$

Вихідні дані по каналу управління: $G_A - G_{cm}$ для передавальної функції:

$$G_A = G_A^0 + \Delta G_A;$$

$$G_{cm} = G_{cm}^0 + \Delta G_{cm};$$

рівняння статики:

$$G_{cm} = G_A + G_B + G_B + G_F + G_D \quad (3.2)$$

Після перетворень рівняння динаміки матиме вигляд:

$$p_{cm} * V_{cm} * \frac{d\Delta C_{cm}}{dt} + G_{cm}^0 * \Delta C_{cm} = (C_A^0 - C_{cm}^0) * \Delta G_A \quad (3.3).$$

При умові нескінченності величин:

$$p_{cm} * V_{cm} * C_{cm}^0 * \frac{dC_{cm}^5}{dt} + G_{cm}^0 * C_{cm}^0 * C_{cm}^5(t) = (C_A^0 - C_{cm}^0) * G_A^0 * C_{cm}^5(t) \quad (3.4).$$

Модель динаміки об'єкта в часовій області без впливу транспортної затримки:

$$T_{ob} * \frac{dC_{cm}^5(t)}{dt} + C_{cm}^5(t) = K_{ob} * G_A^5(t) \quad (3.5).$$

Модель динаміки в часовій області, враховуючи транспортну затримку, по каналу управління $G_A - C_{cm}$:

$$T_{ob} * \frac{dC_{cm}^5(t)}{dt} + C_{cm}^5(t) = K_{ob} * G_A^5(t - \tau) \quad (3.6).$$

По каналу управління $G_A - C_{cm}$ передавальна функція матиме вигляд:

$$W(p) = \frac{K_{ob}}{T_{ob} * p + 1} * e^{-p\tau} \quad (3.7),$$

де:

$$T_{об} = \frac{p_{см} * V_{см}}{G_{см}^0}; K_{об} = \frac{(C_A^0 - C_{см}^0) * G_A^0}{G_{см}^0 * C_{см}^0}; \tau_{об} = \frac{p_A * V_{труб}}{G_A}, \quad (3.8),$$

де $V_{труб}$ – об’єм трубопровода.

Щоб знайти параметри об’єкту необхідні дані:

$$p_{см} = 1200 (\text{кг} / \text{м}^3); \quad p_A = 1000 (\text{кг} / \text{м}^3); \quad G_A = 250 (\text{м}^3 / \text{год});$$

$$G_{см} = 2110 (\text{м}^3 / \text{год}); \quad C_A = 0,12; \quad C_{см} = 1.$$

$$V_{труб} = 0,008 \text{ м}^3; \quad T_{об} = \frac{p_{см} * V_{см}}{G_{см}^0} = \frac{1200 * 4}{2110} = 2,27 (\text{с});$$

$$K_{об} = \frac{(C_A^0 - C_{см}^0) * G_A^0}{G_{см}^0 * C_{см}^0} = \frac{(0,12 - 1) * 250}{2110 * 1} = 0,1;$$

$$\tau_{об} = \frac{p_A * V_{труб}}{G_A} = \frac{1000 * 0,08}{250} = 0,32.$$

Передавальна функція виконавчого механізму:

$$W_{вм}(p) = \frac{K_{вм}}{T_{вм} p + 1} = \frac{0,24}{10 p + 1}.$$

Оскільки в контурі регулювання має місце запізнення, обираємо один із трьох типових перехідних процесів, а саме з перерегулюванням у 20%. Такий перехідний процес забезпечує оптимальний час налаштування та необхідну точність регулювання.

Під час вибору типу регулятора враховуємо співвідношення запізнення до сталої часу об’єкта $\frac{\tau}{T_{об}}$. У нашому випадку це співвідношення становить відповідну величину ($\frac{\tau}{T_{об}} = \frac{0,32}{2,27} = 0,14$). Тому обираємо цифровий ПІД-регулятор, який здатен компенсувати запізнення в контурі регулювання.

Далі розрахуємо оптимальні налаштування ПІД-регулятора для даного перехідного процесу:

$$K_p = \frac{1,2}{K_{об} \cdot \tau / T_{об}} = \frac{1,2}{0,1 \cdot 0,32 / 2,27} = 85,7;$$

$$T_i = 2 \cdot \tau = 2 \cdot 0,32 = 0,64; \quad T_d = 0,4 \cdot \tau = 0,4 \cdot 0,32 = 0,128,$$

де K_p - коефіцієнт підсилення регулятора;

T_i - час ізодрома (постійна інтегрування регулятора);

T_d - постійна диференціювання.

Передавальна функція регулятора:

$$W_{\text{рег}}(p) = K_3 \left(1 + \frac{1}{T_i p} + T_d p \right).$$

3.2 Побудова перехідного процесу

Для створення перехідного процесу скористаємося програмою MatLab і середовищем Simulink. У робочому вікні побудуємо відповідний замкнутий контур і відразу оптимізуємо його, налаштувавши потрібні коефіцієнти за допомогою блоку NCDOutPort (рисунок 3.1).

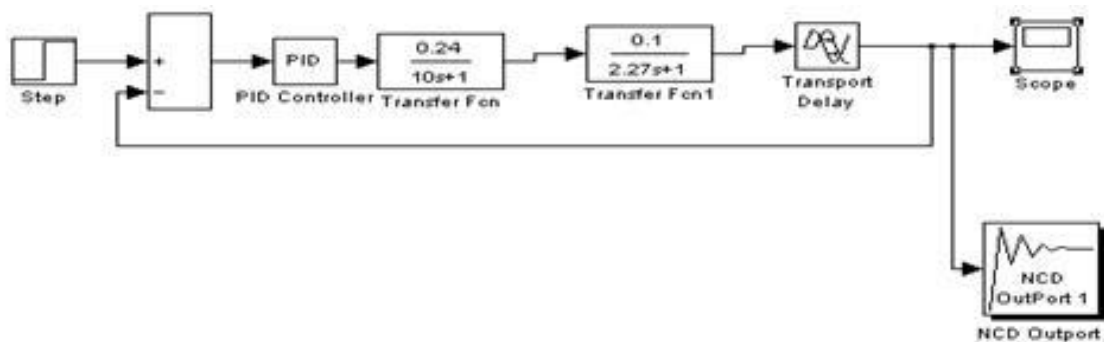


Рисунок 3.1 - Контур розрахованої САУ

Перехідний процес, який отримано в результаті моделювання, представлений на рисунку 3.2.

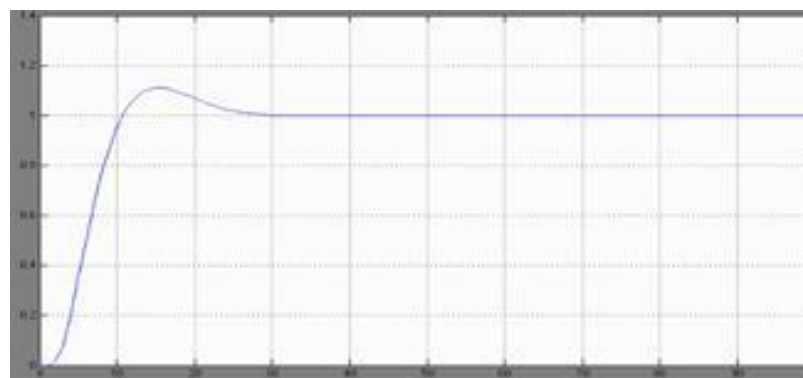


Рисунок 3.2 - Перехідний процес в контурі регулювання

Отже, 30 с і 20% відповідно час регулювання та перерегулювання.

Виконавши оптимізацію, отримано коефіцієнти ПІД-регулятора:
 $K_p = 82,86$; $K_i = 10,15$; $K_d = 1,12$.

У програмі MatLab у середовищі Simulink складемо наступну схему (рисунок 3.3) для повного дослідження нашої системи.

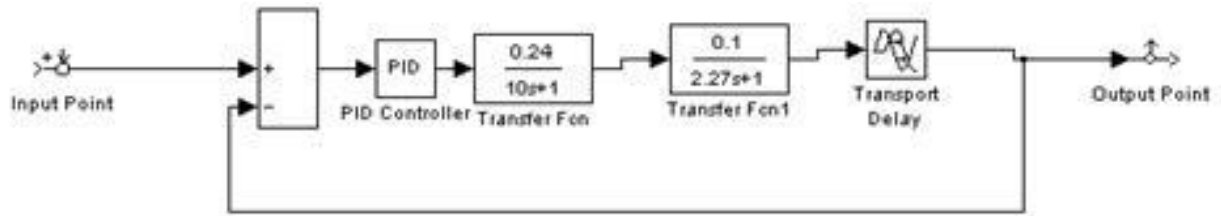


Рисунок 3.3 – Схема процесу

Після чого отримані наступні характеристики нашого контуру [32]:

- перехідна характеристика (рисунок 3.4);
- імпульсна характеристика (рисунок 3.5);
- АЧХ та ФЧХ (рисунок 3.6);
- годограф (рисунок 3.7).

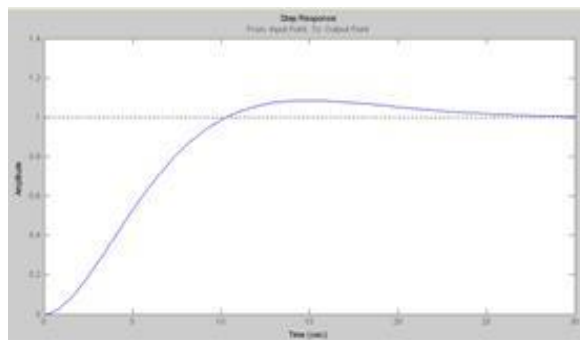


Рисунок 3.4 - Перехідна характеристика

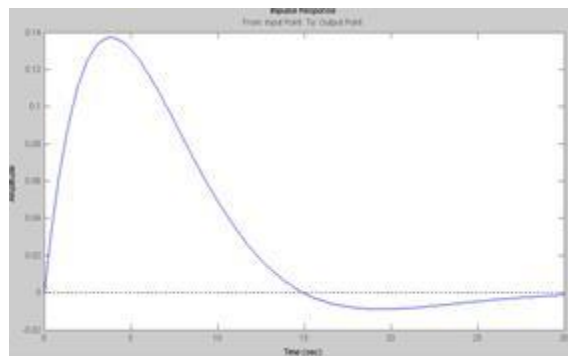


Рисунок 3.5 - Імпульсна характеристика

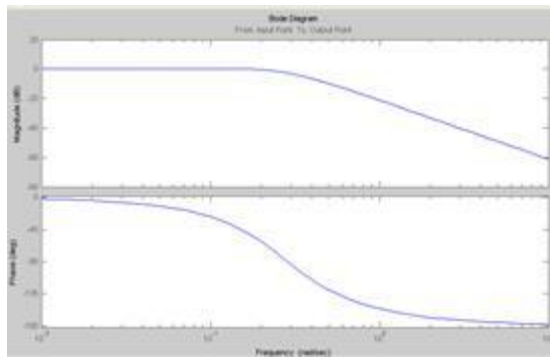


Рисунок 3.6 - Діаграма Бодє АЧХ та ФЧХ

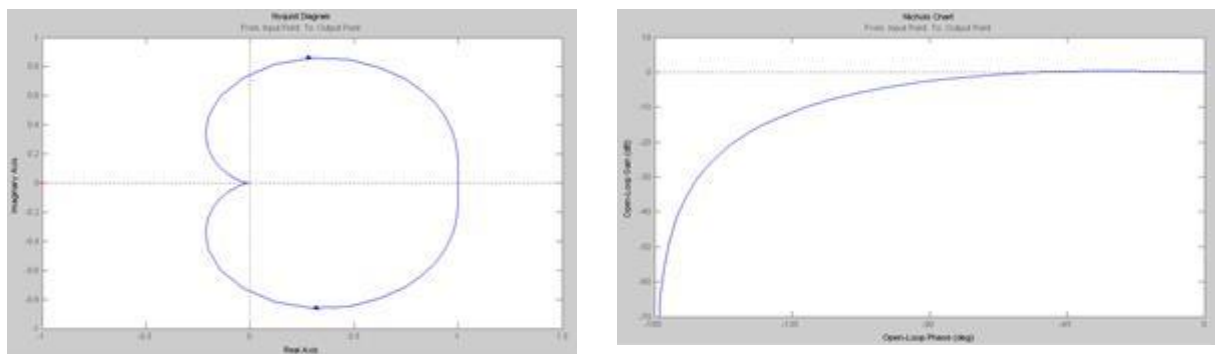


Рисунок 3.7 - Годограф

3.3 Розрахунок показників надійності контуру регулювання

Ефективність використання ТЗА значною мірою залежить від її надійності. Виконаємо розрахунок надійності розробленого контуру регулювання, що складається з трьох компонентів: датчика, регулятора та виконавчого механізму.

Для датчика інтенсивність відмов становить $\lambda_1 = 0,95 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$, кількість відмов - $n_1 = 1$.

Для регулятора інтенсивність відмов становить $\lambda_2 = 17 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$, кількість відмов - $n_2 = 2$.

Для виконавчого механізму інтенсивність відмов становить $\lambda_3 = 2,2 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$, кількість відмов - $n_3 = 1$.

Ці дані дозволяють оцінити надійність контуру загалом.

Надійність цього контуру підпорядковується експоненціальному закону розподілу.

Загальна інтенсивність відмов:

$$\lambda_{\text{заг}} = \sum_{i=1}^3 \lambda_i \cdot n_i ;$$

$$\lambda_{\text{заг}} = 0,95 \cdot 10^{-5} \cdot 1 + 1,7 \cdot 10^{-6} \cdot 2 + 2,2 \cdot 10^{-5} \cdot 1 = 3,49 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$$

Середній час наробітку до відмови:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda_{\text{заг}}} ;$$

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{3,49 \cdot 10^{-5}} = 28653 \text{ год}$$

Якщо розрахувати ймовірність безвідмовної роботи на протязі 10000 год. згідно експоненціального закону розподілу: $P = e^{-\lambda t}$, отримаємо:

$$P = e^{-3,49 \cdot 10^{-5} \cdot 10000} = 0,704 .$$

Таким чином, ймовірність безвідмовної роботи цього контуру протягом 10000 годин складає 70%.

3.4 Побудова алгоритму роботи системи управління

Якщо порційний механізм працює неперервно, синхронізація трьох дозаторів вапняку, піску та цементу за допомогою одного головного блоку керування може бути реалізована шляхом використання системи зворотного зв'язку та зважування [12]. Основна ідея полягає в тому, щоб головний блок керування відстежував вихідні дані кожного дозатора та регулював їх роботу таким чином, щоб досягти потрібного співвідношення компонентів (вапняку, піску та цементу) у вихідній суміші. Блок-схема алгоритму роботи представлена на рисунку 3.8.

Головний блок керування починає роботу зі зчитування вихідних даних кожного дозатора, таких як витрати матеріалів або вага.

На початку, головний блок керування встановлює базові значення для вихідних параметрів дозаторів (наприклад, пропорції вапняку, глини та гіпсу),

для початку процесу.

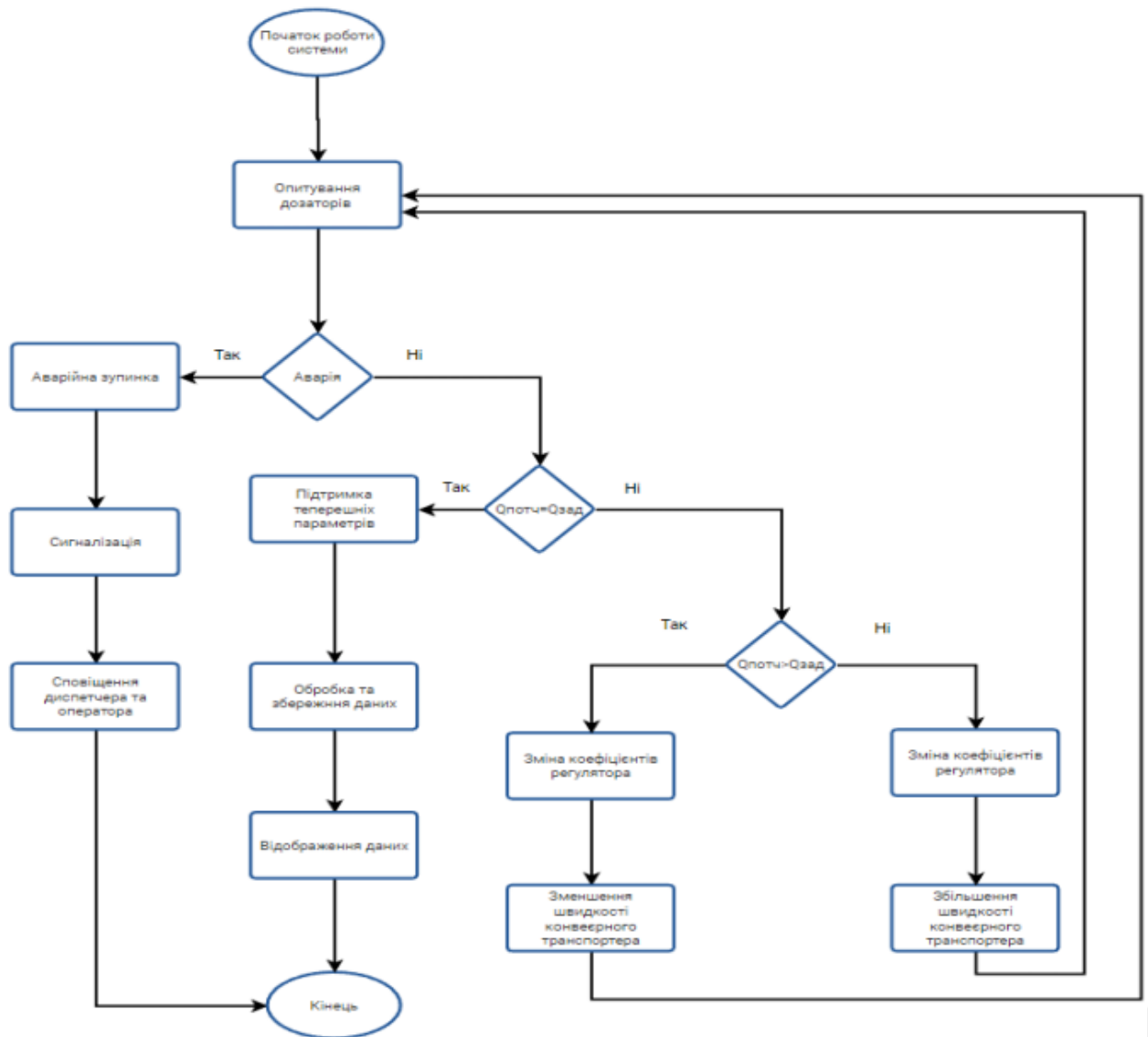


Рисунок 3.8 – Блок-схема алгоритму роботи системи

Головний блок керування регулює роботу дозаторів на основі зчитаних даних. Він порівнює фактичні значення з бажаними параметрами та вносить необхідні корективи. Якщо співвідношення компонентів вихідної суміші відрізняється від потрібного, головний блок керування змінює параметри дозаторів, наприклад, збільшує або зменшує їх витрати, шляхом зміни швидкості стрічки, щоб досягти потрібного співвідношення. Процес корекції та регулювання продовжується в реальному часі, дозволяючи головному блоку керування адаптуватися до змінних умов та забезпечувати необхідне співвідношення компонентів протягом усього процесу.

Аварійний алгоритм системи при сходженні конвеєрної стрічки конвеєра має на меті виявити цю аварійну ситуацію та прийняти необхідні заходи для зупинки та відновлення роботи системи.

Алгоритм при виникненні аварійної ситуації: система містить вбудовані датчики, які визначають положення та стан конвеєрної стрічки. Якщо датчики виявляють відхилення або відсутність руху стрічки, вони спрацьовують та відправляють сигнал про аварійну ситуацію. Після виявлення сходження стрічки система переходить у спеціальний аварійний режим роботи. Аварійний алгоритм видає команду на негайну зупинку конвеєра, щоб уникнути подальшого руху стрічки та запобігти можливим пошкодженням обладнання або небезпеці для персоналу. Система надсилає сигнал або повідомлення оператору про аварійну ситуацію. Це дозволяє оператору швидко реагувати та прийняти відповідні заходи.

Після зупинки конвеєра та виправлення причини сходження стрічки (наприклад, видалення перешкоди або відновлення правильного натягу стрічки), система може розпочати процедуру поступового відновлення роботи. Це може включати запуск конвеєра на низькій швидкості для перевірки його стабільності та відсутності проблем, а потім поступове підвищення швидкості до нормального режиму роботи.

Результатами застосування комп'ютеризованої системи управління роботою порційного механізму є:

- підвищення продуктивності;
- підвищення якості продукції, що випускається, за рахунок високої точності дозування компонентів, автоматичного контролю рухливості і гомогенності бетонної суміші, дотримання технологічного регламенту за рахунок максимально можливого виключення людського фактора;
- можливість документального підтвердження якості кожної випущеної партії бетону. При необхідності можлива видача звітів по кожній дозі суміші із зазначенням як необхідного за рецептом, так і фактично дозованого сировини;

- зниження витрат на за рахунок раціонального використання сировини;
- автоматизований облік витрати компонентів сировини, а також готового продукту.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі проведений аналіз технології роботи порційного механізму. Проведено класифікацію дозувальних пристроїв за принципом дії, конструктивними особливостями та видом технологічного процесу. Проаналізовано способи дозування та визначено такі, що найбільш широко застосовуються. Проаналізовано прості та складні системи автоматичного дозування, що здатні автоматично відмірювати й видавати задану кількість певних речовин.

Спроектована комп'ютеризована система управління роботою порційного механізму. Об'єктом автоматизації обрано ваговий дозатор для цементу неперервної дії, оскільки операція дозування є однією з базових у технологічному процесі виготовлення бетонної суміші. Особливістю даної системи є те, що вона не зупиняється для зважування вантажу, а робить це в динаміці, що дає змогу не зупиняти виробництво та уникати затримок на виробництві.

Визначено параметри контролю та регулювання, а саме: витрати матеріалів, рівень матеріалів у бункері та концентрацію цільового компонента у вихідній суміші. Розроблено трирівневу структуру комп'ютеризованої системи регулювання подачі дозованого матеріалу. Наведено функціональна схема автоматизації процесу дозування матеріалу в технологічному процесі виготовлення бетонної суміші. Здійснений вибір та обґрунтування обладнання системи і технічних засобів автоматизації та обґрунтовано їх вибір.

Розрахована математична модель об'єкта регулювання, вибрано цифровий ПД-регулятор, який компенсуватиме запізнення в контурі регулювання, побудовано перехідний процес в контурі регулювання. Визначено, що час регулювання складає 30с, перерегулювання 20%. Отримано перехідну, імпульсну характеристики контуру, діаграму АЧХ та ФЧХ, годограф. Розраховано показники надійності контуру регулювання, де ймовірність безвідмовної роботи протягом 10000 год. складає 70%.

Запропоновано алгоритм роботи порційного механізму неперервної дії, який синхронізує три дозатори за допомогою одного головного блоку керування та може бути реалізований шляхом використання системи зворотного зв'язку та зважування.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Разумний Ю.Т. Енергоефективність магістрального конвеєрного транспорту вугільних шахт [Електронний ресурс]: монографія / Ю.Т. Разумний, В.М. Прокуда; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Електрон. текст. дані. – Дніпро: НГУ, 2018. – 120 с.
2. Заїка В.Т. Моделі для довгострокового та оперативного управління ресурсом електрозбереженням на вугільних шахтах / В.Т. Заїка // Вісн. ДУ “Львівська політехніка”. – Електроенергетичні та електромеханічні системи. 1997. – № 340. – С. 47– 51.
3. Харченка, І. В. Оптимізація та автоматизація конвеєрних систем в умовах гнучкого виробництва: монографія / І.В. В. Харченка, І. І. Костенко, О. І. Лобанів. - Київ: НТУ "ХПІ", 2016.
4. Назаренко І. І. Машини для виробництва будівельних матеріалів: Підручник / І. І. Назаренко – К.: КНУБА, 1999. – 488 с.
5. Корчемний М. О. Теоретичні основи автоматики : Навч. посібн. / М. О. Корчемний, П. Б. Клендій, М. В. Потапенко – Тернопіль : Навчальна книга – Богдан, 2011. – 304 с.
6. Методи та засоби автоматизації конвеєрних систем: монографія / за ред. Ю. І. Матвєєва. - Київ: НАУ, 2009.
7. Мартиненко І. І. Проектування систем електрифікації та автоматизації АПК: Підручник / І. І. Мартиненко, В. П. Лисенко, Л. П. Тищенко, І. М. Болбот, П. В. Олійник. – К.: НМЦ Мінагропрому України, 2008 – 330 с.
8. Danieli P., Masi M., Lazzaretto A., Carraro G. Volpato G.A. / Smart energy recovery system to avoid preheating in gas grid pressure reduction stations // Energies. – 2022. – № 15. – 371 с. Зм. Арк. № докум. Підпис Дата Лист 55 СУ-91 6.15101.06ПЗ
9. Застосування інформаційно-керуючих систем в автоматизації конвеєрних ліній / І.П. Харченко, С.Ю. Ткачук, О.М. Ткачук // Вісник

Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. - 2018. - Вип. 190. - С. 125-134.

10. Снежко А.П. Технологія будівельного виробництва / А.П. Снежко - К. 1998. - 63 с.

11. Литвинов О.О. Технологія будівельного виробництва / Під ред. О.О. Литвинова, Ю.І. Белякова.: Київ «Вища школа», 1985 - 478 с.

12. Притула С.Ф. Технологія будівельних процесів: навч. посібник / С.Ф. Притула. - Київ, 1996. - 140 с.

13. Черненко В.К. Технологія будівельного виробництва Підручник. / В.К. Черненко, М.Г. Ярмоленко та ін. — К.: Вища школа, 2002. — 430с.

15. Журавель К.О. Дослідження замкнених універсальних систем автоматичного дозування / К.О. Журавель, О.М. Хутренко // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил.- 2011, випуск 3(29).- с. 210-212

16. Ваги, вагові дозатори, системи зважування та дозування. Довідник / Під редакцією М.П. Нікітінського.- Одеса: Астропринт, 2001.-583с.

17. Методи і моделі автоматизації конвеєрних систем / А.О. Карпенко, С.В. Дєдин, І.І. Костенко // Вісник Дніпровського університету. Серія: Механіка. - 2016. - Вип. 24. - С. 35-40.

18. Пістун Є.П. Основи автоматики та автоматизації : навч. посіб. / Є.П. Пістун, І. Д. Стасюк; Нац. ун-т "Львів. політехніка".- Львів, 2014.- 333 с.

19. Сорока К.О. Теорія автоматичного керування. Навчальний посібник / Сорока К.О. – Харків, ХНАМГ, 2006 – 187 с.

20. Дозатор піску і інших інертних матеріалів Режим доступу: <http://rosves.com/magazin/product/dozator-peska-i-drugih-inertnyh-materialov-gamma-1000-1-2000-1-3000-1>

21. Дозатор цементу, сухих добавок та інших сипучих матеріалів. Режим доступу: <https://www.tenso-m.ru/dozatory-tehnologicheskie/dlja-tehnologicheskikh-processov/124/>

22. Дозатор води і рідких добавок Гамма 100-1. Режим доступу:

<http://m.tenso-m.ru/dozatory-tehnologicheskie/dlja-tehnologicheskikh-processov/123/>

23. Bortnowski, P.; Kawalec, W.; Król, R.; Ozdoba, M. Identification of conveyor belt tension with the use of its transverse vibration frequencies. *Measurement* 2022, 190, 110706.

24. Ельперін І.В. Автоматизація виробничих процесів: Підручник. / І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. - К.: В-во Ліра-К, 2015 - 300 с. - 340 с.

25. Тензометричний датчик STSC S. Режим доступу: <http://esit.com.ua/product/stcs/>

26. Датчики положення. Режим доступу: <http://novoie-izmerenie.com/katalog/datchiki-polozheniya>.

27. Диференційний манометр. Режим доступу: <http://faqukrs.xyz/biznes/promislovist/60619-diferencialnij-manometr-princip-dii-tipi-ta-vidi.html>.

28. Поліщук Є.С. Методи та засоби вимірювань неелектричних величин. / Є.С. Поліщук – Львів: Видавництво НУ “Львівська політехніка”, 2000. – 360 с.

29. Магнітний рівнемір ОВЕН ПДУ. Режим доступу: http://www.owen.ru/catalog/poplavkovie_datchiki_urovnya_pdu_i

30. Обладнання для автоматизації. Режим доступу: <https://www.owen.ua>.

31. Попович М.Г., Ковальчук О.В. П58 Теорія автоматичного керування: Підручник. - К.: Либідь, 1997. - 544 с.

32. Теорія автоматичного керування. Навчальний посібник Авт. Сорока К.О. – Харків, ХНАМГ, 2006 – 187 с.

33. Промислова система 800xA. Режим доступу: www.abb.ua

34. Bajda, M.; Hardygóra, M. Analysis of the Influence of the Type of Belt on the Energy Consumption of Transport Processes in a Belt Conveyor. *Energies* 2021, 14, 6180.

35. Jones, R. A., & Smith, M. B. (2019). Conveyor Belt Feeders: A Review of Design Considerations and Applications in the Mining Industry. *Journal of*

Powder and Bulk Solids Handling and Processing, 33(2), 85-94.

36. Савеленко О.К., Якименко Н.М., Колодочкіна А.В., Сорокін В.В. Технології проектування комп'ютерних систем: Навчальний посібник. - Кропивницький: Лисенко В.Ф., 2017. - 308 с.

37. Brown, D. W., & Johnson, P. M. (2018). Design and Analysis of Conveyor Belt Feeders for Bulk Material Handling Applications. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, 346-355.

38. Опорний конспект лекцій з дисципліни “Теорія автоматичного управління” (Частина 1) / Укл.: Николайчук Я.М., Возна Н.Я.– Тернопіль: Гал-друк, 2016. – 71 с.