

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

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

К.Т.Н., доц. _____ О.О. Опришко
(підпис) (ПІБ)

" ____ " _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему " Розроблення системи автоматизованого керування температу-
рним режимом у барабанній зерносушарці"**

Спеціальність: 151 - "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології"

Гарант освітньої програми

К.Т.Н., доцент.
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Дудник А.О.
(П.І.Б.)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

К.Т.Н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Кіктєв М.О.
(П.І.Б.)

Виконав

_____ (підпис)

Костяной А.С.
(П.І.Б.)

КИЇВ – 2026

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ

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

К.Т.Н., доц. _____ О.О. Опришко
(підпис) (ПІБ)

" ____ " _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

Костяному Андрію Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

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

1. Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: " Розроблення системи автоматизованого керування температурним режимом у барабанній зерносушарці "

затверджена наказом ректора НУБіП України від "24" 10 2025 р. № 2515"С"

2. Термін подання завершеної роботи на кафедру "31" травня 2026 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної бакалаврської роботи:

3.1. Завдання кафедри на виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи.

3.2. Нормативні документи по проектуванню об'єктів автоматизації.

3.3. Наукова література з тематики кваліфікаційної бакалаврської роботи.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

4.1. Технологія і промислове обладнання для виробництва зерна

4.2. Розробка та дослідження математичної моделі процесу сушіння зерна.

4.3. Вибір регулятора та обґрунтування параметрів його налаштувань.

4.4. Розробка цифрової системи керування.

4.5. Схеми системи автоматизації.

4.6. Техніко-економічне обґрунтування.

5. Перелік графічних документів:

5.1. Функціональна схема автоматизації системи керування вологістю в сушарці для сушіння вермикуліту.

5.2. Система автоматизації процесу сушіння зерна в сушарці. Схема електрична принципова.

5.3. Система автоматизації процесу сушіння зерна в сушарці. Схема електрична з'єднань.

5.4. Система автоматизації процесу сушіння зерна в сушарці. Схема електрична підключень.

5.5. Система автоматизації процесу сушіння зерна в сушарці. Зовнішній вид щита керування.

Дата видачі завдання "25" жовтня 2025 року

**Керівник
бакалаврської кваліфі-
каційної роботи**

(підпис)

Кіктєв М. О.
(П.І.Б.)

**Завдання прийняв до
виконання**

(підпис)

Костяной А.С.
(П.І.Б.)

АНОТАЦІЯ

Костяной Андрій Сергійович. Розроблення системи автоматизованого керування температурним режимом у барабанній зерносушарці. – Кваліфікаційна робота бакалавра. – Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, 2026.– 69 сторінок пояснювальної записки, до складу якої входять 17 рисунків, 9 таблиць, 12 джерел інформації, графічно конструкторська документація складається з презентації.

В даній кваліфікаційній роботі розглянуто питання по системі автоматичного керування барабанної зерносушарки.

Дана АСК процесом сушіння - це комплексна автоматизована система, яка побудована з використанням сучасних системи автоматизованого проектування та засобів автоматизації ПЛК110 [M02] і ПК, що в цілому виконують функції вимірювання, контролю, автоматичного керування та регулювання, візуалізації процесу періодичної дії.

Спроектowana АСК забезпечує оптимальний режим роботи технологічного процесу. Для даної АСК обраний комплекс ТЗА. Розроблена програма керування для ПЛК110 [M02] мовою FBD блоків.

Ключові слова: мікропроцесор, зерно, сушка.

ABSTRACT

Kostianoy Andrii. Development of an automated temperature control system in a drum grain dryer. – Bachelor's qualification work. – National University of Life Resources and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, 2026..– 69 pages of explanatory note, which includes 17 figures, 9 tables, 12 sources of information, graphic design documentation consists of a presentation.

In this qualification work, the issue of the automatic control system of the drum grain dryer is considered.

This ASK drying process is a complex automated system, which is built using modern automated design systems and PLC110[M02] and PC automation tools, which generally perform the functions of measurement, control, automatic control and regulation, visualization of the periodic action process.

The designed ACS ensures the optimal mode of operation of the technological process. The TZA complex was selected for this ASK. A control program for PLC110 [M02] in the language of FBD blocks has been developed.

Key words: microprocessor, grain, drying.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЗЕРНОСУШИЛЬНОГО ВІДДІЛЕННЯ.	10
1.1 Опис об'єкта управління та стан його автоматизації	10
1.2 Мета і задачі автоматизації технологічного процесу	13
2.ТЕХНОЛОПЧНА ЧАСТИНА	15
2.1 Обґрунтування технологічного процесу	15
2.2 Обґрунтування та вибір технологічного обладнання	17
2.3 Регулювання температури теплоносія	23
3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ	27
3.1. Аналіз повітрянагрівача та визначення передаточної функції об'єкта автоматизації	27
3.2 Експериментальне визначення передатної функції	31
3.3 Вибір засобів автоматизації та визначення їх передаточних функцій	34
3.4 Визначення періоду квантування	40
3.5 Розрахунок цифрового регулятора	41
3.6 Дослідження САР	44
3.7 Вибір технічних засобів реалізації алгоритму управління	46
3.8 Аналіз роботи САК та визначення позначення показників управління	50
4. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОЇ ЧАСТИНИ	51
4.1. Обґрунтування та вибір електротехнічного обладнання	51
4.2 Вибір шафи керування	52
4.3 Вибір силової розподільної шафи	52
4.4 Розрахунок і вибір пускозахисної апаратури	53
4.5 Вибір автоматичного вимикача	53
4.6 Вибір електромагнітних пускатрів	55
4.7 Обґрунтування та вибір проводок	56
5. Монтаж і наладка системи автоматичного керування	

6. Програма керування для контролера

6.1. Розробка алгоритмів керування

6.2. Створення програм керування для контролера

6. ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЗАЦІЇ

ВИСНОВОК

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

ДОДАТКИ

ВСТУП

Зерно, яке поступає від зернозбиральних комбайнів, має підвищену вологість досягаючи 20-30%, що робить його непридатним для тривалого зберігання. Надлишок вологи у зерні створює сприятливі умови для розвитку мікроорганізмів і зігрівання. Зважаючи на це зерно потрібно сушити до 14-16% вмісту вологості, в залежності від подальшого його застосування.

Після збиральну обробку зерна проводять на заготівельних підприємствах. Але на хлібоприймальні підприємства поступає зерно продовольчого значення, яке пройшло попередню обробку і доведене до базових чи обмежуючих кондицій.

Технологія обробки продовольчого зерна на підприємствах складається з цілого ряду операцій, в результаті яких отримують зерно порядної якості. До них відносяться зважування вихідного матеріалу, попереднє очищення, вентилювання, сушіння, первинне та вторинне очищення, сортування, транспортування зерна та відходів, зважування готової продукції, протравлення, транспортування та штабелювання мішків, термічне обеззараження, довге збереження в бункерах та коморах насипом і в мішкотарі.

При поточній технології перелічені операції виконуються послідовно за один прохід зерна. При цьому застосовують машини і засоби механізації, які включаються в поточні лінії підприємств.

Підприємства класифікують за наступними ознаками:

- призначення продукції - для обробки продовольчого і фуражного зерна, для обробки насіння, універсальні;
- культури, що оброблюється;
- продуктивністю - від 0,5 до 100 т/год; зонами застосування - для сухих і вологих зон.

Підприємства для післязбиральної обробки зерна в сільському господарстві відносяться до складних об'єктів управління, що обумовлюється ве-

ликою кількістю керованих зернообробних машин і дією численних збурень, які впливають на ефективність роботи. Обслуговуючий персонал не в змозі своєчасно реагувати на ці збурення, які носять випадковий характер. Ручне управління машинами, які працюють в потоці, малоефективне, так як на практиці їх продуктивність не перевищує 60...70% номінального значення, а прагнення їх збільшити викликає зниження якості готової продукції.

Автоматизація контролю та управління процесами обробки та зберігання зерна відкриває широкі можливості для підвищення ефективності використання, збільшення продуктивності потокових ліній, подальшого зниження затрат праці та покращання якості обробки зерна.

Розділ 1. Загальна характеристика зерносушильного відділення

1.1. Опис зерносушарки як об'єкта управління та стан його автоматизації

Основним агрегатом пункту післязбиральної обробки зерна, що деякою мірою впливає на вибір іншого устаткування, є сушарка.

Зерносушарка - найскладніший об'єкт управління в усій поточній лінії по підготовці зерна до зберігання.

Якщо розглянути сушарку як об'єкт управління (рис. 1.1), то вхідні параметри об'єкту управління можна розділити на дві групи: збурення та керуючі дії.

До збурень відносять вологість $\omega_{зп}$, температуру $\Theta_{зп}$ зерна, що поступає в сушарку; параметр K , що характеризує чистоту та об'ємну масу зерна; подача $Q_{зп}$ зерна в сушарку; температуру $\Theta_{по} > P_{по}$ та барометричний тиск $P_{по}$ навколишнього повітря; параметр $E_{схп}$, що характеризує схожість і енергію проростання зерна, що поступає; витрату $Q_{тп}$ і вологовміст $d_{тпп}$ теплоносія, що подається.

Керуючими діями в об'єкті управління є: $X_{ва}$ - переміщення регулюючого органу випускного апарату, який змінює продуктивність сушарки; $X_{пп}$ - переміщення органу, який регулює подачу пального та повітря в камеру згорання та призводить до зміни температури теплоносія, що подається; $X_{зав}$ - переміщення органу, що регулює завантаження сушарки зерном і призводить до зміни $Q_{зп}$, а також рівня зерна в бункері. Вихідними параметрами контролю та управління є: $\omega_{зк}$ - вологість зерна, що виходить із сушарки; $e_{схк}$ - параметр, що характеризує схожість і енергію проростання зерна після сушіння; $Q_{зш}$ - продуктивність сушарки; $\Theta_з$ - температура нагрівання зерна в сушильній камері; $\Theta_{тп}$ - температура теплоносія, який подається в сушильну камеру;

$\Theta_{\text{тк}}$ - температура відпрацьованого теплоносія; $d_{\text{тк}}$ - вологовміст відпрацьованого теплоносія; $Q_{\text{п}}$ - витрата пального; H - рівень зерна в надсушильному бункері; Φ - параметр, що характеризує наявність факела в топці.

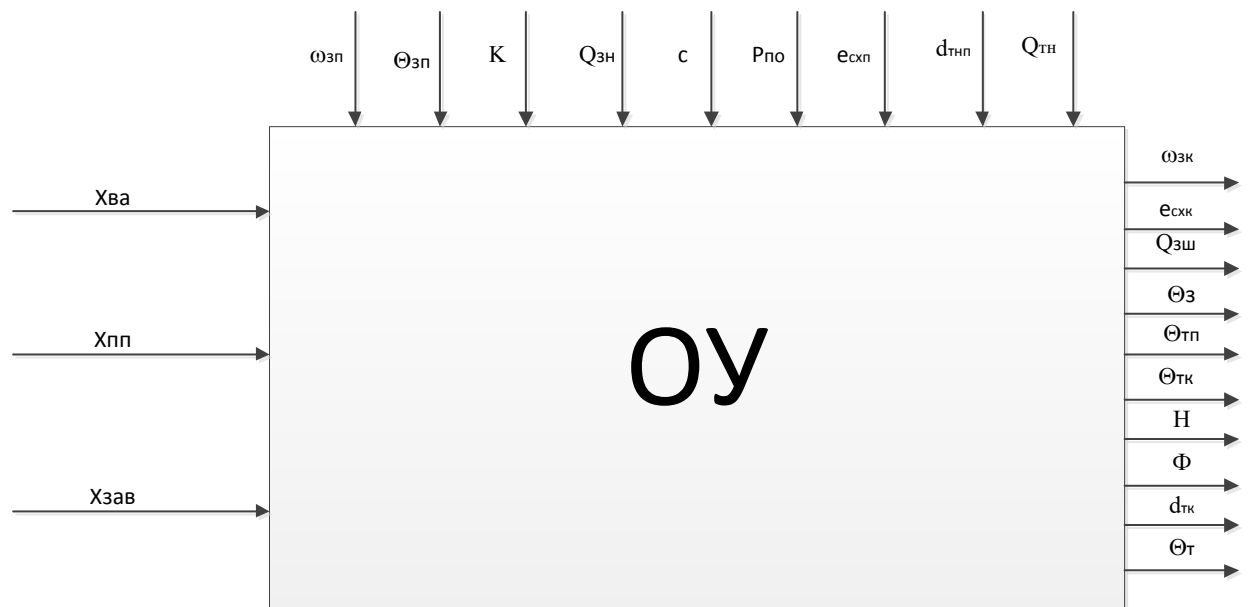


Рис. 1.1 Схема сушарки як об'єкту автоматизації

В даний час для сушіння зерна використовуються наступні типи сушарок: шахтні (СЗШ-16;М-819;С-20), барабанні (СЗПБ-2,5; СЗСБ-4,0; СЗСБ-8,0; СЗСБ-8А), бункерна (СБВС-5), карусельна (СЗК-5), конвеєрна (СКВС-6), колонкові (СК-2;СК-5). Крім того, на місцях у господарствах виготовляються напольні установки (площадки) і так називані "ромбічні" сушарки в декількох модифікаціях. Для комплектування останніх, промисловість випускає топкові блоки та теплогенератори (ТБ-0,75; ТБ-1,5; ТАУ-0,75; ТАУ-1,5; ТГ-1; ТГ-2,5; ТГ-150 та ін.).

Класифікація напрямків систем автоматичного управління зерносушильною технікою

Перший напрямок. Системи автоматичного управління процесом сушки зерна з контролем та регулюванням параметрів сушильного агента.

Ці системи стабілізують температуру $\Theta_{\text{тп}}$ сушильного агента на вході в камеру сушки, а при малих її значеннях - відносну вологість повітря ϕ . Системи стабілізації $\Theta_{\text{тп}}$ та ϕ отримали найбільше розповсюдження, оскільки вони прості та надійні в експлуатації. Вони не дозволяють інтенсифікувати процес сушки, але створюють умови для надійного зберігання якості зерна.

Другий напрямок. Системи автоматичного управління процесом сушки по параметрам сушильного агента та зерна.

Ці системи логічно розвивають попередні. Найбільш прості регулюють тільки температуру зерна, а більш складні - ще й вологість. Системи регулювання температури Θ_z відмінні від попередніх додатковим контролем параметра Θ_z . Це забезпечує автоматичний захист зерна від перегріву. При $\Theta_z > \Theta_{z \text{ доп}}$ передається команда виконавчому механізму, який зменшує подачу палива. Нижня межа нагріву зерна не контролюється.

Третій напрямок. Системи, що оптимізують процес сушки або підтримують режим, близький до оптимального.

До них відносять системи з використанням ЕОМ і системи з елементами адаптації або програмного управління по заздалегідь обчисленим оптимальним залежностям.

При виборі сушарок у випадку реконструкції пункту післязбирального обробки необхідно керуватися середнім сезонним навантаженням на той або інший агрегат.

Нормоване навантаження на сушарку СЗСБ-8 складає 2000т за сезон. При цьому варто враховувати, що це буде однолінійний пункт. Якщо господарство насінницьке, у структурі посівів якого декілька культур і сортів, то

виникає необхідність у декількох лініях меншої продуктивності для кожної з них. Використання пункту на базі сушарок продуктивністю більше 8т. доцільно на міжгосподарській основі.

Продовольче і фуражне зерно зернових і зернобобових культур оброблюють на зерноочисних агрегатах типу ЗАВ і на зерноочисних комплексах типу КЗС різної продуктивності. Найбільш поширені зернообробні комплекси КЗШ- 20Ш, КЗС-20Б, КЗС-25Ш, КЗС-25Б, КЗС-50. В поточковій лінії цих комплексів використовуються зерносушарки СЗШ-16 і СЗСБ-8.

1.2. Мета і задачі автоматизації технологічного процесу

Метою автоматизації є підвищення продуктивності роботи зерносушильного комплексу, підвищення якості вихідної продукції і звичайно виправлення недоліків технологічного процесу, а саме недосконалість регулюючих органів, впливаючи на які, можливо зменшити вплив зовнішніх збурень. До недоліків, які знаходяться у виробництві зернообробних машин, відноситься відсутність об'єктивних засобів контролю технологічних параметрів: вологості, чистоти, розходу зерна.

Зараз гостро стоїть питання підвищення ефективності виробництва, зниження витрат, економії всіх видів ресурсів. Це в однаковій мірі відноситься і до зерносушильного обладнання.

Коефіцієнт інтенсивного використання зерносушарки можна підвищити, застосуванням прогресивних режимів сушіння, суворим дотриманням заданих режимів, здійснення необхідного контролю головних параметрів та оперативному управлінні.

Одним із способів підвищення ефективності сушарок без значних капітальних вкладень, є покращання режимів і технологічних схем зерносушарок, забезпечуючи надійну та постійну роботу. Вони складаються з усунення причин, які приводять до перегріву зерна, забезпечення надійної роботи регулюючих пристроїв при мінімально необхідній кількості точок та заходів управління.

Проведений аналіз факторів, що визначають ефективність роботи поточкових ліній обробки зерна з точки зору задач управління, свідчить про доцільність автоматизації зернообробних підприємств. Слід відзначити, крім розглянутих факторів, на ефективність роботи мають значний вплив і фактори організаційного плану (забезпечення своєчасного та безперервного постачання та відвозу зерна, організація безперебійного живлення паливом і електроенергією, своєчасне проведення технічного обслуговування машин). Задачею автоматизації технологічного процесу є підвищення якості оброблюваного матеріалу на виході із зерносушарки при зменшених витратах енергоресурсів.

Метою даної роботи є розробка САР процесу сушки зерна в барабанній зерносушарці, контролюючи температуру сушильного агенту та оптимізуючи енерговитрати, щоб забезпечити високу її продуктивність, збереження потрібних якісних показників зерна.

Розділ 2. Технологічна частина

2.1. Обґрунтування вдосконалення процесу сушіння та вибір технологічного процесу

Окремі зерна свіжо зібраного зерна мають різну вологість, тому воно легко самозігрівається та пліснявіє. Температура його підвищується вже через кілька годин, а через кілька днів досягає 40-45°C. Тому доцільно попередньо сортувати зерно, використовуючи його пружні властивості. Нерівномірна вологість зерна є причиною самосортування його при розвантажувально-завантажувальних роботах і особливо при завантажуванні зерносушильних шахт, вентильованих засіків та інших місткостей. Це необхідно враховувати при виборі режиму сушіння зерна. Оскільки термостійкість зерна залежить від початкової вологості, то для зберігання насінних якостей необхідно вибирати найнижчу температуру сушильного агента, розраховану на термскліїсть зерна, що має найбільшу вологість.

Вологовіддавальна здатність зерна та характер зміни його вологості неоднакові для структури і питомої поверхні випаровування. Процес сушіння зерна відбувається в межах періоду падіння швидкості сушіння. Цей період характеризується максимальною швидкістю сушіння. В міру просування зони випаровування вглиб зерна швидкість сушіння сповільнюється, оскільки частина енергії витрачається на руйнування зв'язку вологи з речовиною і переміщення вологи в зерні. При зменшенні вологості цей зв'язок міцнішає, що сприяє дальшому зменшенню швидкості сушіння, особливо коли досягається рівноважний стан між вологістю зерна і вологістю повітря, яке продувається крізь зерно.

При сушінні тепло підводиться до поверхні зерна і досить швидко його прогріває до температури сушильного агента. Нагрівання зерна можливе до певної межі, яка визначається термостійкістю його білкового комплексу.

Гранично допустима температура нагрівання зерна залежить від культури, початкової вологості, температури, тривалості теплової обробки. Гранично допустимі температури нагрівання зерна наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Гранично допустима температура нагрівання зерна

Вологість, %	16	17	18	19	20	21	22	23
Пшениця, °С	55	52	49	46	43	40	37	36
Жито, °С	65	62	59	56	53	50	47	43
Кукурудза, °С	75	70	65	53	58	55	52	47

Під час сушіння зерна пшениці, жита, ячменю, вівса у барабанних зерносушарках гранично допустиму температуру теплоносія встановлюють 110-130°С. Температуру нагрівання продовольчого зерна можна допускати на 8-10°С, а теплоносія на 15-20°С вищу ніж для насіння .

Визначення дійсної температури нагрівання зерна під час сушіння, особливо гарячим повітрям, створює значні труднощі внаслідок безперервної зміни як температури, так і вологості зерна. Параметри сушильного агента, що проходить крізь шар зерна, змінюються, оскільки він абсорбує вологу і охолоджується.

Внаслідок цього певна частина зерна починає сохнути при початкових умовах, тоді як нижній шар уже висохне. Після порівняно короткого періоду сушіння температура зерна з боку подачі сушильного агента і температура останнього стають досить близькими. Тому температуру нагрівання зерна визначають, контролюючи температуру сушильного агента.

У барабанних зерносушарках існують свої характерні закономірності процесу. За ходом руху зерно потрапляє у зони, які недостатньо пронизуються сушильним агентом. Внаслідок цього зерно періодично підсушується. Виходячи з термостійкості насіння і граничного знімання вологи, необхідно суворо додержувати температуру нагрівання зерна і сушильного агента, ви-

тримувати продуктивність сушильної установки і експозицію сушіння залежно від вихідної вологості матеріалу.

Одним з основних показників, що характеризують рівень зерносушильної техніки, є енергетичні затрати. Так, на сушінні пшениці продовольчого призначення з початковою вологістю 20% та кінцевої 14% у сучасних вітчизняних зерносушарках потрібна витрата тепла на видалення одного кілограма води 1250-1400 ккал/кг, тобто ККД сушильної установки

складає -0,5-0,42. У той же час можливість збільшення ККД сушильної установки обмежена. Так, загальна витрата тепла на кілограм випаровуваної води можна представити в вигляді наступного запису

$$Q = Q1 + Q2 + Q3 + Q4, \quad (2.1)$$

де $Q1$ - кількість тепла, теоретично необхідна на випаровування 1 кг води та нагрів її у вигляді пари до температури теплоносія, що відпрацював;

$Q2$ - кількість тепла, необхідна на нагрів вологого матеріалу, із якого випаровують 1 кг води;

$Q3$ - кількість тепла, необхідна на нагрів сухої частини повітря від температури навколишнього середовища до температури повітря, що відпрацювало;

$Q4$ - втрати в навколишнє середовище.

Середні величини компонентів витрати тепла на 1 кг випаровуваної води визначаються наступними цифрами:

$Q1=600$ ккал/кг вип.вол; $Q2=250$ ккал/кг вип.вол;

$Q3=420$ ккал/кг вип.вол; $Q4=30$ ккал/кг вип.вол.

Зниження величини Q може бути досягнуто в основному за рахунок $Q3$, шляхом рециркуляції теплоносія, що відпрацював.

2.2. Обґрунтування та вибір технологічного обладнання

Враховуючи матеріал, викладений в попередніх розділах, для отримання найбільшої користі від автоматизації зерносушарки доцільно проводити її

на барабанній зерносушарці СЗСБ-8. Вона не потребує значних капіталовкладень для досягнення бажаного ефекту від реконструкції.

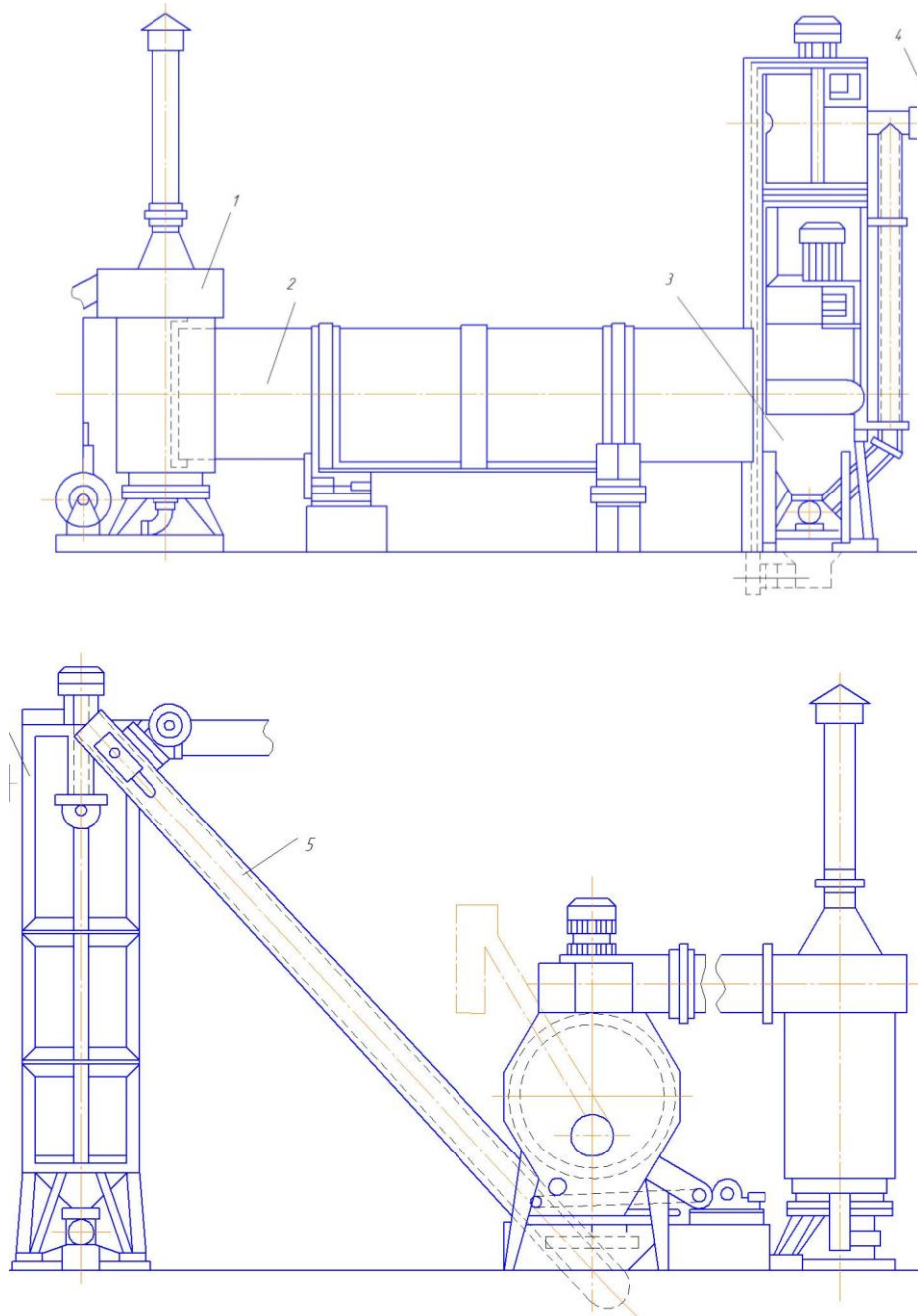


Рисунок 2.1 - Зерносушарка СЗСБ-8

1 — топка; 2 — сушильний барабан; 3 — розвантажувальна камера; 4 — охолоджувальна колонка; 5 — розвантажувальний елеватор; 6 — вентилятор охолоджувальної колонки; 7 — вентилятор сушильного барабана; 8 — пульт керування; 9 — привідний механізм; 10—завантажувальна камера

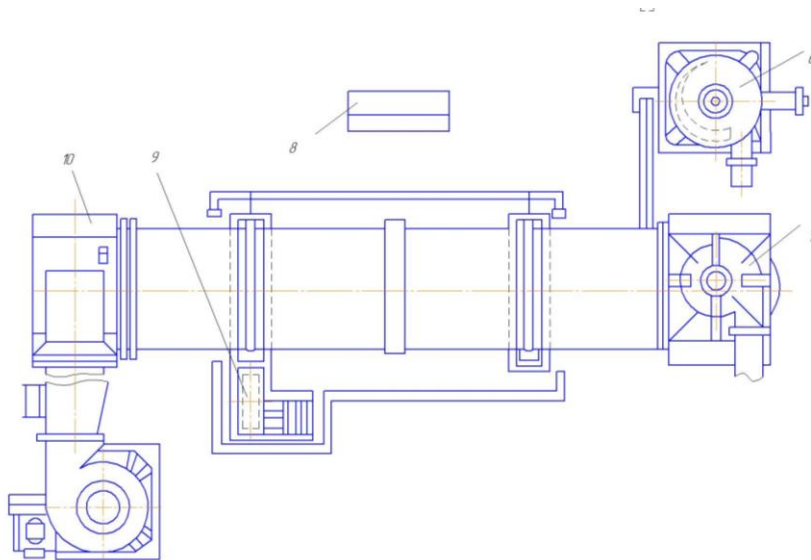


Рисунок 2.1 - Зерносушарка СЗСБ-8 (продовження)

Барабанна зерносушарка СЗСБ-8 призначена для сушіння насінного та продовольчого фуражного зерна зернових, зернобобових та олійних культур. Основним елементом барабанних сушарок є горизонтальний або ледве нахилений обертовий зі швидкістю 2...6 об/хв циліндричний барабан, усередині якого переміщується по довжині і сушиться зерно. Усередині барабана в залежності від продукту, що висушується, установлюють різного типу насадки або подовжні лопати, що сприяють інтенсифікації процесу сушіння.

Основна характеристика барабанних сушарок — волого напруженість об'єму барабана, тобто кількість випаруваної вологи; з 1 м об'єму барабана. Величина вологонапруженості залежить від типу, ступеня заповнення і частоти обертання барабана, теплофізичних властивостей і розмірів зерна, а також від температури вологості і швидкості агента сушіння усередині барабана, вона коливається від 6,0 до 44,0 кг випар. вол./ (м³ • ч). Витрата теплоти складає від 5230 до 12500 кдж випар. вол. (від 1250 до 3000 ккал випар. вол., а витрата електроенергії від 0,1... до 0,2 кВт ч/кг випар. вол. Зерносушарка СЗСБ-8 складається з топки, завантажувальної камери, сушильного барабана, розвантажувальної камери,

охолоджувальної колонки, розвантажувальної норії, вентилятора охолоджувальної колонки, вентилятора сушильного барабана, завантажувальної норії приводного механізму.

Завантажувальна камера встановлена поруч з переднім торцем сушильного барабана і служить для подачі агента сушіння і сирого зерна в барабан сушарки. На верхній стінці камери встановлений патрубок, що з'єднує камеру з трубопроводом подачі агента сушіння. Дно камери конусне і закінчується клапаном-блимавкою, через який надлишок сирого зерна можна видаляти з камери.

На передній стінці камери мається отвір для термометра, призначеного для виміру температури агента сушіння. До задньої стінки приварений фланець з куточка, до якого кріпиться ущільнення сушильного барабана. На передній і бічній стінках камери зроблені люки зі знімними кришками.

Сушильний барабан — шестисекційний, з під'ємно-лопатною системою. Хрестовина знімна, з чотирьох частин. У передній конусній частині барабана знаходяться шість гвинтових доріжок, що підводять зерно до секторів. Гвинтові доріжки в кінці барабана призначені для його відводу.

Вентилятор Ц4-70 №6 охолоджувальної колонки по своїй конструкції аналогічний вентилятору сушильного барабана. Він розташований у верхній частині колонки. У вихлопному патрубку вентилятора встановлений дросель для регулювання загальної витрати повітря, що надходить для охолодження зерна.

Приводний механізм сушильного барабана складається з електродвигуна потужністю 7,5 квт і частотою обертання ротора 1440 об/хв, двоступінчатого редуктора РМ-350 і привода роликів, що передають рух безпосередньо бандажам сушильного барабана. Керування всіма елементами дистанцій-

не, для чого вся апаратура по запуску, захистові й керуванні зосереджена в станції керування.

Принципова технологічна схема роботи сушарки представлена на малюнку. Зерно надходить через завантажувальну камеру в сушильний барабан зерносушарки СЗСБ-8, де лопатки барабана і хрестовини підхоплюють зерно і піднімають його нагору, потім воно зсипається вниз і далі переміщується уздовж барабана.

Агент сушіння, проходячи через барабан, омиває зерно, що зсипається з полиць, і висушує його. Зерносушарка працює під розрідженням щоб уникнути витoku агента сушіння через не щільності. Зчленування обертового барабана з завантажувальною і развантажувальною камерами здійснюється через лабіринтові ущільнення.

Підпір зерна на виході із сушильного барабана, що створюється колодязем з люками, служить для створення необхідного заповнення барабана. Люки відкривають тільки по закінченні сушіння партії зерна для повного звільнення барабана. Заповнення барабана вологим зерно повинно бути максимальним, що відповідає приблизно 20...25 % його місткості. При недостатньому заповненні знижується продуктивність сушарки, і зерно в сушильному барабані починає перегріватися.

Агент сушіння, що відробив, видаляється вентилятором, розташованим під развантажувальною камерою сушарки. Висушене зерно безупинно через шлюзовий затвор відводиться з развантажувальної камери норією в охолоджувальну колонку. Тут зерно переміщується зверху вниз, на шляху продувається атмосферним повітрям і проохолоджується. Повітря для охолодження надходить з зовні по усій висоті перфорованої частини колонки, проходить через шар зерна у внутрішній циліндр і викидається вентилятором в атмосферу.

Рух зерна в колонку порційно-періодичний. При досягненні верхнього рівня зерно давить на мембрану датчика верхнього рівня, що

включає електродвигун шлюзового затвора, що випускає охолоджене зерно. У той момент, коли рівень зерна знижується до датчика нижнього рівня, електродвигун виключається і розвантаження припиняється. Рівень зерна починає підвищуватися, і цикл повторюється.

Основні показники і конструктивні параметри зерносушарки подані в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2. Показники барабанної зерносушарки СЗСБ-8

Продуктивність, т/год	8
Витрата умовного палива, кг/год	До 80
Встановлена потужність, кВт	28,2
Зниження вологості, %	До 10 (24-14)
Габаритні розміри, мм:	
- довжина	10260
- товщина	7070
- висота	8300
Маса, кг	8300
Тип топки	Поямої дії
Тип пальника	Форсунка механічної дії
Паливо	Суміш тракторного керосину з моторним паливом

Топка зерносушарки металева циліндричної форми, що працює на рідкому паливі. Вона складається з камери згорання, паливної системи живлення, вентилятора розпилювача палива, станини, димаря і блокувального пристрою.

В якості сушильного агента використовується суміш топкових газів з повітрям. Топка металева циліндричної форми. Камера згорання виготовлена з жорсткої сталі. Паливо до форсунки подається насосом. Передбачено перепускний клапан з регулювальним гвинтом. Витрату

палива регулюють зміною тиску в паливній системі в діапазоні 10-20 атм і перестановкою змінних розпилювальних шайб з діаметром отворів 0,8; 1,0; 1,3; 1,7 мм і завихрювачів з каналами перерізом 1 і 2 мм². Запалювання палива -постійно діюче від трансформатора високої напруги.

Контроль за факелом здійснюється фотоелементом, який через проміжне реле заблокований з магнітним пускачем електродвигуна паливного насоса.

2.3 Регулювання температури теплоносія.

Приймемо, що можна знехтувати втратами тепла, пов'язаними з охолодженням сушильного барабана, нагріванням матеріалу і його вологи (останнє можливо для першого періоду сушіння), і будемо вважати питому теплоємність теплоносія постійною. Тоді для якого-небудь перетину барабана, вилученого від його входу на відстань u , може бути складене рівняння, ліва частина якого являє собою витрачене тепло теплоносія, а права — тепло, витрачене на випаровування вологи матеріалу, що пройшов відстань u уздовж осі барабана, тобто

$$(t_{1\Gamma} - t_{\Gamma}) \cdot c_{\Gamma} \cdot L = (w_1 - w) \cdot r \cdot G \quad (2.2)$$

ввівши позначення

$$r \cdot \frac{G}{c_{\Gamma}} \cdot L = k = const$$

отримаємо

$$t_{\Gamma} = k \cdot w - (k \cdot w_1 - t_{1\Gamma}), \text{ або } \frac{t_{\Gamma}}{k} = w - A$$

при чому

$$A = w_1 - \frac{t_{1\Gamma}}{k} \quad (2.3)$$

Таким чином, зміна температури теплоносія по довжині сушильного барабана при відповідному масштабі k і прийнятих раніше спрощують припущеннях збігається зі зміною абсолютної вологості матеріалу, зменшеної на постійну величину A . Співвідношення (2.3) дозволяє при заданій початковій вологості w_1 приблизно оцінювати ступінь підсушування матеріалу по температурі теплоносія.

Барабанна сушарка, відноситься до класу об'єктів автоматичного керування, що характеризується великими постійними часові, розподіленими параметрами і значним запізнюванням, обумовленим часом проходження матеріалу, що висушується, через весь барабан, що може досягати 1 годину. Тому використання температури теплоносія або вологості матеріалу на виході із сушильного барабана як регульованої величини в ряді випадків не представляється можливим. Як регульовану величину доцільно застосовувати температуру теплоносія в такому перетині барабана, де запізнювання мале і уже відбулося випаровування значної частини вологи, що підлягає випаровуванню в сушильному барабані, так що можна судити по процесу сушіння в апараті.

При лінійному законі зміни коефіцієнта сушіння по довжині апарата таким перетином є перетин сушарки, розташування на відстані $7z$ від входу матеріалу, де L — довжина апарата. У реальних сушарках поряд зі збурюваннями, діючими одночасно на весь сушильний простір, відбуваються і місцеві збурювання. Вони виникають, наприклад, через зміну розподілу матеріалу і гідродинамічних умов його обтікання сушильним агентом по областях сушильного простору. Тому, взагалі кажучи, керування процесом сушіння за інформацією одного датчика нерівноцінно керуванню за усередненою інформацією датчиків, розміщених по всьому сушильному простору, а для барабанних сушарок завжди, коли це можливо, бажане використання розподіленого контролю.

Регулювання температури теплоносія можна робити або зміною кількістю матеріалу, що надходить у барабан, або зміною кількості тепла, що вводиться в барабан. Зміна витрати палива подаваного в сушарку матеріалу зв'язано зі зміною її продуктивності. Отже, у випадку комплексної автоматизації цілого виробництва регулювати процес сушки зміною подачі матеріалу в сушильний барабан не є можливим.

Кількість тепла, подаваного в сушильний барабан, можна регулювати зміною кількості теплоносія або його температури на вході в барабан або обох параметрів разом. При цьому потрібно враховувати, що діапазон зміни кількості теплоносія і його вхідної температури, як правило, обмежений, особливо зверху, тому що надмірне збільшення швидкості теплоносія викликає великий пиловидувач, а збільшення температури вище деякої межі може бути неприпустимо по розуміннях техніки безпеки або приводить до розкладання матеріалу що висушується.

Як теплоносій в барабанних сушарках застосовується або повітря, що підігрівається в калорифері, або димові гази, які утворюються в топці. Можливі схеми автоматизації барабанних сушарок наведені на рис. 2.2, 2.3, 2.4.

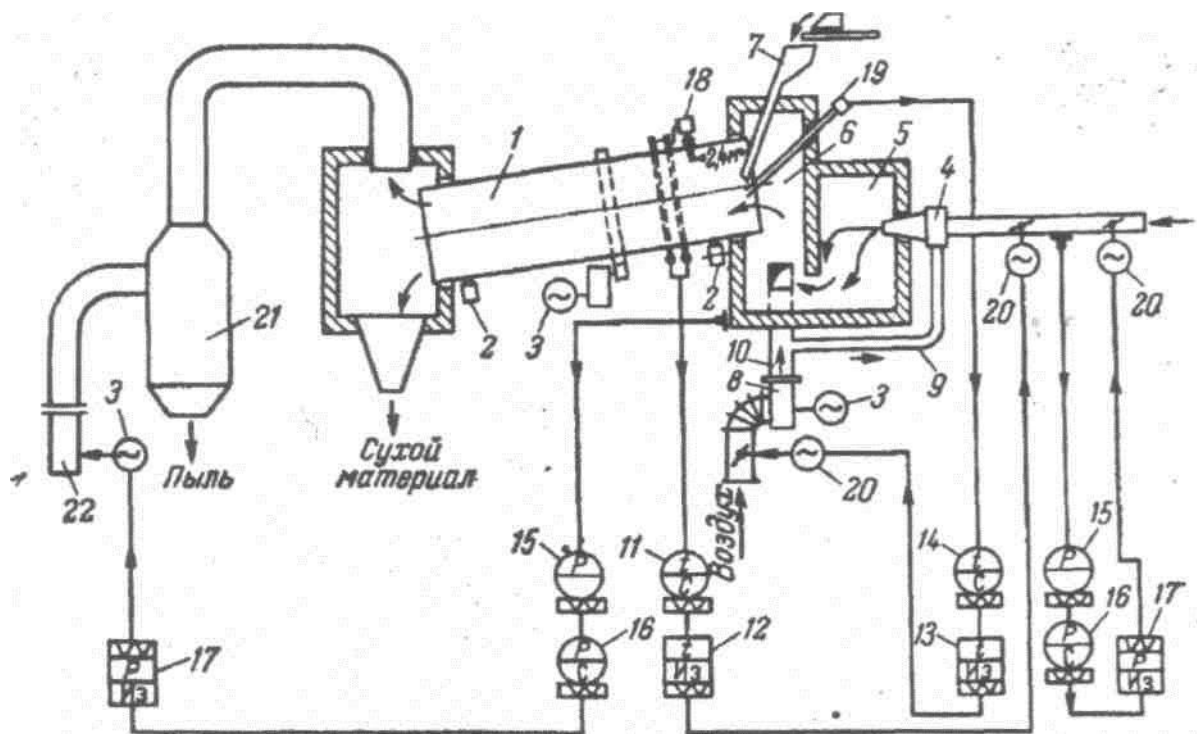


Рисунок 2.2 - Схема автоматизації барабанної сушарки з газовим обіг-
ривом

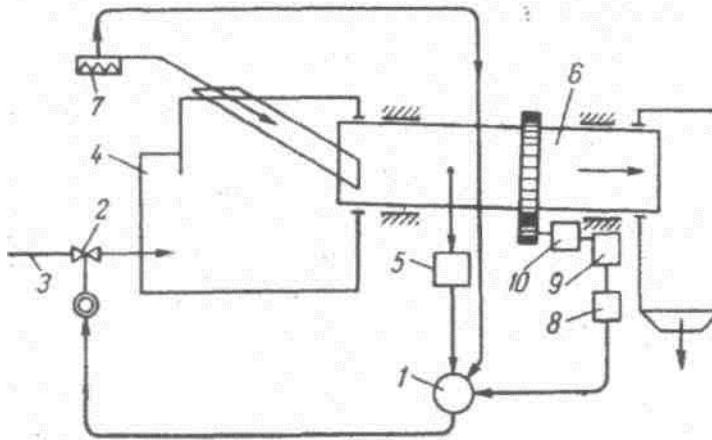


Рисунок 2.3 - Схема автоматизації барабанної сушарки з корекцією по загрузці барабана

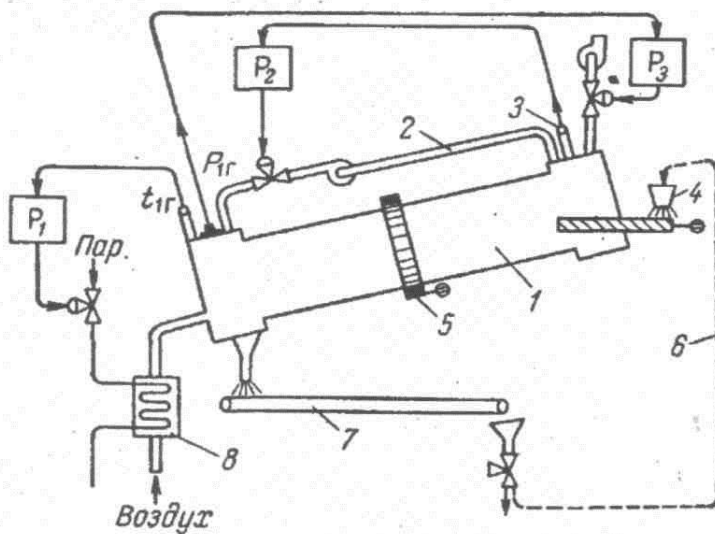


Рисунок 2.4 - Блок-схема автоматичного регулювання барабанної сушарки

1 - барабан, 2- лінія рециркуляції повітря, 3 - мокрий термометр, 4 - бункер матеріалу, 5 - привід барабана, 6 - лінія рециркуляції матеріалу, 7 - конвеєр, 8 - повітропідігрівач, P1 і P2 - регулятори температури, P3 - регулятор тиску.

Приймаємо регулювання температури на вході в барабан шляхом змі-
нення подачі палива в пальник (форсунку).

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ

3.1. Аналіз повітрянагрівача, як об'єкта автоматичного регулювання температури та визначення передаточної функції

Стабілізацію температури сушильного агенту здійснюють за допомогою витрати палива, яке подається в повітрянагрівач (теплогенератор), або за допомогою регулювання швидкості надходження повітря з навколишнього середовища.

Повітрянагрівачі на рідкому або газоподібному паливі при наявності камери згорання мають складний процес теплообміну, який протікає в умовах рухомого та випромінюючого середовища в взаємному зв'язку окремих процесів (рух середовища, дифузія, горіння, зміна фізичних властивостей та складу середовища і т.д.). У силу складності вихідної системи рівнянь, що описують усю сукупність процесів теплообміну, при визначенні динамічних характеристик повітрянагрівачів можна використовувати спрощене рівняння теплового та матеріального балансів. Аналітичний метод визначення динамічних характеристик допускає усереднення рушійних сил взаємодіючих середовищ і прийняття умови лінійності зміни показників процесу по всій довжині теплообмінного апарата.

Для сільськогосподарських повітрянагрівачів динамічні характеристики є функціями від часу температури теплоносія при зміні витрати палива або електроенергії (для електрокалориферів).

До повітрянагрівачів прямого нагрівання відносяться повітрянагрівачі, у яких теплоносії одержують змішуванням топочних газів із повітрям. Тепло, одержуване в результаті згорання розпилюваного палива, частково передається випромінюванням й конвекцією через стінки камери згорання, а інша частина - безпосереднім змішуванням топочних газів із повітряним потоком. Передача тепла через стінки камери згорання й визначає інерційність об'єкта,

його динамічні властивості. Тому задача одержання динамічної характеристики об'єкта зводиться в основному до визначення кількості тепла, переданого через стінку та акумульованого в ній при перехідному режимі.

При стаціонарному режимі, тобто сталому горінні з постійною витратою палива, маємо наступне рівняння теплового балансу:

$$Q_B + Q_T + Q_{CG} = Q_{TG} + Q_{CT}, \quad (3.1)$$

де Q_B та Q_T - кількість тепла, внесена в топку повітрям, що йде на горіння, й паливом, ккал/год; Q_{CG} - кількість тепла, одержувана при спалюванні палива, ккал/год; Q_{CT} - кількість тепла, передана через стінки камери згорання, ккал/год; Q_{TG} - кількість тепла, що міститься в топочних газах, що виходять із камери згорання, ккал/год.

Величини Q_B та Q_T відносно Q_{CT} малі

$$\left(\left(\frac{Q_B + Q_T}{Q_{CT}} \right) \cdot 100 < 1\% \right),$$

тому ними можна знехтувати та надалі не враховувати.

Тоді температура теплоносія θ_T (регульована величина) на виході з повітрянагрівача може бути подана у вигляді виразу:

$$\theta_T = \theta_{T'} + \theta_{T''} - \theta_0 \quad (3.2)$$

та визначена з рівняння теплового балансу:

$$Q_H^P \cdot \eta_T \cdot q - L_T \cdot C_T \cdot (\theta - \theta_0) = 0, \quad (3.3)$$

$$\theta_T' = \frac{Q_{CT}}{L_T \cdot C_T} + \theta_0$$

- температура теплоносія, отримана за рахунок передачі тепла через стінки, °С,

$$\theta_T'' = \frac{Q_{TG}}{L_T \cdot C_T} + \theta_0$$

- температура теплоносія, одержувана за рахунок тепла, що виділяється в результаті змішування повітря з топочними газами,

при нагріванні його від початкового значення, $^{\circ}\text{C}$; θ_0 - температура зовнішнього повітря, $^{\circ}\text{C}$; Q_H^P - нижча теплотворна спроможність палива, ккал/кг; η_T - коефіцієнт корисної дії повітрянагрівача; q - витрата палива, кг/год; L_T - теплоносія, кг/год; C_T - питома теплоємність теплоносія, ккал/(кг $\cdot$ $^{\circ}\text{C}$).

Температура θ_T'' може бути знайдена з рівняння матеріального балансу

$$L_T \cdot C_T \cdot (\theta_T'' - \theta_0) - L_T \cdot C_T \cdot (\theta_T - \theta_0) = 0 \quad (3.4)$$

де L_T - кількість топочних газів, кг/год; C_T - середня питома теплоємність газів, ккал/(кг $^{\circ}\text{C}$).

Величина θ_T' може бути визначена з виразу (3.2) за умови, що кількість тепла, сприйманого внутрішньої поверхнею стінок, буде дорівнювати теплу, відданому повітрю їх зовнішньої поверхнею.

У випадку порушення стаціонарного режиму теплопередачі, наприклад, при зміні кількості спалюваного палива, відбудеться зміна температур і теплова рівновага в системі наступить тільки через деякий час. Щоб виразити зміну температури теплоносії в часу, складемо диференціальне рівняння, що відбиває цю залежність. Допускаючи, що температура теплоносія та стінок змінюється по довжині теплообмінної частини лінійно, запишемо кінетичне (3.5), балансове (3.6), (3.7) і перехідне (3.8) рівняння:

$$\frac{dQ_1}{dt} = \alpha \cdot F \cdot \left(\theta_{CT} - \frac{\theta_T' + \theta_0}{2} \right); \quad (3.5)$$

$$\frac{dQ_1}{dt} = L_T \cdot C_T \cdot (\theta_T' - \theta_0); \quad (3.6)$$

$$\frac{dQ_2}{dt} = Q_H^P \cdot \eta_T \cdot q - L_T \cdot C_T \cdot (\theta_T - \theta_0); \quad (3.7)$$

$$\frac{dQ_2}{dt} - \frac{dQ_1}{dt} = GC_{CT} \cdot \frac{d\theta_{CT}}{dt} \quad (3.8)$$

де Q_1 - кількість тепла, передана за час t повітрю від стінок, ккал; c - коефіцієнт тепловіддачі від стінок повітря, ккал/(год $\cdot$ м ^{2} $\cdot$ $^{\circ}\text{C}$); F - поверхня тепловіддачі, м ^{2} ; θ_{CT} - усереднена температура стінок, $^{\circ}\text{C}$; Q_2 - кількість тепла, передана стінці середовищем, що нагріває, за час t , ккал; θ_T - температура

топочних газів на виході з камери згорання, °C; G - маса теплообмінних стінок, кг; C_{CT} - питома теплоємність матеріалу стінок, ккал/(кг °C). Тут і надалі значення α , θ_{CT} , G та температури середовища, що нагрівається, і нагріваючого середовища у заданому інтервалі приймають середні: $C_T \approx C_0$; $L_T \approx L_0$.

Розв'яжемо систему рівнянь, так щоб у формулі (3.8) залишилися тільки постійні (регульований параметр θ_T і час t). Це можна зробити, якщо в рівняннях (3.1.3) і (3.1.6) замінити θ'_T через θ_T і θ''_T та виразити відносно температури стінки

$$\theta_{CT} = \left(\frac{L_T \cdot C_T}{\alpha \cdot F} + \frac{1}{2} \right) \cdot \theta_T - \left(\frac{L_T \cdot C_T}{\alpha \cdot F} + \frac{1}{2} \right) \cdot \theta''_T + \theta_0 \quad (3.9)$$

диференціюючи рівняння (3.9) за часом, отримаємо

$$\frac{d\theta_{CT}}{dt} = \left(\frac{L_T \cdot C_T}{\alpha \cdot F} + \frac{1}{2} \right) \cdot \frac{d\theta_T}{dt}$$

Підставивши в рівняння (3.8) величини $\frac{dQ_1}{dt}$ та $\frac{dQ_2}{dt}$ з рівнянь (3.6), (3.7) значення θ_T і θ''_T з рівнянь (3.2) і (3.4), після ряду перетворень одержимо диференціальне рівняння перехідного режиму

$$\frac{G \cdot C_{CT} \cdot \left(\frac{L_T \cdot C_T}{\alpha \cdot F} + \frac{1}{2} \right)}{L_T \cdot C_T} \cdot \frac{d\theta_T(t)}{dt} + \theta_T(t) = \frac{Q_H^P \cdot \eta_T \cdot q}{L_T \cdot C_T} + \theta_0 \quad (3.10)$$

Рівняння (3.10) з врахуванням запізнення в об'єкті при нульових початкових умовах може бути записано в загальному вигляді як рівняння аперіодичної ланки першого порядку з запізненням:

$$T_0 \frac{d\theta_T(t)}{dt} + \theta_T(t) = k_0 \cdot q \cdot (t - \tau), \quad (3.11)$$

$$T_0 = \frac{G \cdot C_{CT} \cdot \left(\frac{L_T \cdot C_T}{\alpha \cdot F} + \frac{1}{2} \right)}{L_T \cdot C_T} \quad (3.12)$$

$$k_0 = \frac{Q_H^P \cdot \eta_T}{L_T \cdot C_T} \quad (3.13)$$

де T_0 - постійна часу, с; k_0 - коефіцієнт передачі об'єкта, °C · год/кг; τ - запізнення в об'єкті, яке можна визначити з виразу

$$\tau = \tau_{\Gamma} + \tau_{\text{TP}} \quad (3.14)$$

де τ_{Γ} – час горіння в топці ($\tau_{\Gamma} < 1\text{ с}$).

$$\tau_{\text{TP}} = \frac{1}{\omega_{\text{T}}}$$

- транспортне запізнення вимірювального пристрою температури теплоносія до факела, м; ω_{T} - швидкість теплоносія у повітропроводі, м/с.

Для повітронагрівачів прямого нагрівання значення τ мало й складає біля 2-3 с. Передаточна та перехідна функції для повітронагрівачів прямого нагрівання будуть мати вигляд:

$$\begin{aligned} W(s) &= \frac{k_0}{T_0 \cdot s + 1} \cdot e^{-s \cdot \tau} \\ \theta_T &= k_0 \cdot q \cdot \left(1 - e^{-\frac{t-\tau}{T_0}} \right) \end{aligned} \quad (3.15)$$

У рівнянні (3.10) коефіцієнт тепловіддачі α є величиною змінної й залежить від температурного режиму. Отже, й постійна часу T_0 буде коливатися в деяких межах відповідно до зміни α .

Величина коефіцієнта передачі об'єкта може бути прийнята постійної незалежно від режиму, тому що для повітронагрівачів із прямим нагрівом значення η_T змінюється незначно. Його коливання залежать в основному від температури навколишнього середовища. Тому надалі необхідно визначати межі зміни α та T_0 в залежності від витрати палива.

3.2. Експериментальне визначення передаточної функції

Передаточну функцію теплогенератора ТГ-2.5 можна визначити із емпіричного рівняння, отриманого при експериментальній апробації повітронагрівача зерносушарки ЗСБС-8.

$$\frac{dt_{ca}}{dt} = -9,02 t_{ca} + (3,8G + 3,9t_b + 338)$$

Коефіцієнт передачі визначають з достатньою для практики точністю за паспортними даними теплогенератора з виразу

$$k_{m2} = q_B / m \quad (3.18)$$

де q_B - продуктивність теплогенератора, кДж/год; m - витрати палива, кг/год.

В зерносушарках СЗСБ-8 використовується теплогенератор типу ТГ-2,5. Приймаючи витрати палива 80 кг/год і продуктивність в межах 720 кДж/год, коефіцієнт передачі складе 5.

Постійну часу теплогенератора більш точно можна отримати з розгінної характеристики, отриманої експериментально, по каналу "витрати палива - температура нагрітого повітря". Постійна часу теплогенераторів знаходиться в межах від 150 до 300 с. В нашому випадку постійна часу дорівнює 200.

Час запізнення ВМ складається з часу перехідного запізнення теплогенератора та часу чистого запізнення від моменту подачі команди пуску теплогенератора до моменту включення електродвигуна головного вентилятора. Цей час обумовлений технологією пуску теплогенератора та складається з часу продування камери згоряння перед подачею палива, часу подачі, запалювання та спалаху палива і часу прогріву камери до заданої температури. Час продувки камери складає не менше 30 с. Загальний час чистого запізнення для теплогенераторів - 50...80 с. В нашому випадку час чистого запізнення складає 50 с. Коли ми підставимо дані в передаточну функцію теплогенератора (ВМ), то вона матиме вигляд: (лист 2.2)

$$W_{BM}(s) = \frac{5}{200 \cdot s + 1} \cdot e^{-50 \cdot s} \quad (3.19)$$

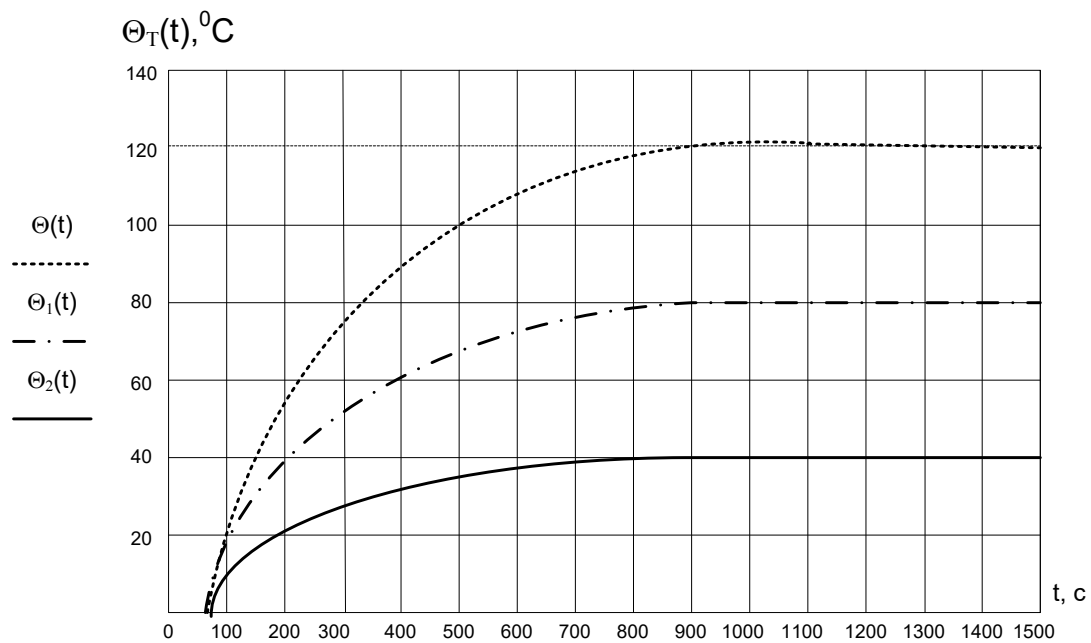


Рисунок 3.1 - Розгінна характеристика в залежності від витрати палива:

1 — $G_1 = 80$ кг/год; 2 - $G_2 = 70$ кг/год; 3 — $G_3 = 60$ кг/год

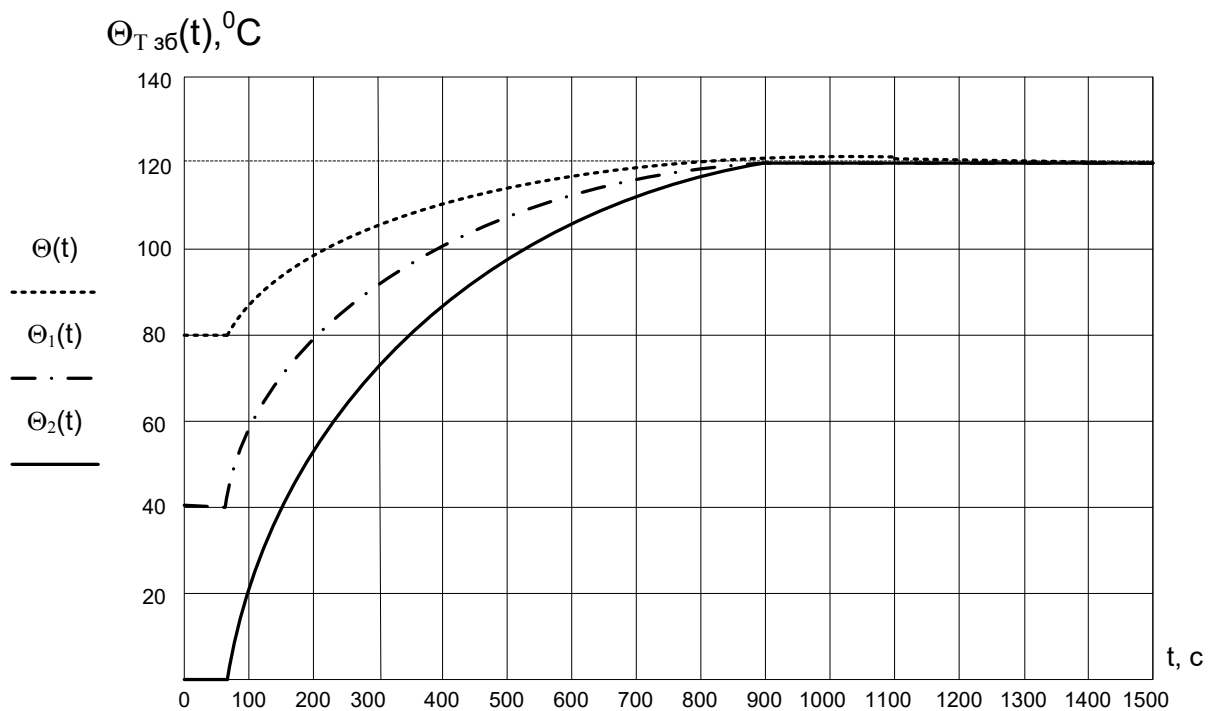


Рисунок 3.2 - Розгінна характеристика повітря при температурі на вході в ТТ:

1 - $t_0 = 80^{\circ}\text{C}$, 2 - $t_0 = 40^{\circ}\text{C}$, 3 - $t_0 = 0^{\circ}\text{C}$

3.3. Вибір засобів автоматизації та визначення їх передаточних функцій

3.3.1 Вибір сприймаючого елемента

Сприймаючий елемент вибираємо за границями вимірювання температури, а також, щоб у процесі стабілізації температури повітря θ на заданому рівні θ_0 , він не вносив динамічну похибку вимірювання температури, його постійна часу T_{CE} повинна бути не менше, ніж на порядок меншою від постійної часу об'єкта управління T_{oy} . Таким чином, ці умови задовольняє ТСМ 012-014 (рис.3.3).

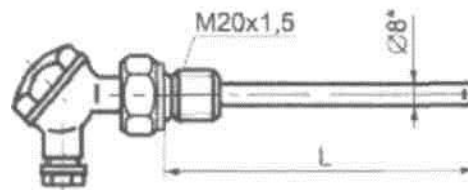


Рисунок 3.3 - Термоперетворювач опору марки ТСМ 012-014

Технічні характеристики:

- робочий діапазон температур: $-50...+180$ °С клас А;
- номінальна статична характеристика: 100М;
- показник теплової інерції: не більше 20 с;
- умовний тиск робочого середовища, P_y : 6,3 МПа;
- матеріал захисної арматури: сталь 12Х18Н10Т;
- схема підключень: трьох або чотирьох провідна;
- захищеність від впливу пилу та води: IP55;
- стійкість до впливу вібрації: N3.

Передаточна функція має вигляд

$$W_{CE}(s) = \frac{k_{CE}}{T_{CE} \cdot s + 1},$$

де k_{CE} визначається за формулою

$k_{ce} = \alpha - R_0$, де α - температурний коефіцієнт опору, що дорівнює $0,004$ $1/^\circ\text{C}$, R_0 - значення опору при $t = 0^\circ\text{C}$, 100 Ом.

Підставивши дані в передаточну функцію, вона матиме вигляд:

$$W_{CE}(s) = \frac{0.4}{20 \cdot s + 1} \quad (3.22)$$

3.3.2 Вибір регулюючого органа

В якості регулювального органу доцільно вибрати регульований шаровий клапан, який буде перекривати подачу палива в потрібні моменти часу. Для цього проведемо певні розрахунки.

Відомі наступні параметри, що необхідні для вибору регулюючого органу: об'ємна маса рідини - $\gamma = 0.8 \text{ г/см}^3$, в'язкість - $\nu = 0,2 \text{ с}$; витрати рідини -

$Q_{\max} = 0.5 \text{ м}^3/\text{год}$, $Q_{\min} = 0.2 \text{ м}^3/\text{год}$, температура теплоносія - $T_l = 150^\circ\text{C}$;

абсолютний тиск до виконавчого механізму - $P = 12 \text{ кгс/см}^2$; перепад тиску на виконавчому механізмі - $\Delta P = 5 \text{ кгс/см}^2$, в системі - $\Delta P_c = 8 \text{ кгс/см}^2$.

Обчислюємо максимальну пропускну здатність регулюючого органу

$$K_{y \max} = Q_{\max} \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_c - \Delta P}} = 0,5 \sqrt{\frac{0,8}{8 - 5}} \approx 0,26 \text{ м}^3/\text{год} \quad (3.23)$$

Тоді

$K_y \geq 1,2 \cdot K_{y \max} = 1,2 \cdot 0,26 \approx 0,32 \text{ м}^3/\text{год}$, тобто $K_{y \text{ вп}} = 0,32 \text{ м}^3/\text{год}$.

Поправку на в'язкість не вводимо, оскільки індекс в'язкості буде

$$z = 420 \cdot \frac{Q_{\max}}{\nu \cdot \sqrt{K_{y \max}}} = 420 \cdot \frac{0,5}{0,2 \cdot \sqrt{0,32}} = 1856 > 1000 \quad (3.24)$$

За каталожними даними приймаємо діаметр регулювального клапана $D_y = 25 \text{ мм}$ та пропускну здатністю $K_{y \text{ вл}} = 2 \text{ м}^3/\text{год}$. Знаходимо пропускну здатність лінії еквівалентного гідравлічного органу. емо розрахунки:

$$K_{y \text{ ул}} = Q_{\max} \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P}} = 0,5 \sqrt{\frac{0,8}{5}} = 0,4 \quad (3.25)$$

$W_{CE}(s) = \frac{0,4}{20 \cdot s + 1}$

Дістаємо відношення перепаду тиску на регулювальному органі при максимальній витраті до перепаду тиску в лінії:

$$n = \frac{K_{y \text{ вп}}}{K_{y \text{ л}}} = \frac{2}{0,2} = 10 \quad (3.26)$$

Уточнюємо перепад тиску на виконавчому пристрої:

$$\Delta P_{\text{вп}} = \frac{\Delta P_c}{1 + n^2} = \frac{8}{1 + 100} = 0,08 \text{ кгс/см}^2 \quad (3.27)$$

Визначаємо витрату рідини через виконавчий пристрій в разі перепаду тиску на ньому:

$$Q_{\text{вп}} = K_{\gamma\text{вп}} \sqrt{\frac{\Delta P_{\text{вп}}}{\gamma}} = 4 \sqrt{\frac{0,08}{0,8}} \approx 1,26 \text{ м}^3/\text{год} \quad (3.28)$$

Знаходимо відносну максимальну та мінімальну витрату рідини:

$$\mu_{\text{max}} = \frac{Q_{\text{max}}}{Q_{\text{вп}}} = \frac{0,5}{1,26} = 0,4 \quad (3.29)$$

$$\mu_{\text{min}} = \frac{Q_{\text{min}}}{Q_{\text{вп}}} = \frac{0,2}{1,26} = 0,16 \quad (3.30)$$

За графіком (рис. 3.4) вибираємо витратну характеристику виконавчого пристрою, згідно якої відносний хід затвора регулювального органа $l_{\text{min}} = 0,08$ та $l_{\text{max}} = 0,9$.

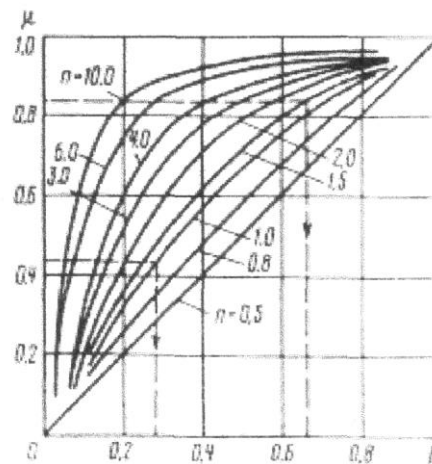


Рисунок 3.4 - Робочі витратні характеристики для регулювальних клапанів

За графіком (рис. 3.5) здобуваємо перепад тиску (його відносне значення)

$$\beta_{\text{max}}=1, \beta_{\text{min}}=0,8.$$

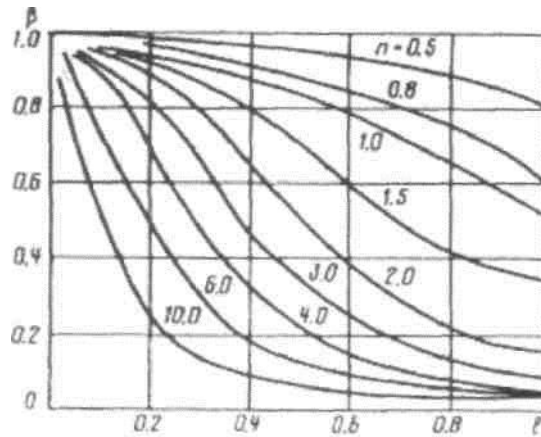


Рисунок 3.5 - Зміни перепадів тисків на КЕ для регулювальних клапанів

Визначаємо абсолютне значення перепаду тиску

$$\Delta P_{max} = \beta_{max} \cdot \Delta P_c = 1 \cdot 8 = 8 \text{ кгс/см}^2 \quad (3.31)$$

$$\Delta P_{min} = \beta_{min} \cdot \Delta P_c = 0,8 \cdot 8 = 6,4 \text{ кгс/см}^2 \quad (3.32)$$

Таким чином, ми отримали дані необхідні для розрахунку виконавчого механізму.

Визначаємо коефіцієнт підсилення керуючого елемента

$$k_{KE} = \frac{\Delta \mu}{\Delta I} = \frac{\mu_{max} - \mu_{min}}{I_{max} - I_{min}} = \frac{0,4 - 0,16}{0,9 - 0,08} = 0,3 \quad (3.33)$$

Передаточна функція регулювального клапану є безінерційною ланкою

$$W_{KE}(s) = k_{KE} = 0,9. \quad (3.34)$$

3.3.3 Вибір виконавчого механізму

Вибираючи виконавчі механізми до поворотних клапанів, слід враховувати реактивний поворотальний момент, що виникає внаслідок неоднакової швидкості потоку через верхню та нижню щілини, а також момент сил тертя в підшипниках. У разі відкриття проходу ці моменти додаються, у разі закриття - віднімаються.

Реактивний повертальний момент

$$M_{\text{ПОВ}} = \alpha \cdot \Delta p \cdot D^3, \quad (3.35)$$

де α - коефіцієнт, що залежить від кута повороту диска (для кута повороту 90° $\alpha = 0,01$);

Δp - перепад тиску на поворотному клапані;

D - діаметр диска.

$$M_{\text{нов}} = 0,01 \cdot 5 \cdot 2,5^3 = 3,2 \text{ Нм}.$$

Враховуючи, що момент сил тертя важко визначити, переставний момент виконавчого механізму вибирають у два рази більшим за реактивний. Тобто

$$M_{\text{ВМ}} = 2M_{\text{нов}} = 2 \cdot 3,2 = 6,4 \text{ Нм}^* . \quad (3.36)$$

Використовуючи довідники в Internet, обираємо в якості виконавчого механізму серводвигун МК-CN.1 24V фірми KOMEX THERM.

Серводвигун створює двосторонній обертовий рух в діапазоні встановлення кулачків. Якщо він є частиною регулювального комплексу фірми KOMEX THERM, то він живиться прямо від регулятора управління. При іншому використанні необхідно вибирати напругу серводвигуна в відповідності з засобом управління, що використовується.



Рисунок 3.6 - Загальний вигляд виконавчого механізму

Технічна характеристика механізму приведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Характеристики серводвигуна

Напруга живлення	24В + 20%;
------------------	------------

Частота	50Гц
Максимальне навантаження контактної сигналізації	230 В/3А
Виконання	ІР 40
Обертний момент	10 Нм
Мінімальне та максимальне встановлення кута робочого ходу	Від 15° до 360°
Основний встановлений на заводі діапазон	90° (с механічним обмежувачем)
Час повороту в межах робочого ходу	150сек(90°)
Приєднуючий провід	4x0,5 - 0,75мм ²
Робоче положення	Довільне
Робоча температура	-10°С-+35°С
Робоче середовище	Звичайне
Температура зберігання і відносна вологість	0 - +50°С, 80%
Рівень шуму	50 dB
Ступінь необхідності обслуговування	без обслугову-
Розміри	134x168мм
Маса	1,05кг

Спосіб закріплення серводвигуна на клапан показано на рис. 3.6. Передаточна функція виконавчого механізму є інтегруючою ланкою

$$W_{BM}(s) = \frac{k_{BM}}{s} . \quad (3.37).$$

Коефіцієнт підсилення визначається таким чином:

$$k_{BM} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{90}{150} = 0,6 \left(\frac{град}{с} \right). \quad (3.38)$$

Тоді

$$W_{BM}(s) = \frac{0,6}{s}$$

Загальна передаточна функція виконавчого механізму матиме вигляд

$$W_{BM\text{взг}}(s) = \frac{0,54}{s}$$

3.4 Визначення періоду квантування

Період квантування знаходимо за теоремою Котельникова за допомогою амплітудно - частотної (АЧХ) замкненої неперервної частини системи при похибці 1% (рис.3.5.), використовуючи ППП MathCAD.

3.5. Розрахунок цифрового регулятора

Для забезпечення аперіодичного монотонного перехідного процесу доцільне застосування ПІД - алгоритму управління (регулятора)

Передаточна функція цифрового ПІД - алгоритму (регулятора) має вигляд:

$$W_{PID}(z) = K_p + \frac{K_i T(Z+1)}{2(Z-1)} + \frac{K_d(Z-1)}{T_z} \quad (3.39)$$

Визначаємо значення одного коефіцієнта (K_I). Це значення проводиться на основі добротності системи за швидкістю (K_v). Інші коефіцієнти K_p , K_d визначаються таким чином, щоб компенсувати полюси (інерційності) неперервної частини системи.

$$K_v = \lim_{Z \rightarrow 1} W_{HЧ}(Z) K_I$$

```

W := 0,0001 .. 1
j := sqrt(-1)
Wp ( w ) :=  $\frac{5}{200 \cdot j \cdot w + 1} e^{-50 \cdot j \cdot w}$ 
w := 1
Given
|Wp ( w )| = 0.01
( w ) := Find ( w )

```

```

w = 2.5      pi := 3.14

```

```

Tk :=  $\frac{\pi}{w}$ 

```

```

Tk = 1.256

```

```

w := 0,00001 .. 0.4

```

```

Ap ( w ) := |Wp ( w )|      Ap ( 0.308 ) = 0.081

```

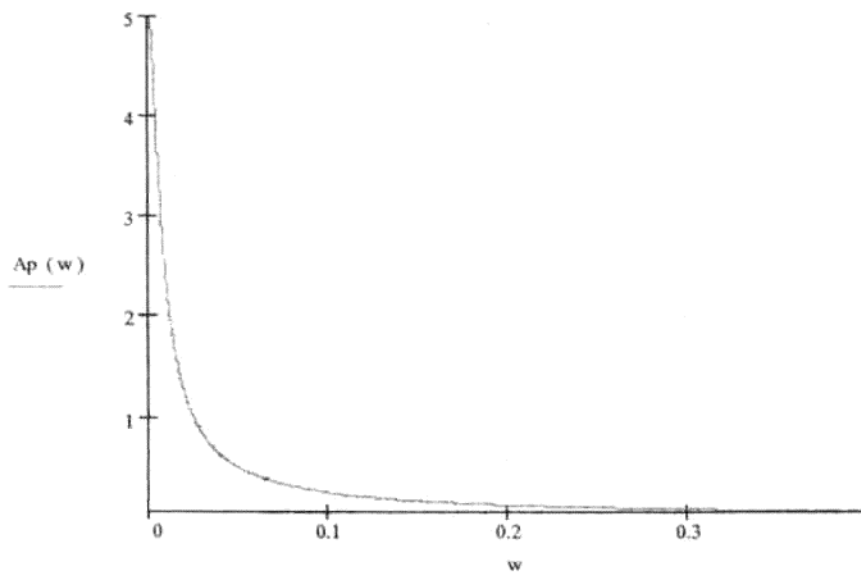


Рис. 3.7 АЧХ замкненої неперервної частини системи. Отже, період квантування приймаємо $T_k=1$ с.

За допомогою ППП MATLAB визначаємо передаточну функцію неперервної частини системи в цифровому вигляді (z - перетворення), попередньо розклавши ланку запізнення в ряд Паде

```
>> Wn = tf([-40 5],[10000 250 1])
```

Transfer function:

$$\frac{-40s + 5}{10000s^2 + 250s + 1}$$

```
>> Wz=c2d(Wn,1)
```

Transfer function:

$$\frac{-0.01231z + 0.05651}{z^2 - 1.77z + 0.7788}$$

Sampling time: 1

```
>>
```

Отже передаточна функція неперервної частини системи матиме вигляд:

$$W_{\text{нч}}(z) = \frac{-0.01231 \cdot z + 0.05651}{z^2 - 1.77 \cdot z + 0.7788} \quad (3.41)$$

$$K_v = \frac{(1 + K)^2}{(\alpha_1 - \beta_1) \cdot K} \quad (3.42)$$

Добротність системи за швидкістю K_v визначають за формулою:
де α , β , K - коефіцієнти передаточної функції неперервної частини, поданої у вигляді:

$$W_{HЧ}(s) \frac{b_m + b_{m-1}s + \dots + b_1s^{m-1} + b_0s^m}{a_n + a_{n-1}s + a_1s^{n-1} + b_0s^n} = k \frac{1 + \beta_1s + \dots + \beta_{m-1}s^{m-1} + \beta_ms^m}{1 + a_1s + \dots + a_{n-1}s^{n-1} + a_ns^n}, \quad (3.43)$$

$$\text{де } K = \frac{b_m}{a_n}; \quad \beta_1 = \frac{b_{m-1}}{b_m}; \dots; \beta_m = \frac{b_0}{b_m}.$$

$$\text{В нашому випадку } W_{HЧ}(s) = 5 \frac{1 - 50s}{1 + 250s + 10000s^2}$$

За формулою (3.42) визначаємо K_v

$$K_v = \frac{(1+5)^2}{(250+50)5} = 0,024$$

Знаходимо K_I за допомогою формули (3.42) та ППП MathCAD

$$K_I := 5 \quad \alpha_1 := 250 \quad \beta_1 := -50$$

$$K_v := \frac{(1+K)^2}{(\alpha_1 - \beta_1)K} \quad K_v = 0.024$$

$$\text{Wn4}(z) = \frac{-0.01231z + 0.05651}{z^2 + -1.77z + 0.7788} \quad \lim_{z \rightarrow 0} \text{Wn4}(z) \rightarrow 5.022727272727272$$

$$K_I := \frac{0.024}{5.02} \quad K_I = 4.781 \cdot 10^{-3}$$

Отже, $K_I = 0,005$

Визначаємо корені знаменника неперервної частини за допомогою ППП MathCAD.

$$z^2 - 1.77z + 0.7788 = 0 \quad (3.44)$$

$$z^2 + -1.77z + 0.7788 \text{ solve, } z \rightarrow .81847932652174964637$$

$$.95152067347825035363$$

Отже, знаменник можна представити у вигляді $(z - 0.82)(z - 0.95)$, це плюси які треба компенсувати.

Чисельник передаточної функції регулятора можна представити в

$$z^2 + \frac{K_I T^2 - 2K_p - 4K_d}{K_I T^2 + 2K_p T + 2K_d} \quad Z + \frac{2K_d}{K_I T^2 + 2K_p T + 2K_d}$$

вигляді:

Знаходимо K_p і K_d прирівняємо вирази (3,43) та (3,44) при однакових степенях z та розв'яжемо систему рівнянь за допомогою ППП MathCAD

$$K_i := 0.005 \quad T := 1$$

$$K_p := 1 \quad K_d := 1$$

Given

$$\frac{K_i T^2 - 2T \cdot K_p - 4K_d}{K_i \cdot T^2 + 2T \cdot K_p + 2K_d} = -1.77$$

$$\frac{2K_d}{K_i \cdot T^2 + 2T \cdot K_p + 2K_d} = 0.7788$$

K_p

$:= \text{Find}(K_p, K_d)$

$K_p = 0.123$

$K_d = 0.443$

K_d

Отже, $K_p=0,123$, $K_d=0,443$

$$W_{PET}(z) = 0.123 + 0.005 \frac{(z+1)}{(z-1)} + 0.443 \frac{(z-1)}{z}$$

Таким чином, передаточна функція регулятора матиме вигляд, який приведений на листі 2.

3.6. Дослідження системи

Визначасмо передаточну функцію САР розімкнутої системи. Для цього визначимо перелаточний коефіцієнт системи

$$k_{сис} = k_{рег} \cdot k_{ВМ} \cdot k_{СЕ} \cdot k_{ОУ}$$
$$k_{сис} = 1 \cdot 0,005 \cdot 0,4 \cdot 4,8 = 0,0096$$

$$W_{роз}(s) = \frac{k_{сис}}{s \cdot (T_{ОУ} \cdot s + 1) \cdot (T_{СЕ} \cdot s + 1)}$$
$$W_{роз}(s) = \frac{0,0096}{4500 \cdot s^3 + 180 \cdot s^2 + s} \cdot e^{-50 \cdot s}$$

(3.48)

Розрахувавши за даною передаточною функцією розімкненої системи розгінну характеристику і побудувавши графіки, ми побачили, що вона не задовольняє критерії стійкості системи, а саме коливальність повинна бути менше 3 коливань. Тому потрібно внести логарифмічне коректування системи, яке зображене на листі 2.

$$201gk = L$$
$$20lg0,0096 \approx -40 \text{ дБ}$$

(3.49)

Визначаємо частоти заломлення ЛЧХ $\omega_1=0,0096 \text{ 1/с; } \omega_2=1/T_2$
 $\omega_2=1/200 = 0,005 \text{ 1/с; } \omega_3=1/T_3 \quad \omega_3=1/30 = 0,033 \text{ 1/с;}$

Для побудови бажаної ЛЧХ потрібно обрахувати частоту зрізу

$$\omega_{зр}=(0,6...0,9)4\pi \cdot t_p$$

t_p знаходиться в межах від 150 до 200, тоді $\omega_{зр}=0,7-4-3,14 / 200=0,04396$
 $1/с;.$

На графіку зображуємо частоту $3 \cdot \omega_{зр},$ де $3 \cdot \omega_{зр}=0,13 \text{ 1/с;}$.

Додавши бажану та дійсну характеристики ми отримали скоректовану логарифмічну характеристику передаточної функції розімкнутої системи

$$201gk = L \quad (3.51)$$

$$201gk=10 \quad k=3,3. \quad (3.52)$$

$$W_{роз.ск}(s) = \frac{0,0096 \cdot 3,3 \cdot (200 \cdot s + 1)}{s \cdot (30 \cdot s + 1) \cdot (200 \cdot s + 1)} \cdot e^{-50 \cdot s} = \frac{0,3}{s} \cdot e^{-50 \cdot s} \quad (3.52)$$

$$W_{зам.ск}(s) = \frac{1}{3,3 \cdot s + 1} \cdot e^{-50 \cdot s} \quad (3.53)$$

Для побудови ФЧХ, розраховуємо $\varphi(\omega)$ за формулами:

$$\varphi_0(\omega) = -\omega_0 / 2 - \arctg(T_{кер} \cdot \omega) - 50 \cdot \omega \quad (3.54)$$

- для бажаної характеристики;

$$\varphi_0(\omega) = -\omega_0 / 2 - \arctg(150 \cdot \omega) - \arctg(30 \cdot \omega) - 50 \cdot \omega \quad (3.55)$$

- для дійсної характеристики.

3.7 Вибір технічних засобів реалізації алгоритму управління

3.7.1 Технічна реалізація цифрового регулятора

На сьогоднішній день існує багато систем та пристроїв для керування об'єктом управління, обробки і передачі інформації від датчика до пристрою керування. Але серед багатьох виробників на нашому ринку помітно виділяється фірма Shnider Electric, що є виробником систем автоматизації всіх сфер людської діяльності і має багато апаратних рішень для вирішення нашого завдання.

Для даного випадку можна використати рішення на базі модулів серії Modicon M340, що має широке застосування, зокрема і в сучасних зерносушарках.

Робота Modicon M340 не допускає значного уповільнення циклу програми в разі використання будь-яких можливостей потужних і розвинених мов, які відповідають стандартам МЕК.

Використовуючи многозадачну операційну систему Modicon M340 (основне завдання, швидка завдання і 64 завдання обробки переривань), користувач може адаптувати контролер до наявного у нього обладнання, а не навпаки (як це часто відбувається).

Завдяки великому обсягу пам'яті нового ПЛК відпадає необхідність оптимізації розробок - адже процесор має 8 Мбайт, де може зберігатися більше 70 тисяч інструкцій програми. У комплекті з процесором поставляється флеш-пам'ять типу SD, готова до зберігання архіву додатки (виконуваний код, вихідний код і коментарі). Таким чином, необхідність в розширенні пам'яті, як правило, не виникає.



Рис. 3.2 – Зовнішній вигляд модулів серії Modicon M340

Modicon M340 дозволяє реалізувати будь-які сучасні проекти з урахуванням індивідуальних потреб замовника, оскільки відмітними особливостями обладнання у кожного конкретного користувача є такі технологічні функції:

функції рахунку імпульсів, що реалізуються за допомогою двох модулів: 2 каналу до 60 кГц або 8 каналів до 10 кГц;

- 32-бітовий рахунок;
- час циклу 1 мс;
- 2 регістра захоплення і рефлексні функції з реакцією менше 200 мкс;

- розширені конфігуровані функції: фільтрація по кожному входу, широкий вибір рефлексних функцій, генератор імпульсів, обмежувач вільного ходу;
- конфігуруються функції рахунку та вимірювання.

Рахункові функції вже опрацьовані для таких додатків, як попередження про спустошення розмотувальний пристрій, сортування дрібних об'єктів, простий електронний кулачок (електронна «шарманка»), управління швидкістю в тому числі в режимі master-slave.

Спеціальний модуль для цього не потрібно. Рішення базується на інтегрованої програмної бібліотеці позиціонування (MFB - Motion Function Block - функціональний блок управління переміщенням), що відповідає стандарту PLCopen.

Керування сервоприводом або частотним приводом здійснюється командами MFB, що видаються на приводи через шини CANopen, і керуючими приводами Altivar для асинхронних електродвигунів, або Lexium, або IcIA для безщіткових або крокових синхронних електродвигунів з метою керування позиціонуванням.

Розроблений спеціально для виробників компактних, модульних або складних машин Modicon M340 підходить для устаткування, пов'язаного з переміщенням матеріалів, конвеєрної транспортування і вторинної упаковки, а також для спеціальних і деревообробних машин.

Бібліотека функцій регулювання є стандартною в пакеті Unity. Мова функціональних блок-схем забезпечує гнучке програмування з просунутим графічним інтерфейсом. Існує також можливість оптимізації та контролю алгоритму управління. Крім традиційних регуляторів типу ПІД або ПІ, бібліотека включає в себе численні додаткові функції і елементи, а саме:

- автонастройку регуляторів;
- дво- або трьохпозиційний регулятор, ПІ-регулятор типу «гарячий / холодний», каскадний ПІД-регулятор;

- генератор функцій зміни алгоритму управління;
- перемикач структури ПІД / ПІ;
- модуляцію тривалості імпульсу;
- масштабування величин і ряд інших можливостей.

До персонального комп'ютера можна підключитися за допомогою простого високошвидкісного інтерфейсу USB, яким оснащений будь-який сучасний процесорний модуль від Modicon. Підключатися можна і через Ethernet, в режимі «точка-точка» або через локальну мережу.

Modicon M340 дозволяє завжди тримати об'єкти замовника в межах досяжності. До установок можна підключатися за допомогою послідовного модему (RTC, GSM / GPRS, Radio) або ADSL. Залежно від технології підключення доступні:

- програмування в режимі он-лайн;
- завантаження або вивантаження програми;
- віддалена діагностика через WEB-сервер;
- запис і читання файлів даних (стандартний сервіс FTP).

Виробник впевнений, що Modicon M340 є гідним продовженням серії комбінованих між собою виробів Telemecanique, що дозволяють створювати якісні ефективні рішення для систем контролю і автоматизації.

У таблиці 3.2 описані цифрові позначення компонентів станції ПЛК, представлені на рис. 3.3:

Позиція	Опис
1	Модуль живлення
2	Процесорний модуль
3	Модуль входів-виходів (колодка підключення на 20 контактів)
4	Модуль входів-виходів (один роз'єм на 40 контактів)
5	Модуль входів-виходів (два роз'єми по 40 контактів)
6	Лічильний модуль
7	Монтажне шасі, що має 8 місць для установки модулів

Процесорні модулі ЦПУ Modicon M340.

Опис процесорних модулів BMX P34 1000/2000/2010 (рис. 3.3).

На лицьовій панелі стандартних і вдосконалених процесорних модулів BMX P34 1000/2000/20102 передбачені наступні індикатори та роз'єми:

1 Гвинт для надійного кріплення модуля в слоті (маркування 0) монтажного шасі

2 Блок індикації, який в залежності від моделі може мати 5 або 7 світлодіодних індикаторів:

- індикатор RUN (зелений): робота процесорного модуля (виконання програми);
- індикатор ERR (червоний): несправність процесорного модуля або системи;
- індикатор I / O (червоний): несправність модулів вводу-виводу;
- індикатор SER COM (жовтий): обмін по послідовному інтерфейсу Modbus;
- індикатор CARD ERR (червоний): карта пам'яті відсутній або несправна

Модель BMX P34 20102 додатково має:

- індикатор CAN RUN (зелений): робота вбудованого порту CAN;
- індикатор CAN ERR (червоний): несправність вбудованого порту CAN.

3. Роз'єм USB mini-B для підключення програмного терміналу (або панелі Magelis XBT GT) (1)

4. Відсік під карту пам'яті для зберігання резервної копії додатку (розташований над відсіком світлодіодний індикатор показує, коли йде звернення до карти або її розпізнавання)

5. Роз'єм RJ45 для підключення кабелю послідовного інтерфейсу Modbus або символьного режиму (RS 232C / RS 485, 2-провідний, неізований)

Модель BMX P34 20102 додатково має:

6. 9-контактний роз'єм SUB-D для підключення у вигляді провідного пристрою (Master) шини CANOpen



Рисунок 3.3 – Модуль ЦПУ Modicon M340

Модулі цифрового вводу-виводу з роз'ємом для підключення до 20-контактного знімною клемної колодки.

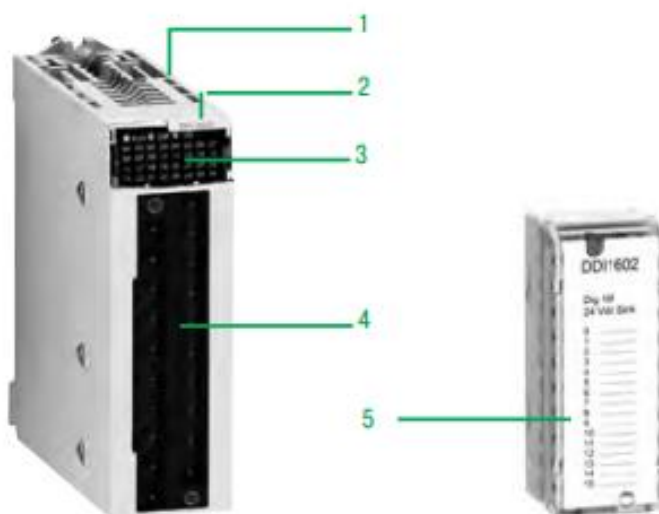


Рисунок 3.4. Модуль цифрового вводу-виводу:

- 1- Корпус
- 2 - Ідентифікаційна маркування модуля (етикетка на правій стороні модуля)
- 3 - Блок індикації стану каналів
- 4 - Роз'єм для 20-контактного знімного клемної колодки для підключення датчиків або проміжних реле
- 5 - 20-контактна знімна клемна колодка BMX FTV 20p0 або готовий кабель з 20-контактною знімною клемною колодкою і вільними проводами на іншому кінці.

Модулі аналогового вводу-виводу



Рисунок 3.5. Модуль аналогового вводу-виводу

Для платформи Modicon M340 пропонуються наступні модулі аналогового вводу-виводу:

5 модулів аналогового вводу:

- 2 модуля BMX ART 0414/0814 з 4 і 8 ізольованими каналами; низький рівень напруги;

для підключення термопар, температурних датчиків Pt, JPt, Ni або Cu і резисторів;

Дозвіл 15 біт + знак;

- 1 модуль BMX AMI 0410 з 4 ізольованими високошвидкісними каналами; високий рівень напруги або струму; дозвіл 6 біт;

- 2 модуля BMX AMI 0800/00810 з 8 неізольованими високошвидкісними каналами;

високий рівень напруги або струму; дозвіл 15 біт + знак.

- 3 модуля аналогового виведення:

- 1 модуль BMX АМО 0210 з 2 ізолюваними аналоговими каналами;

високий рівень напруги або струму; дозвіл 15 біт + знак;

- 1 модуль BMX АМО 0410 з 4 ізолюваними аналоговими каналами;

високий рівень напруги або струму; дозвіл 15 біт + знак;

- 1 модуль BMX АМО 0802 з 8 неізолюваними аналоговими каналами;

високий рівень напруги або струму;

дозвіл 15 біт + знак.

- 1 модуль аналогового введення-виведення BMX АММ 0600 з 4 вхідними і 2 вихідними каналами (Неізолюваними) напруги або струму; дозвіл 12 ... 14 біт в залежності від типу каналу і діапазону.

У модулях аналогового вводу-виводу обладнано роз'ємом під 20-контактну знімну клемну колодку, за винятком модулів аналогового вводу BMX ART 0414/0814 з термopарами / датчиками температури, які забезпечені 40-контактним з'єднувальним роз'ємом.

Всі аналогові модулі займають один слот монтажних шасі BMX ХВР рrr. Ці модулі можна встановлювати в будь-який слот монтажного шасі, крім перших двох (PS і 00), які зарезервовані для установки модуля живлення BMX CPS рr0 і процесорного модуля BMX P34 рr0, відповідно.

Постачання аналогових модулів електроживленням здійснюється по шині, що об'єднує (3,3 і 24 В).

Модулі аналогового вводу-виводу можна вийняти або без відключення живлення (див. Стор. 2/8).

У конфігурації Modicon M340 з одним монтажним шасі максимальну кількість аналогових каналів залежить від кількості доступних слотів монтажного шасі (до 11 слотів).

Для управління системою автоматичного регулювання за допомогою модулів Modicon M340 використаємо програму, написану на мові програмування C++. (Див. Додаток А)

3.8 Аналіз роботи САР та визначення показників якості управління

Перевірку цифрової системи на стійкість виконуємо за критерієм Джурі. Для цього необхідно знайти передаточну функцію розімкнутої системи

$$W_{PO3}(z) = W_{HЧ}(z) \cdot W_{ПЕР}(z) = \frac{-0.03165 \cdot z + 0.03872}{z^2 - 1.77 \cdot z + 0.7788} \cdot \left(1.232 + 0.025 \frac{(z+1)}{(z-1)} + 44.252 \frac{(z-1)}{z}\right) =$$

$$= \frac{-0.18z^3 + 0.22z^2 - 0.07z + 0.03}{z^4 - 2.77z^3 + 2.54z^2 - 0.77z}.$$

Знайдемо передаточну функцію замкненої системи

$$W_{ЗАМ}(z) = \frac{W_{PO3}(z)}{1 + W_{PO3}(z)} = \frac{-0.18z^3 + 0.22z^2 - 0.07z + 0.03}{z^4 - 2.77z^3 + 2.54z^2 - 0.77z}.$$

Розв'яжемо характеристичне рівняння замкненої системи за допомогою ППП MathCAD

$$W_{PO3}(z) = W_{HЧ}(z) \cdot W_{ПЕР}(z) = \frac{-0.03165 \cdot z + 0.03872}{z^2 - 1.77 \cdot z + 0.7788} \cdot \left(1.232 + 0.025 \frac{(z+1)}{(z-1)} + 44.252 \frac{(z-1)}{z}\right) =$$

$$= \frac{-0.18z^3 + 0.22z^2 - 0.07z + 0.03}{z^4 - 2.77z^3 + 2.54z^2 - 0.77z}.$$

$$z^4 - 2.77z^3 + 2.54z^2 - 0.77z$$

$$W_{PO3}(z) = W_{HЧ}(z) \cdot W_{ПЕР}(z) = \frac{-0.03165 \cdot z + 0.03872}{z^2 - 1.77 \cdot z + 0.7788} \cdot \left(1.232 + 0.025 \frac{(z+1)}{(z-1)} + 44.252 \frac{(z-1)}{z}\right) =$$

$$= \frac{-0.18z^3 + 0.22z^2 - 0.07z + 0.03}{z^4 - 2.77z^3 + 2.54z^2 - 0.77z}.$$

$$z^4 - 2.95 z^3 + 2.76 z^2 - 0.84 z - 0.03 \text{ solve, } z \rightarrow \begin{pmatrix} .15787412568974547892 - 82941756891253480547 \text{ } i \\ .15787412568974547892 + 82941756891253480547 \text{ } i \\ 75495377091125615427 - 25106297537018535310 \text{ } i \\ 75495377091125615427 + 25106297537018535310 \text{ } i \end{pmatrix}$$

Зобразимо корені на Z -площині (лист 3). Оскільки всі корені знаходяться всередині одиничного кола, то за критерієм Джурі система стійка.

За допомогою ППП MathCAD складемо структурно-алгоритмічну схему цифрової системи та побудуємо перехідний процес (лист 3). З перехідного процесу визначаємо показники якості САР:

час регулювання $T_r=240$ с

перерегулювання $\alpha=0\%$

коливальність $n=0$ раз

статична похибка $\Delta=0$.

Ці показники задовольняють технологічним вимогам до процесу сушіння зерна.

Розділ 4. Електротехнічна частина

4.1. Обґрунтування та вибір електротехнічного обладнання

Для функціонування системи автоматизації необхідне її електричне живлення. Розробляючи схему електроживлення приладів і засобів автоматизації, потрібно керуватись вимогами безперебійності електропостачання, територіальним розміщенням джерел живлення електроприймачів, зручністю та безпекою експлуатації.

У щитах і збірках живлення розташовують апаратуру захисту та керування живильної та розподільчої мережі. Їх вибір і розміщення повинне насамперед забезпечити надійність, зручність і безпеку.

Розробка живильної мережі системи електроживлення включає в себе вибір напруги, проводів, вибір та розміщення апаратів захисту та керування.

Вибір напруги живильної мережі визначається напругою в колах живлення приладів і засобів автоматизації з урахуванням напруг, прийнятих у системі постачання електроенергії автоматизованого об'єкту.

Вибір числа фаз і проводів живильної мережі відбувається в залежності від числа фаз і напруги живлення приладів і засобів автоматизації, а також від допустимого струму проводу.

Вибір характеристик апаратів захисту та керування здійснюється з урахуванням вимог ПУЕ. Номінальна напруга $U_{\text{на}}$ апаратів захисту та керування повинна бути більша або дорівнювати номінальній напрузі мережі $U_{\text{нм}}$, а номінальний струм $I_{\text{на}}$ рубильника, пакетного вимикача, тумблера, автоматичного вимикача та плавкої вставки - більше або дорівнювати номінальному струму кола $I_{\text{нк}}$. При виборі безінерційних запобіжників необхідно враховувати, що плавка вставка не повинна перегорати при короткочасному збільшенні струму кола, наприклад, при запуску двигунів виконавчих механізмів.

4.2 Вибір шафи керування

По силовому проекті всі машини та механізми зерносушильного комплексу керуються дистанційно за допомогою станції керування ШАП-5915-43А3. Напруга кіл живлення станції керування 220 В, а силових кіл 380 В. Освітлення і сигналізація живляться від мережі 220 В.

Станція керування являє собою пилонепроникну шафу з листової сталі. З середини шафи встановлені: головний контактор, автоматичні вимикачі силових мереж та ланцюгів керування, магнітні пускачі електродвигунів сушильного відділення, реле автоматики, прилади контролю полум'я топки, знижувальний трансформатор і тумблер лампи освітлення шафи. На зовнішній стороні шафи встановлені сигнальні лампи, кнопки керування магнітними пускачами електродвигунів, ручка універсального вимикача схем технологічного процесу, звуковий сигнал, кнопка його керування, кнопка аварійної зупинки технологічного обладнання, штепсельна розетка на 12 В, передбачена для вмикання ручної переносної лампи.

4.3 Вибір силової розподільної шафи

Для живлення електроприймачів в приміщеннях зерносушильного комплексу встановлюють розподільну шафу. Розмішують її в місці, г зручному для обслуговування, ближче до місця електричних навантажень. В виробничому сушильному відділенні в якості розподільчої шафи встановлюємо силову шафу ШАО 5907-44744УЗ з номінальним струмом 400А, напругою живлення 380 В.

4.4. Розрахунок і вибір пуско-захисної апаратури

В теплогенераторі використовується двигун в якості приводу вентилятора для подачі нагрітого повітря у , барабан зерносушарки. У зерносушарці

СЗСБ-8 використовується двигун марки АНР100S4, він має такі технічні характеристики:

P_n , кВт - 3,0;

n_n , об/хв- 1410;

I_n , А- 6,7;

ККД, % - 82;

$\cos \varphi = 0,83$;

$I_{\text{пуск}} / I_n = 7$

Для захисту двигуна потрібно вибрати автоматичний вимикач, електромагнітний пускач, теплове реле, кнопковий пост.

При виборі характеристик апаратів захисту та керування для електродвигунів необхідно враховувати пусковий струм двигуна:

де K_d - кратність пускового струму.

Маємо $I_{\text{пуск}} = 7 \cdot 6,7 = 46,9$ А

При виборі запобіжників $I_{n \cdot \text{вст.}} = 0,4 \cdot I_{\text{пуск}} = 0,4 \cdot 46,9 = 18,76$ А.

Для захисту електродвигуна вибираємо запобіжник типу ПРС-63УЗ-3 з плавкою вставкою ПВД-11-20УЗ, ТУ 16.522.112-74. [6]

4.5 Вибір автоматичного вимикача

вимикачі призначені для нечастих вмикань електричних кіл, проведення струму в нормальному режимі та вимикання електричних кіл при коротких замиканнях, перевантаженнях та недопустимих зниженнях напруги.

Автоматичний вимикач вибирають за родом струму, кількістю полюсів, видом розчіплювачів, ступенем захисту, кліматичним виконанням.

$$U_{\text{ав.н.}} > U_M;$$

$$I_{\text{дв.н.}} > I_{\text{дв.н.}}, \quad (4.2)$$

$$I_{\text{розч.н.}} > I_{\text{дв.н.}};$$

$$I_{\text{відс.}} > K_3 \cdot K_{\text{ру}} \cdot K_{\text{рс}} \cdot K_i \cdot I_{\text{дв.н.}},$$

де $U_{ав.н.}$ - номінальна напруга автоматичного вимикача;

U_M - напруга мережі;

$I_{дв.н.}$ - номінальний струм автоматичного вимикача;

$I_{дв.н.}$ - номінальний струм двигуна;

$I_{розч.н.}$ - номінальний струм розчіплювача;

$I_{відс.}$ - струм відсічки;

K_3 - коефіцієнт запасу, $K_3 = 1,1$;

$K_{ру}$ - коефіцієнт, що враховує відхилення пускового струму від каталожних значень; $K_{ру} = 1,25$;

$K_{рс}$ - коефіцієнт, що враховує відхилення пускового струму від каталожних значень; $K_{рс} = 1,2$;

K_I - кратність пускового струму за каталожними даними.

нашому випадку маємо $U_{ав.н.} > 380В$; $I_{дв.н.} > 6,7А$;

$I_{розч.н.} > 6,7А$.,

$I_{відс.} > 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,2 \cdot 7 \cdot 6,7 = 77,785А$.

Даним вимогам відповідає автоматичний вимикач ВА51-25-34,

ТУ 16-522.157-83; на номінальний струм $I_n = 25А$; струм розчіплювачів $I_{розч.н.} = 8А$; струм відсічки $I_{відс} = 10 \cdot I_n$.

4.6 Вибір електромагнітних пускатів

Електромагнітні пускаті призначені для дистанційного пуску безпосередньо приєднаних до електричної мережі, зупинки та реверсу трифазних асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором. При наявності електротеплового реле пускаті захищають електричні двигуни від перевантажень недопустимої тривалості. Електромагнітні пускаті вибирають за призначенням, конструктивним виконанням, наявністю теплового реле, ступенем захисту та кліматичним виконанням, виходячи з умов

$U_{млн.} > U_M$;

$$I_{мп.н} > I_{дв.н.}, \quad (4.3)$$

де $U_{мп.н}$ - номінальна напруга магнітного пускача; $I_{мп.н.} \sim$ номінальна сила струму магнітного пускача. $U_{мп.н} > 380 \text{ В}$; $I_{мп.н.} > 6,7 \text{ А}$.

Вибираємо магнітний пускач ПМЛ-122004А (ТУ 16-644.001-83):
 непереверсивний з тепловим реле, з одним замикаючим контактом допоміжного кола, номінальний струм головного кола $I_n = 10 \text{ А}$. Для сигналізації наявності напруги і роботи відповідних елементів вибираємо світлосигнальну арматуру з лампами розжарювання АЕР.

Вибираємо кнопочві пости ПKE 622-2У2 для керування електромагнітними пускачами.

Для перемикання режимів роботи вибираємо пакетний перемикач ППЗ-10/42, а також тумблери ТВІ-1.

Вибираємо датчики рівня БВК-24. Для розширення можливостей електромагнітних пускачів і підвищення комутаційної здатності засобів автоматизації вибираємо проміжне реле РПУ-1.

Для програмного розпалювання топки зерносушарки СЗШ-16 і автоматичного контролю і регулювання процесом горіння вибираємо програмне реле часу ВС-10.

4.7. Обґрунтування та вибір проводок

Для стаціонарних електропроводок застосовують переважно проводи та кабелі з алюмінієвими жилами (проводи АПВ, АППВ, АВТУ; кабелі АВВГ, АПВГ). Для приєднання до електротехнічних пристроїв, встановлених безпосередньо на віброізолюючих опорах, а також внутрішнього монтажу щитових пристроїв, зарядки освітлювальної арматури та в електропроводках вибухонебезпечних зон застосовують проводи та кабелі з мідними жилами.

Для живлення переносних і пересувних електроспоживачів застосовують шнури та гнучкі кабелі з мідними жилами.

Внутрішні проводки повинні мати мінімальну протяжність, тому велике значення надають вибору схеми проводки.

Переріз струмопровідної жили проводу, шнура або кабелю вибирають, виходячи з умов гранично допустимого його нагрівання та достатньої механічної міцності. Під час визначення кількості проводів, які прокладають в одній трубі, нульовий робочий провід не враховують. Площу поперечного перерізу жил проводів, шнурів і кабелів вибирають за тривало допустимим струмом

$$I_{\text{тр.доп.}} > I_{\text{розр.}} \quad (4.4)$$

Вибираємо один трижильний алюмінієвий провід марки АППВ, прокладений у трубі, з площею поперечного перерізу струмоведучих жил 2,5 мм².

Для підключення термоперетворювача опору марки ТСМ 012-014 застосуємо провід МГТФЗ (рис. 4.1).

МГТФЗ - багатожильний екранований мідний монтажний провід з ізоляцією з фторопласта. Кількість жил - 2...4. Являє собою декілька скручених проводів МГТФ із накладеним екраном із мідного лудженого дроту. Температура експлуатації від -40 °С до +200 °С. Екран з мідного лудженого дроту. Провід БГГТФ

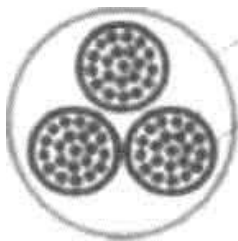


Рис. 4.1 Переріз проводу МГТФЗ.

4.8. Монтаж електротехнічного обладнання

Апаратура керування, регулювання та контролю розміщується в шафі керування. Монтаж комутаційних апаратів здійснюється за такими критеріями:

Розміщення та підготовка до встановлення - на панелях, капітальних стінах, колонах, спеціальних зварних конструкціях, каркасах розподільних пристроїв при розміщенні необхідно виконувати вимоги допустимих номінальних відстаней до струмоведучих частин інших апаратів та до заземлених конструкцій.

Встановлювання та закріплювання апаратів - на вертикальній площині за допомогою гвинтів. Допускається відхилення від вертикалі не більше 5 градусів.

Приєднання проводів та шин - провoda та шини підводяться в апарат до верхніх зажимів, а лінії, що відходять до електроприймачів - нижніх. У вимкненому положенні під напругою повинні знаходитися контактні губки рубильників, а не ножі. Забороняється комутувати кнопковий пост зі сторони нульового проводу. Механічні зусилля на струмопровідних частинах не допускаються.

Регулювання контактів прилягання якоря до осердя, площі прилягання якоря до осердя - у ввімкненому положенні апарата щуп товщиною 0,05 мм не повинен заходити на глибину більше 7 мм. Відбиток легко змиваної фарби на аркуші чистого паперу, закладеному між якорем та осердям повинен бути не менше 70% поверхні контакту.

Вимірювання опору ізоляції - опір ізоляції для апаратів до 1 кВ повинен бути не менше 0,5 мм та не менше даних заводських іспитів більше ніж на 25%.

Випробовування без навантаження і при номінальному навантаженні - виконують 10-15 циклів вмикання та вимикання. Перевірка протягом 2-4 годин на допустимий нагрів.

Заземлення - гнучкою перемичкою від труби електропроводів, двома заземлюючими гайками, або однією контргайкою.

Перевірка рухомих частин гнучких зв'язків та дугогасильних камер - при вмиканні натисканням рукою на якір, останній під дією пружини та власної ваги повинен вільно повертатись в початкове положення. Гнучкі зв'язки повинні бути без обривів, дугогасильні камери - без тріщин та сколів

5.Програма керування для контролера

5.1. Розробка алгоритмів керування

Розроблена блок-схема алгоритму, на основі якої програмуватиметься програмований логічний контролер, наведена на рис.5.1

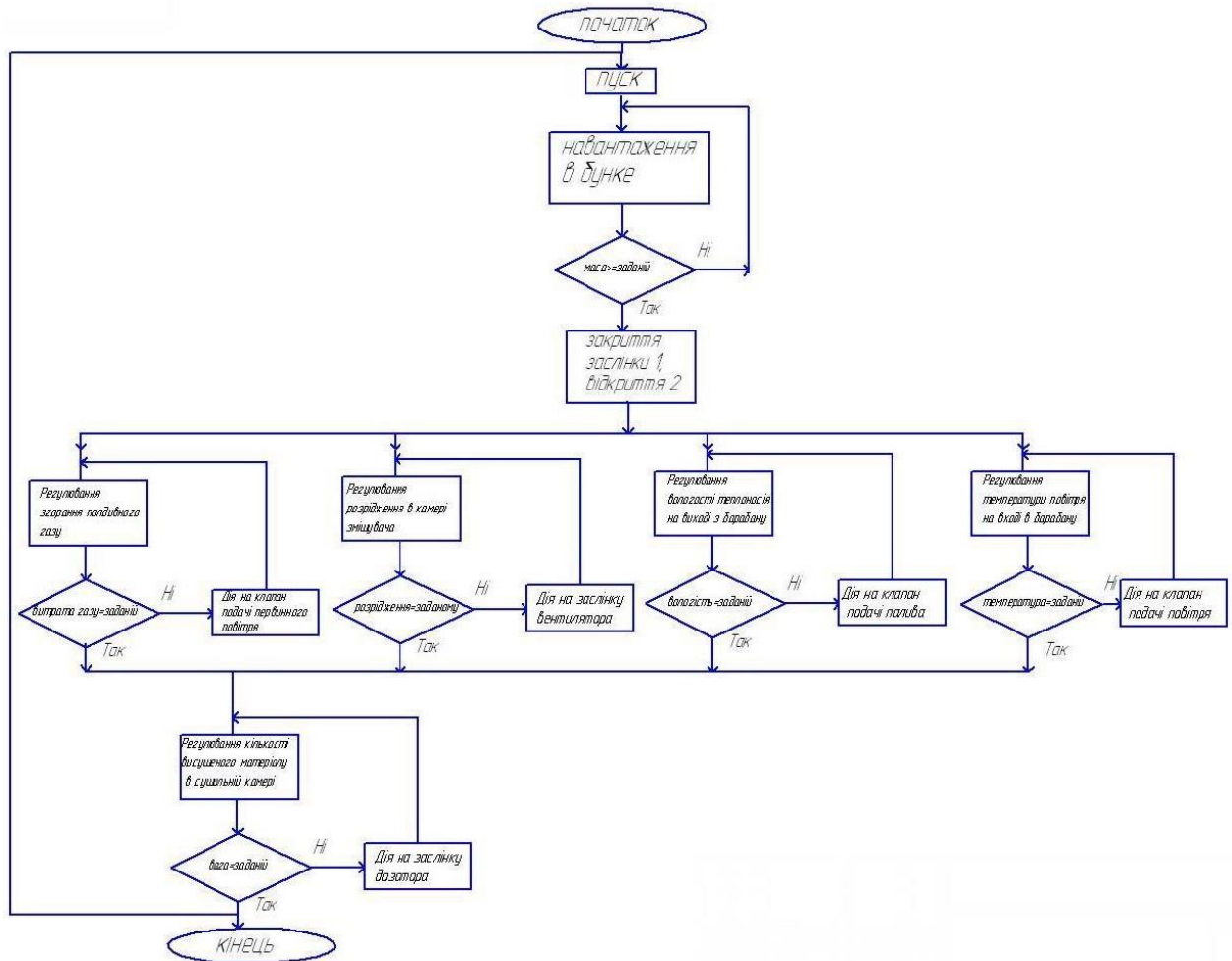


Рисунок 5.1. Блок-схема алгоритму управління процесом сушіння

5.2. Створення програм керування для контролера

В програму включено 4 аналогових входи (для давача вологості; давача температури; давача витрати; давача тиску). Для керування дозатором в програмі використовуються

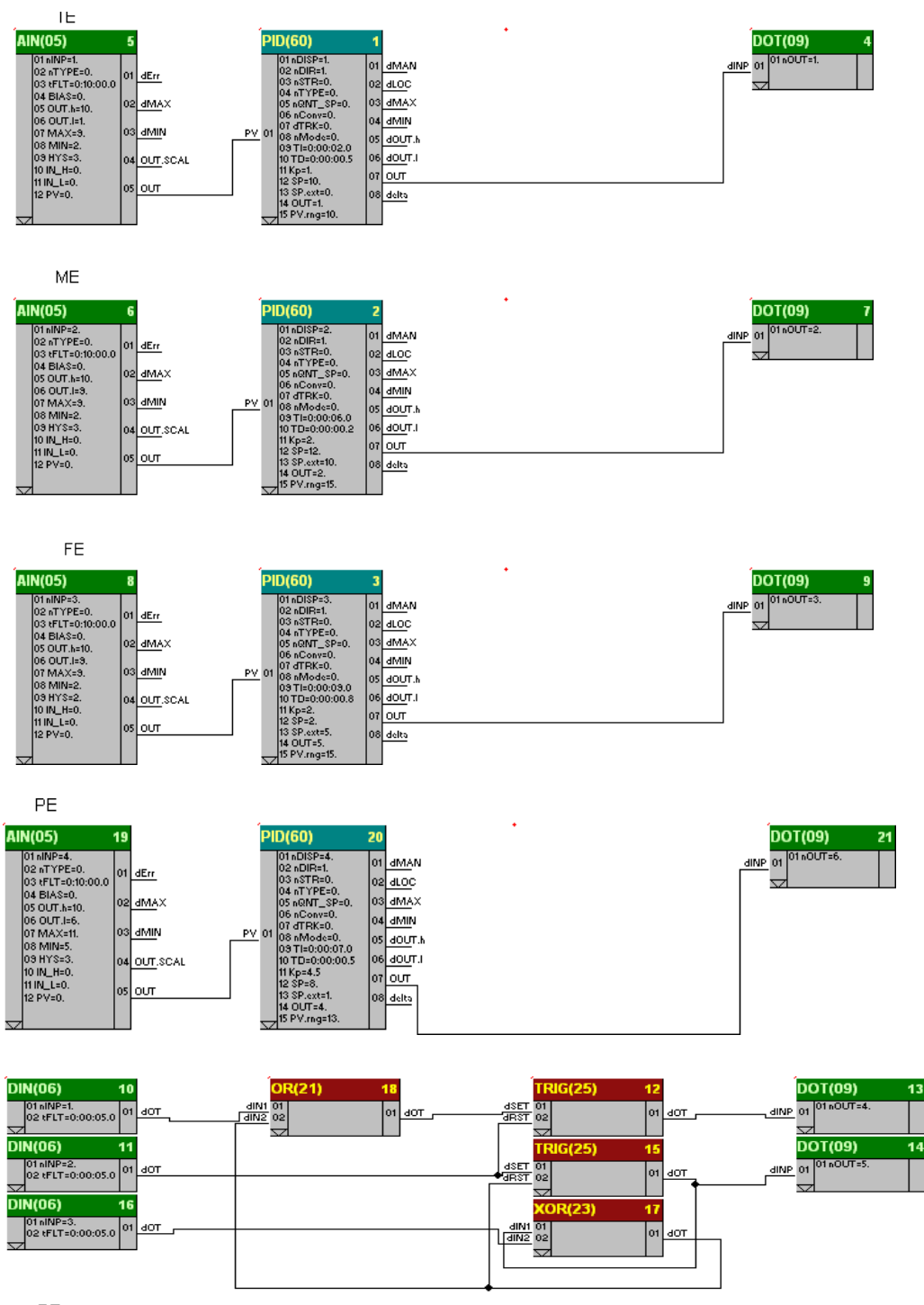


Рисунок 5.2. Реалізація програмування контролера

3 дискретних входи та 2 дискретних виходи. Для керування заслінками та керованими клапанами використовуються дискретні виходи.

Розділ 6. Оцінка економічної ефективності автоматизації об'єкту

6.1. Розрахунок повної собівартості системи автоматичного керування барабанної зерносушарки

Собівартість продукту - це виражені в грошовій формі поточні витрати підприємства на його виробництво і збут. Витрати на виробництво формують виробничу собівартість, а витрати на виробництво і збут - повну собівартість. Розрахунок собівартості продукту за статтями витрат називається калькуляцією. Калькуляція собівартості програмного продукту здійснюється відповідно «Типовому положенню з планування, обліку і калькуляції собівартості продукції (робіт, послуг) в промисловості». /Ссылка на літературу: Типове положення з планування, обліку і калькуляції собівартості продукції. Затверджено КМ. України від 26 квітня 1996 № 473 // Бізнес. - № 32-35/.

Витрати, пов'язані з виробництвом і збутом (реалізацією) продукту (система автоматичного керування барабанної зерносушарки) групуються за наступними статтями:

1. Матеріали і комплектуючі вироби.
2. Основна заробітна плата.
3. Додаткова заробітна плата.
4. Відрахування на соціальні заходи.
5. Витрати на утримання і експлуатацію устаткування.
6. Загальновиробничі витрати.
7. Адміністративні витрати.
8. Витрати на збут.

Матеріали і комплектуючі вироби.

Розглядаються виходячи з відомостей на матеріали, сировину, що комплектують, операцію з розрахунку на 1 одиницю випуску.

Таблиця 7.1. Матеріали і комплектуючі вироби

Найменування	Кількість	Вартість, грн.	
Пристрій	1	200000	7.1.1
Провідники	11 м	11000	7.1.2
Сумарна вартість купувальних виробів (Сп)		211000	7.1.3
			7.1.4

Витрати на основну заробітну плату (Зо):

$$Zo = T \cdot ЧКА = 8 \cdot 500 \cdot 1 \cdot 2 = 8000 \text{ грн},$$

де Т - сумарна трудомісткість розробки продукту (година). Визначається експертним шляхом виходячи з фактично витраченого часу на виробництво і наладку продукту;

Ч - середня годинна тарифна ставка 1 робочого, який задіяний у виробництві продукту, грн./час;

К - коефіцієнт трудової участі (розрядності);

А - кількість працівників задіяних у виробництві.

Відрахування на соціальні заходи містять відрахування від суми основної і додаткової зарплати по встановлених ставках

- на обов'язкове державне пенсійне страхування - 33,2%;
- на державне страхування від нещасних випадків - 0,9%;
- на обов'язкове державне соціальне страхування на випадок безробіття - 1,3%;
- у зв'язку з тимчасовою втратою працездатності і витратами, обумовленими народженням дитини і похованням, - 1,5%)

Витрати на утримання і експлуатацію устаткування: Якщо устаткування знаходиться на балансі підприємства.

Витрати на зміст і експлуатацію устаткування (РСЕО) = основна зарплата * %РСЭО, визначається з відомостей за аналізом повної собівартості продукту (в середньому 120-150%).

$$З_{уе} = з_о \cdot 150\% = 8000 \cdot 150\% = 12000 \text{ грн}$$

Загальновиробничі витрати.

Є витратами, пов'язаними з управлінням підрозділом, витратами на службові відрядження співробітників підрозділу (цехи), амортизаційні відрахування від вартості основних фондів загальцехового призначення і так далі

Визначаються у розмірі 130-250% від основної зарплати.

$$З_{обц} = з_о \cdot 250\% = 8000 \cdot 250\% = 20000 \text{ грн}$$

Виробнича собівартість продукту.

$$Пс = c_n + з_о + з_д + Н_{см} + З_{уе} + З_{обц} = 211000 + 8000 + 1600 + 3542,4 + 12000 + 20000 = 256142,4 \text{ грн}$$

Адміністративні витрати.

Можуть включати:

- витрати, пов'язані з управлінням підприємства;
- витрати на службові відрядження адміністрації підприємства;
- витрати на пожежну і сторожову охорону;
- витрати, пов'язані з підготовкою (навчанням) і перепідготовкою кадрів;
- витрати на перевезення працівників до місця роботи і назад;
- витрати на сплату відсотків за фінансові кредити, а також відсотків за товарні і комерційні кредити; витрати, пов'язані із сплатою відсотків за користування матеріальними цінностями, узятими в оренду (лізинг);
- витрати, пов'язані з оплатою послуг комерційних банків і інших кредитно-фінансових установ;
- податки, відрахування.

Визначаються у розмірі 140-200% від основної зарплати.

$$З_а = з_о \cdot 200\% = 800 \cdot 200\% = 16000 \text{ грн}$$

Витрати на збут.

Включають витрати на рекламу і передпродажну підготовку продукту. Орієнтування ці витрати визначаються у розмірі 5-10% від виробничої собівартості.

$$Зс = nc \cdot 10\% = 256142,4 \cdot 10\% = 25614,2 \text{ грн}$$

Повна собівартість продукту.

$$C = nc + за + Зс = 256142,4 + 16000 + 25614,2 = 297756,6 \text{ грн}$$

Калькуляція собівартості продукту зводиться в таблицю

Таблиця 7.2

Калькуляція собівартості системи автоматичного керування барабанної зерносушарки

Найменування статей калькуляції	Величина, грн
Матеріали і комплектуючі вироби.	211000
Основна заробітна плата	8000
Додаткова заробітна плата	1600
Відрахування на соціальні заходи	3542,4
Витрати на утримання і експлуатацію устаткування	12000
Загальновиробничі витрати	20000
Адміністративні витрати	16000
Витрати на збут	25614,2
Повна собівартість продукту	297756,6

6.1. Розрахунок ціни системи автоматичного керування барабанної зерносушарки

У ринковій економіці існують різні методи ціноутворення: с/с плюс прибуток, забезпечення фіксованого об'єму прибули, залежно від рівня попиту [7].

Розрахунок оптової ціни продукту проведемо по схемі «собівартість плюс прибуток». $Ц_{opt} = З + П$ (6.10)

де З - собівартість програмного продукту П - величина прибули.

Позитивні сторони даної методики полягають в її простоті, комплексній очевидності такої функції ціни як відшкодування витрат на виробництво і забезпечення прибутковості від створення і реалізації продукту. Недолік даної методики полягає в тому, що вона майже не враховує ринкові чинники ціноутворення і перш за все попит. Проте в умовах ринкової економіки існують ситуації, якщо підприємствам доцільно її застосовувати: в умовах відсутності конкуренції (монополії), при обмеженні рентабельності продукції з боку держави, виконанні одноразових замовлень, виготовленні оригінальної продукції.

Необхідно відзначити, що для встановлення реальної ціни яка б відповідала умовам існуючого ринку програмних продуктів, необхідні відповідні маркетингові дослідження.

$$Ц_{розн} = ц_{опт} \cdot 1,2 = 401971,4 \cdot 1,2 = 482365,7 \text{ грн}$$

де 20% ПДВ

Висновок. При визначенні повної собівартості системи автоматичного керування барабанної зерносушарки ми визначили, що вона рівна 297756,6 грн.

ВИСНОВОК

В даній бакалаврській роботі розроблена автоматизація процесу сушіння зерна в зерносушарці СЗСБ-8.

Практичний досвід введення автоматизації технологічних процесів в сільському господарстві веде до підвищення продуктивності праці, зниження енергоємності виробництва на 15..20%, до зниження собівартості продукції на 10..20%.

Дана випускна робота містить розрахунок і перевірку якості функціонування САР температурою теплоагента і САР кінцевої вологості зерна в барабанній зерносушарці.

При виборі оптимальних параметрів настройки регулятора було досліджено властивості об'єкта управління. Точне визначення передаточної функції ОУ дозволило зменшити похибки при синтезі оптимального регулятора.

Перевірка якості функціонування САУ на базі мікро контролера показала такі результати: час регулювання температури теплоносія 240 с; перерегулювання 0 % ; коливальність $\pi = 0$ раз.

Ця система дає можливість підтримувати температуру теплоносія з точністю $\pm 0,423$ °C і одержувати висушене зерно з вологістю $14 \pm 0,5$ %. З розрахунку видно, що застосування САУ приведе до покращення економічних показників, до зменшення витрат палива, до економії поточних витрат на заробітну плату, на витратні матеріали. З екологічної точки зору автоматизація процесу була доцільною, адже затрати на електроенергію зменшились майже вдвічі, а установка окупилася на протязі 1 - року.

Це дає нам можливість сказати, що необхідно проводити роботу по впровадженню систем автоматизації в різноманітні технологічні процеси, тому що комплексна автоматизація веде до збільшення валового внутрішнього продукту та підвищення рівня економічного розвитку нашої країни.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лисенко Є. В., Проектування автоматизованих систем керування технологічними процесами 2019
2. Вершинін О.Е. Застосування мікропроцесорів для автоматизації технологічних процесів.-К.: Енергоздат, 2019 – 208 с.
3. Рей У. Методи управління технологічними процесами – К. Мир.2019 – 868 с.
4. Довідник проектувальника автоматизованих систем управління промисловими процесами. -К.: Машинобудування. 2019 – 528 с.
5. N. V. P. R. Durga Prasad, T. Lakshminarayana, et al., —Automatic Control and Management of electrostatic Precipitator, IEEE Transactions on Industry Applications, pp. 561-567, Vol. 35, No. 3, May/June, 1999.
6. Ralf Joost and Ralf Salomon. —Advantages of fpga-based multiprocessor systems in industrial applications. In 31st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2005). IEEE-IECON, November 2019.
7. Hyman, Anthony. Charles Babbage, pioneer of the computer. — Oxford University Press, 2014.
8. Randell, Brian. The Origins of Digital Computers: Selected Papers.. — 2003.
9. Анісімов А.В. Інформаційні системи та бази даних: Навчальний посібник для студентів факультету комп'ютерних наук та кібернетики. / Анісімов А.В., Кулябко П.П. – Київ. – 2019. – 110 с.
10. Антоненко В. М. Сучасні інформаційні системи і технології: управління знаннями : навч. посібник / В. М. Антоненко, С. Д. Мамченко, Ю. В. Рогушина. – Ірпінь : Нац. університет ДПС України, 2019. – 212 с.
11. Воронін А. М. Інформаційні системи прийняття рішень: навчальний посібник. / Воронін А. М., Зіатдінов Ю. К., Климова А. С. – К. :

НАУ-друк, 2019. – 136с.

12. Павлов А. В. Багатовимірні системи автоматичного управління: конспект лекцій для студ. за спец. 151 "Автоматизація та комп'ютерно- 69 інтегровані технології" денної, заочної та дистанційної форм навчання / А. В. Павлов, О. Ю. Журавльов, Г. А. Олексієнко. — Суми : СумДУ, 2018. — 67 с.