

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет автоматики та енергетики
Кафедра «Автоматизації виробничих процесів»

«Допущено до захисту»
Зав. кафедри АВП
д.т.н., професор
_____ Сергій ОСАДЧИЙ
« ____ » _____ 2021 р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему
«Розробка та дослідження системи автоматичного
регулювання натягу полотна флексографічної машини»

Виконав здобувач вищої освіти
II курсу групи АК-20М
ОПП «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології»
спеціальності 151 «Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології»
_____ Владислав ПРОЦЕНКО
« ____ » _____ 2021 р.

Керівник проекту
професор, канд.техн.наук
_____ Віктор КАЛІЧ
« ____ » _____ 2021 р.

Рецензент

« ____ » _____ 2021 р.

м. Кропивницький

Анотація

на магістерську роботу студента групи АК-20М Проценка Владислава Ігоровича зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» на тему: «Розробка та дослідження системи автоматичного регулювання натягу полотна флексографічної машини».

Магістерську роботу присвячено проблемі підвищення якості продукції, що випускається на флексографічній машині ПФО-45 за рахунок підтримки стабільного натягу полотна. Ця проблема досить гостро стоїть так як в даний час регулювання натягу полотна відбувається вручну.

В роботі проведено експериментальні дослідження експлуатаційних впливів на натяг полотна. За результатами експерименту проведений синтез оптимального регулятора та виконано аналіз якості регулювання. В результаті одержані три передаточні функції для різних матеріалів полотна, за якими побудовано цифровий регулятор. Також створена модель системи автоматичного регулювання в пакеті Simulink, за якою досліджено вплив радіуса вала розмотки на якість регулювання.

В наслідок проведеної роботи створено мікропроцесорну систему автоматичного регулювання натягу полотна флексографічної машини ПФО-45.

Ключові слова: флексографічна машина, натяг полотна, система стабілізації, оптимальний регулятор.

Summary

on magistersky work of the student of group AK-20M Protsenko Vladyslav on a speciality 151 «Automation and computer-integrated technologies» on a theme: «Development and research of the system of automatic adjustment of tension of a cloth of the flexographic car».

Magistersky work is devoted a problem of improvement of quality of production which is issued on flexographic machine PFO-45 at the expense of support of a cloth stable tension. This problem sharply enough costs, as at present regulation of a tension of a cloth occurs manually.

In work experimental researches of operational influences on a cloth tension are spent. By results of experiment it is spent synthesis of an optimum regulator and the analysis of quality of regulation is made. Three transfer functions for different materials of a cloth on which the digital regulator is constructed are as a result received. Also the model of system of automatic control in package Simulink on which influence of radius of a shaft of unwinding on quality of regulation is investigated is created.

Owing to the spent work the microprocessor system of automatic control of cloth tension of flexographic machine PFO-45 is created.

Key words: flexographic machine, cloth tension, stabilization system, optimal regulator.

Вступ

Актуальність теми. В умовах ринкової економіки важливим чинником є якість продукції. Поліпшення якості продукції дає можливості відкривати нові ринки збуту. Встановлення на флексографічну машину ПФО-45 системи автоматичного регулювання натягу полотна дасть можливість зменшити кількість браку у виготовленій продукції, а це призведе до зменшення використаних витратних матеріалів на одиницю продукції. Не відрегульований натяг полотна призводить до утворення на матеріалі складок та зморшок, зображення на відбитку змазане, несуміщення фарб на відбитку.

Основною метою системи регулювання є стабілізація натягу полотна під час роботи флексографічної машини ПФО-45. Розробка даної системи ускладнюється тим, що для друку використовуються різні матеріали полотна, наприклад, поліетилен, поліпропілен, папір та інші, які мають різні технічні характеристики. Тому автоматизація процесу регулювання натягу плівки при флексографічному друку є складною та актуальною задачею.

Мета і задачі дослідження. Мета досліджень полягає у підвищенні якості продукції флексографічного друку за рахунок розробки системи автоматичного регулювання натягу плівки з використанням алгоритмів сучасної теорії управління.

Для досягнення поставленої мети досліджень були сформульовані та вирішені наступні задачі:

- виконати аналіз об'єкта регулювання та визначити його динамічні характеристики;
- провести експериментальні дослідження та визначити динамічні характеристики експлуатаційних впливів на натяг полотна;
- виконати синтез оптимального регулятора для різних типів полотна та різних значень вагового коефіцієнту;

- провести аналіз якості системи автоматичного регулювання натягу полотна для різних типів полотна та дослідити вплив зміни радіуса вала розмотки на якість роботи системи.

Об'єкт дослідження – система автоматичного регулювання натягу полотна при флексографічному друку.

Предмет дослідження – методи та алгоритми підвищення точності регулювання натягу полотна при флексографічному друку.

Методи дослідження – базуються на методах сучасної теорії управління, математичної статистики, теорії випадкових функцій та спектрального аналізу. Для дослідження якості системи автоматичного регулювання натягу полотна, а також прийнятності запропонованих методів до розв'язання поставленої задачі використовувалось імітаційне моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів.

- на основі експериментальних досліджень визначені спектральні щільності експлуатаційних впливів на натяг полотна;
- доведено необхідність використання різних регуляторів для різних типів полотна, що дає можливість підвищити якість регулювання.

Практичне значення одержаних результатів. Визначені структури та параметри оптимальних регуляторів для різних типів полотна дозволяє інженеру-конструктору отримувати рішення задач без виконання аналогічних розрахунків.

1 Характеристики флексографічної машини ПФО-45 та її елементів

1.1 Огляд флексографічної машини ПФО-45

Флексографічна машина ПФО-45 призначена для друку в чотири фарби на полімерних матеріалах та папері.

Машина використовується для поліграфічного оформлення упаковки на підприємствах харчової та інших галузей промисловості.

Флексографічна машина ПФО-45 складається з:

- 1 – рулон розмотки;
- 2 – направляючі валики;
- 3 – коливний вал;
- 4 – перший друкарський циліндр;
- 5 – другий друкарський циліндр;
- 6 – третій друкарський циліндр;
- 7 – четвертий друкарський циліндр;
- 8 – фрикційна пара тягнучого циліндра;
- 9 – циліндр охолодження;
- 10 – розподільувачі повітря;
- 11 – рулон намотки.

Характерні технологічні неполадки викликані не відрегульованим натягом полотна:

- утворення на матеріалі складок та зморшок;
- зображення на відбитку змазане;
- несуміщення фарб на відбитку;

1.2 Математичні моделі елементів машини

Необхідно визначити передаточну функцію об'єкта регулювання. Об'єктом регулювання є коливний вал. Вхідною величиною є гальмівний момент на валу розмотки, а вихідною – положення коливного валу, що характеризує натяг полотна. Для цього розглянемо схему динаміки системи.

Для даної системи складемо диференціальне рівняння руху.

$$\begin{aligned} m \cdot a &= \sum_i F_i; \\ m \cdot a &= F_{KP} + F_{\Gamma} - F_{TP} - F_{\Pi P} - F_T; \\ m \cdot \ddot{x} &= F_{KP} + F_{\Gamma} - f \cdot \dot{x} - k \cdot x - F_T, \\ \text{де } F_{KP} &= M_{KP}/r_1, F_{\Gamma} = M_{\Gamma}/r. \end{aligned} \quad (1.1)$$

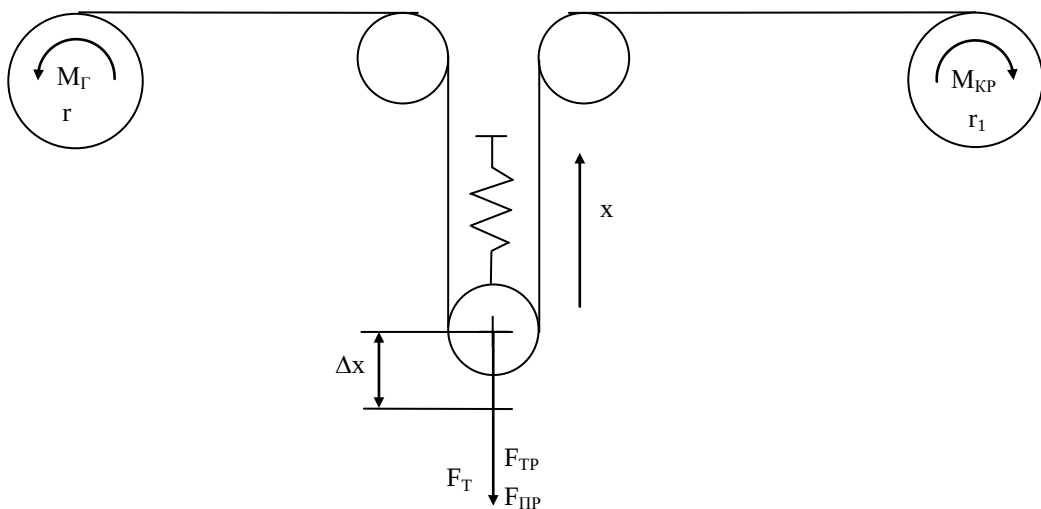


Рисунок 1.2 – Спрощена кінематична схема системи:

де M_{Γ} - гальмівний момент на валу розмотки; r – радіус валу розмотки; M_{KP} – крутний момент на валу намотки; r_1 – радіус валу намотки; F_T , $F_{\Pi P}$, F_{TP} - сили відповідно тяжіння, пружності, тертя; Δx – відхилення від положення рівноваги.

Запишемо диференціальне рівняння у відхиленнях.

$$x = x_o + \Delta x; F_{KP} = F_{KP_o}; F_{\Gamma} = F_{\Gamma_o} + \Delta F_{\Gamma}; F_T = F_{T_o}.$$

$$m \frac{d^2(x_o + \Delta x)}{dt^2} + f \frac{d(x_o + \Delta x)}{dt} + k \cdot (x_o + \Delta x) = F_{KPo} + F_{Go} + \Delta F_{\Gamma} - F_{To}. \quad (1.2)$$

В положенні статичної рівноваги рівність 1.1 матиме вигляд

$$k \cdot x_o = F_{KPo} + F_{Go} - F_{To}. \quad (1.3)$$

В динамічному режимі 1.2.1 матиме вигляд

$$m \cdot \Delta \ddot{x} + f \cdot \Delta \dot{x} + k \cdot \Delta x = \Delta F_{\Gamma} + f_{TP}, \quad (1.4)$$

де f_{TP} - випадковий процес, який зумовлений багатьма чинниками.

$$m \cdot \Delta \ddot{x} + f \cdot \Delta \dot{x} + k \cdot \Delta x = \frac{\Delta M_{\Gamma}}{r} + f_{TP}. \quad (1.5)$$

Передаточна функція від входу ΔM_{Γ} до виходу Δx має вигляд

$$W_{OP}(p) = \frac{1}{r(m \cdot p^2 + f \cdot p + k)}. \quad (1.6)$$

Передаточна функція від входу f_{TP} до виходу Δx має вигляд

$$W_{TP}(p) = \frac{1}{m \cdot p^2 + f \cdot p + k}. \quad (1.7)$$

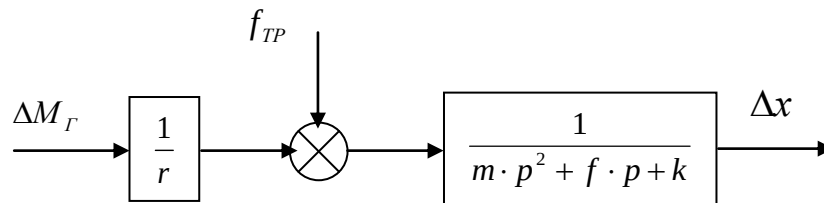


Рисунок 1.3 – Структура об'єкта регулювання.

Підставляючи всі необхідні параметри одержимо:

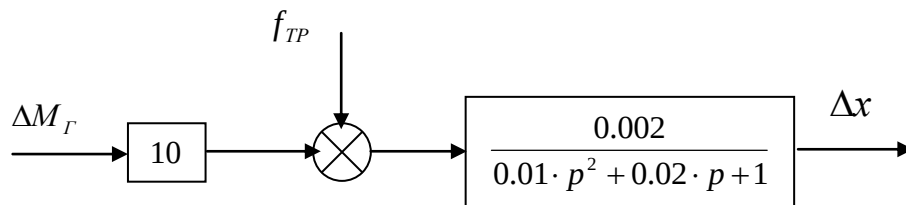


Рисунок 1.4 – Структура об'єкта регулювання.

1.3 Моделі експлуатаційних впливів на систему

Для визначення експлуатаційних впливів на систему було проведено експериментальне дослідження переміщень коливного валу без регулювання. Дослідження проводились наступним чином. Поряд з віссю коливного валу була наклеєна лінійка і з допомогою відеокамери фіксувалося положення валу. Частота 25 кадрів у секунду була достатньою для фіксації переміщень коливного валу. Мінімально можливе положення валу, яке дозволяє конструкція, було взяте за початок відліку. Максимально можливе положення валу рівне 16 міліметрів. Дискретність вимірювання переміщення становила $d = 0,5$ мм (рис.1.5).

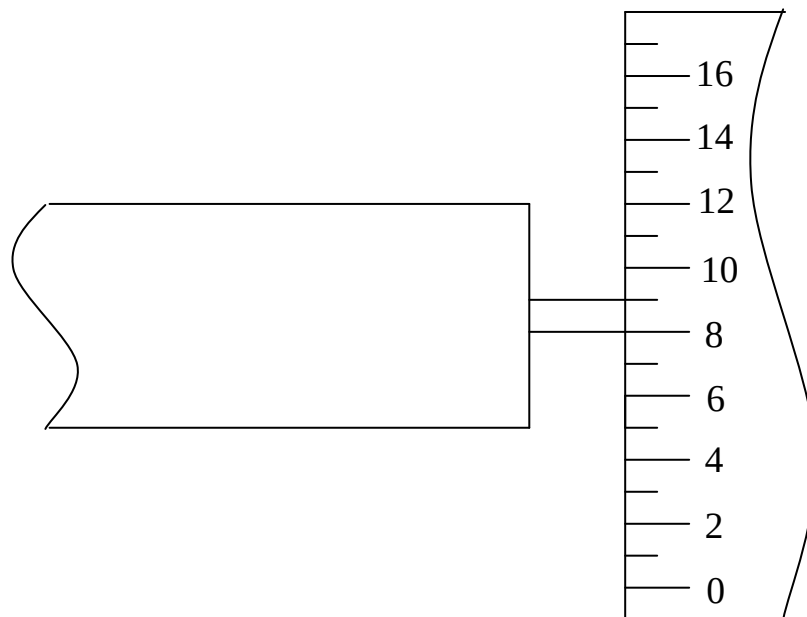


Рисунок 1.5 – Визначення переміщень коливного валу.

Експеримент проводився для різних видів друкарського полотна. Оскільки друкувати можна на різних матеріалах полотна, тому було прийняте рішення провести експеримент для трьох матеріалів, які найчастіше використовуються: поліетилен, поліпропілен та папір. Ці матеріали

відрізняються за своїми пружними властивостями та здатністю витримувати навантаження на розрив.

Так як процес роботи машини досить довготривалий, то вимірювання проводились три рази по 256 точок через 2 хвилини для кожного матеріалу полотна. Далі одержані відеоматеріали оцифровувались та заносились у вигляді таблиць в середовище MatLab для подальшої обробки. Отже були отримані дев'ять масивів даних вимірювань, які проводились з інтервалом в 2 хвилини.

Процес обробки одержаних експериментальних даних показано на прикладі матеріалу – поліетилен. Для інших матеріалів представлені лише отримані результати. Графіки виміряних переміщень зображені на рис. 1.6 – 1.8. За допомогою програмного середовища були знайдені такі параметри: середні значення, середньоквадратичне відхилення та кореляційну функцію.

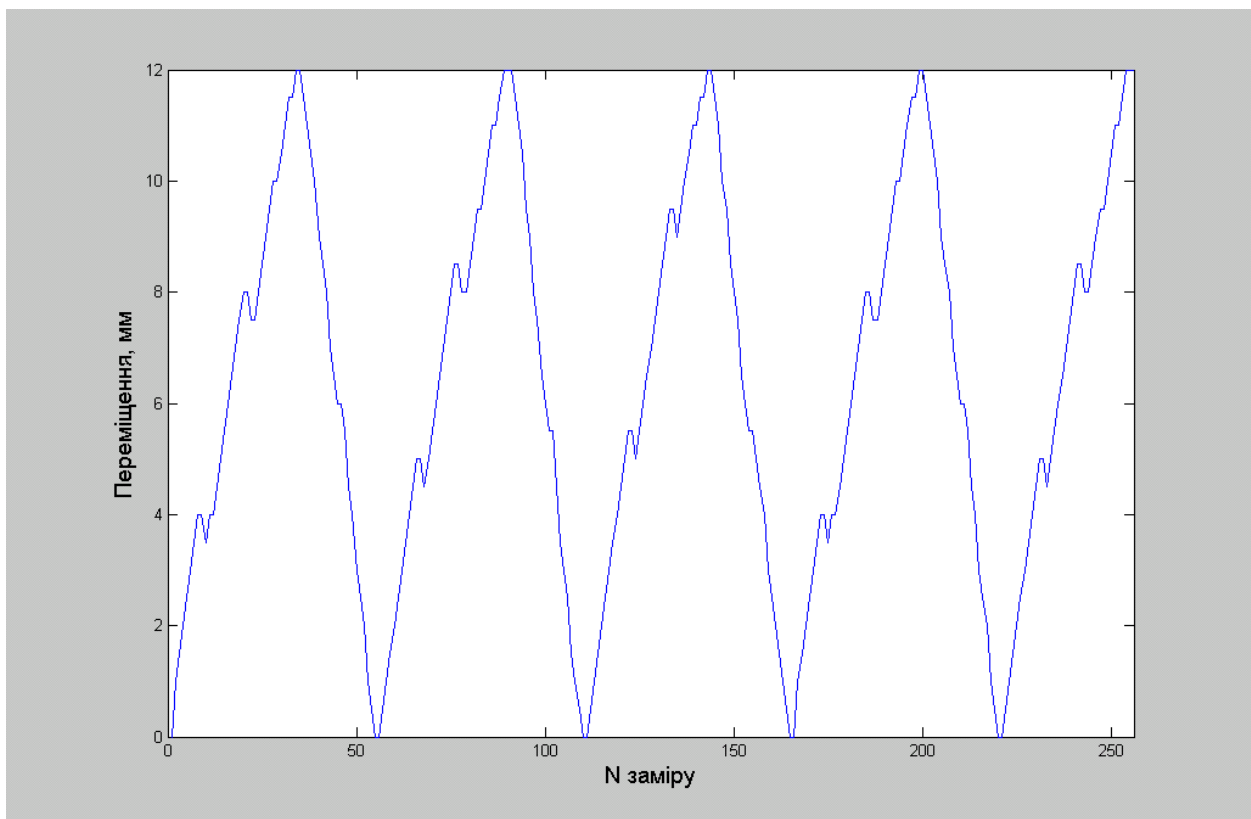


Рисунок 1.6 – Графік випробування №1.

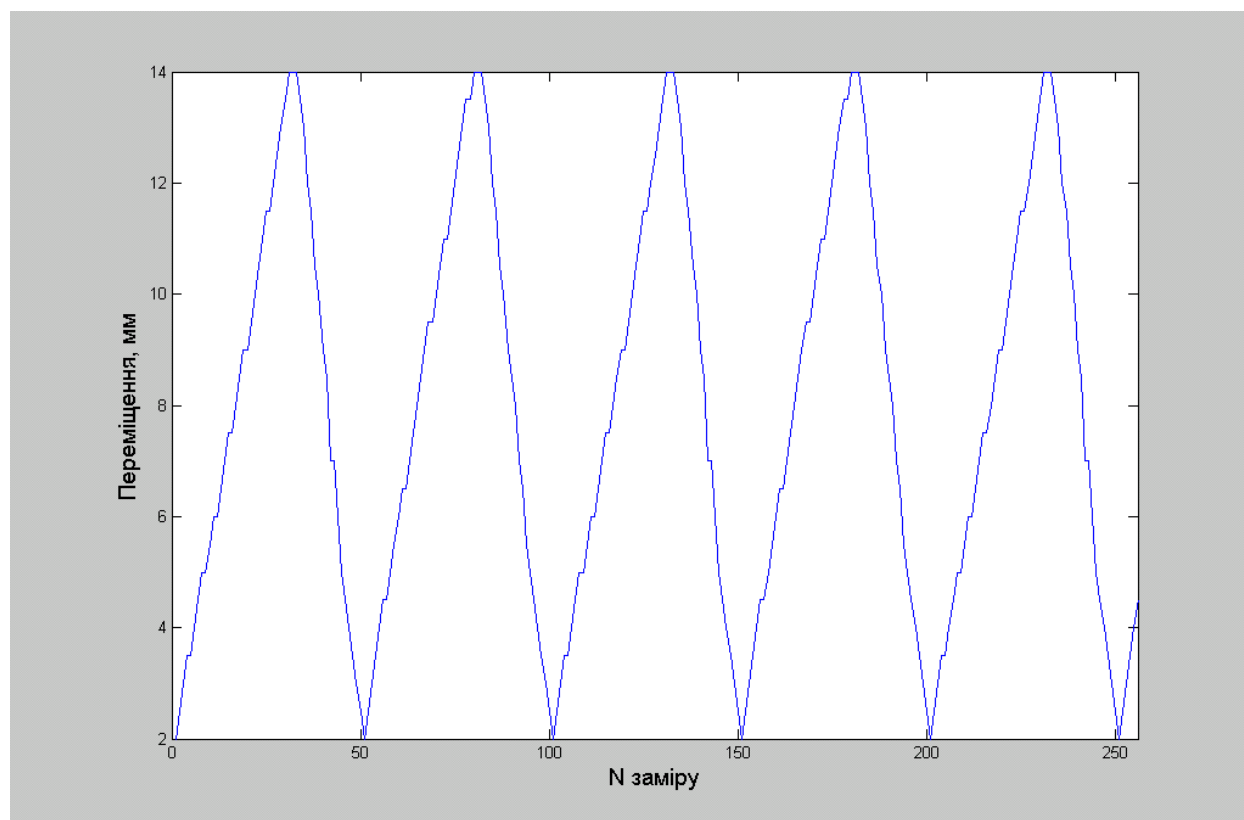


Рисунок 1.7 – Графік випробування №2.

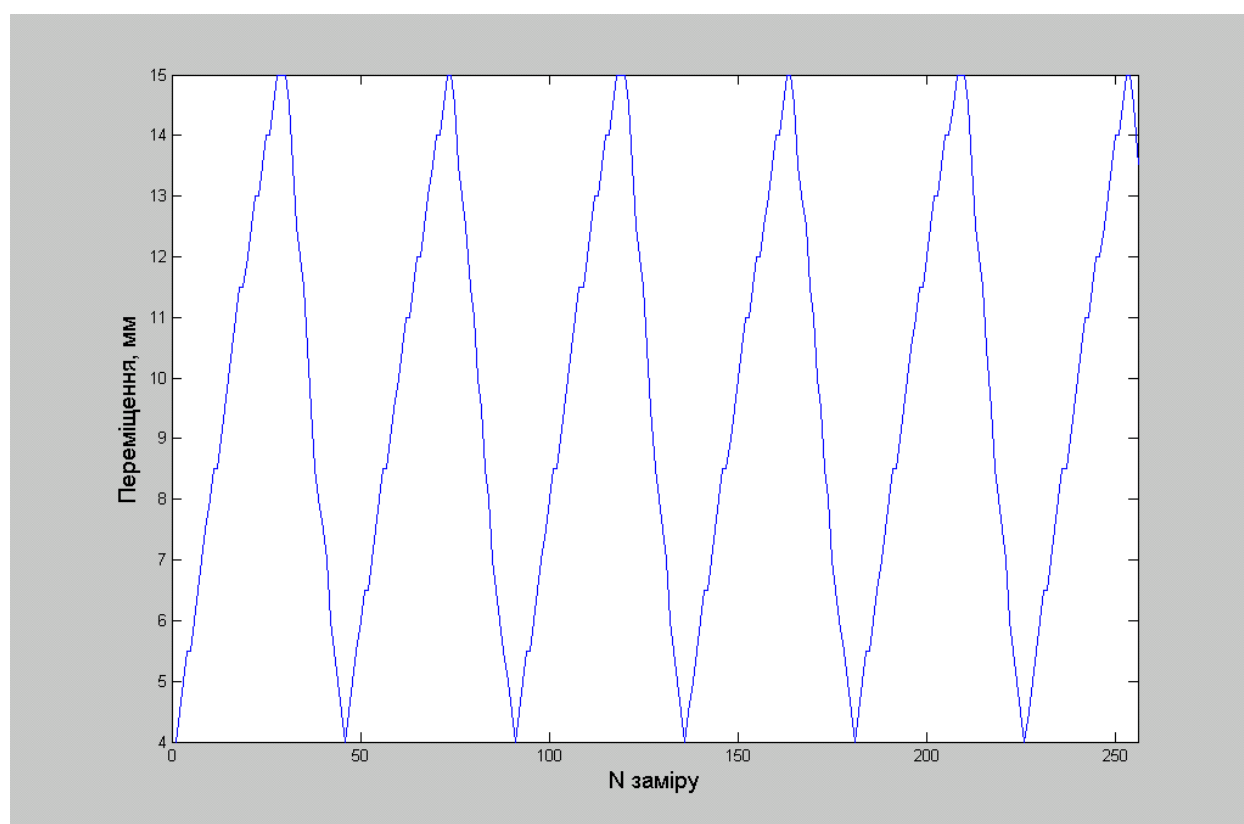


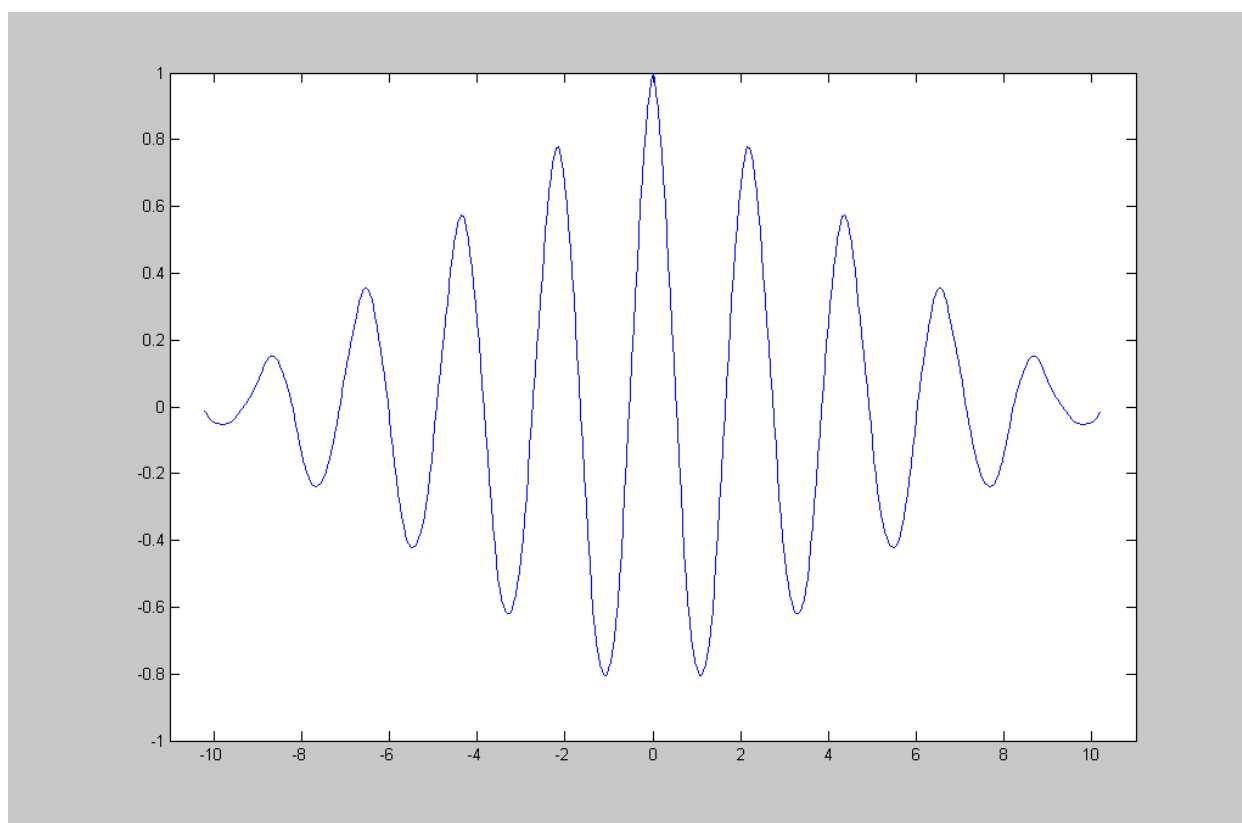
Рисунок 1.8 – Графік випробування №3.

Таблиця 1.2 – Статистичні дані випробувань

Номер випробування	1	2	3
Середнє значення параметру, мм	6.352	7.982	9.721
Середньоквадратичне відхилення, мм	3.512	3.68	3.35

Для визначення кореляційних функцій необхідно провести деякі розрахунки в середовищі MatLab. Перший масив даних формуємо як вектор $a1$. Також формуємо вектор часу t . Далі з допомогою команди `xcov` знаходимо кореляційну функцію у вигляді масиву даних. Та будуємо графік.

```
>> t=0:1/25:255/25;
>> [c1,lg]=xcov(a1,'coeff');
>> lg1=lg/25;
>> plot(lg1,c1)
```

Рисунок 1.9 – Графік кореляційної функції $K_1(\tau)$ для випробування №1

Далі за допомогою пакету Curve Fitting середовища MatLab знаходимо функціональну залежність кореляційної функції у вигляді $K(\tau) = a \cdot e^{-b|\tau|} \cdot \cos(c \cdot \tau)$.

Після апроксимації була одержана наступна кореляційна функція $K_1(\tau) = 1.049 \cdot e^{-0.1796|\tau|} \cdot \cos(2.867 \cdot \tau)$, при середньоквадратичній помилці $RMSE1 = 0.0495$.

Далі такі ж операції необхідно провести для інших випробувань. Щоб не повторювати ті ж самі операції, для наступних випробувань представимо лише результати: графік кореляційної функції одержаний експериментально та апроксимований, вираз для кореляційної функції та середньоквадратичну помилку.

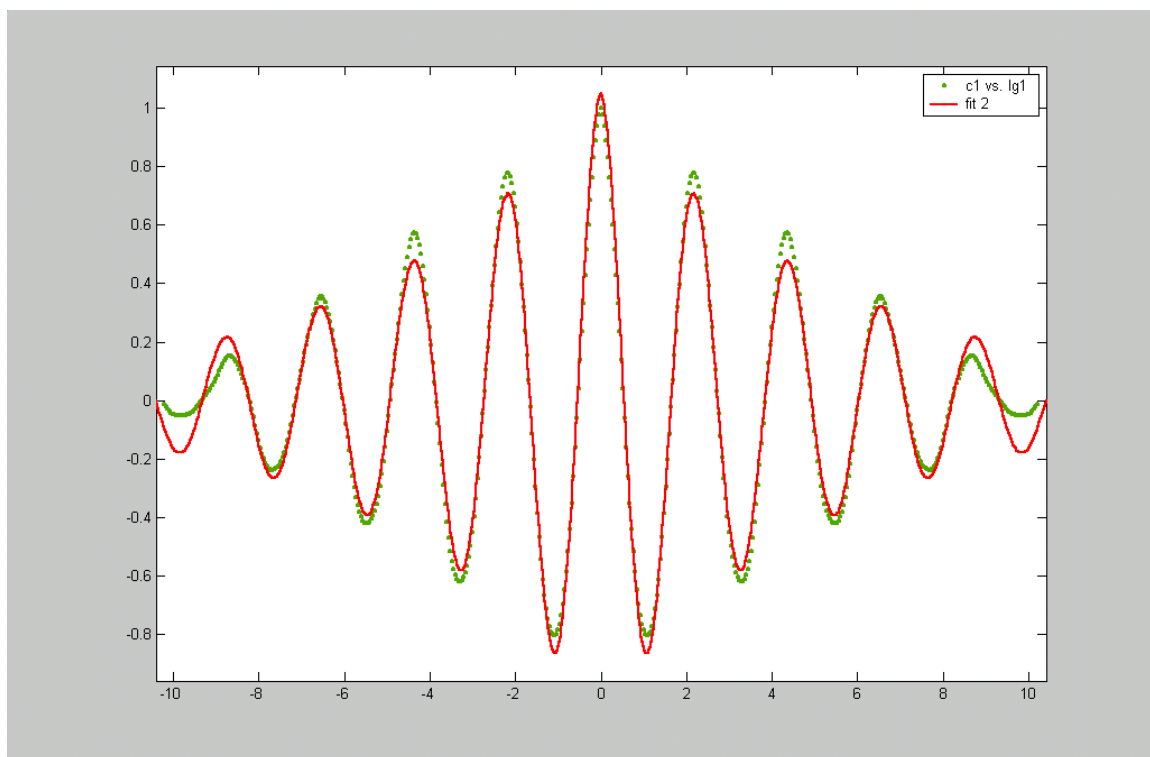


Рисунок 1.10 – Графік кореляційної функції випробування №1
... одержаний експериментально;
— апроксимований.

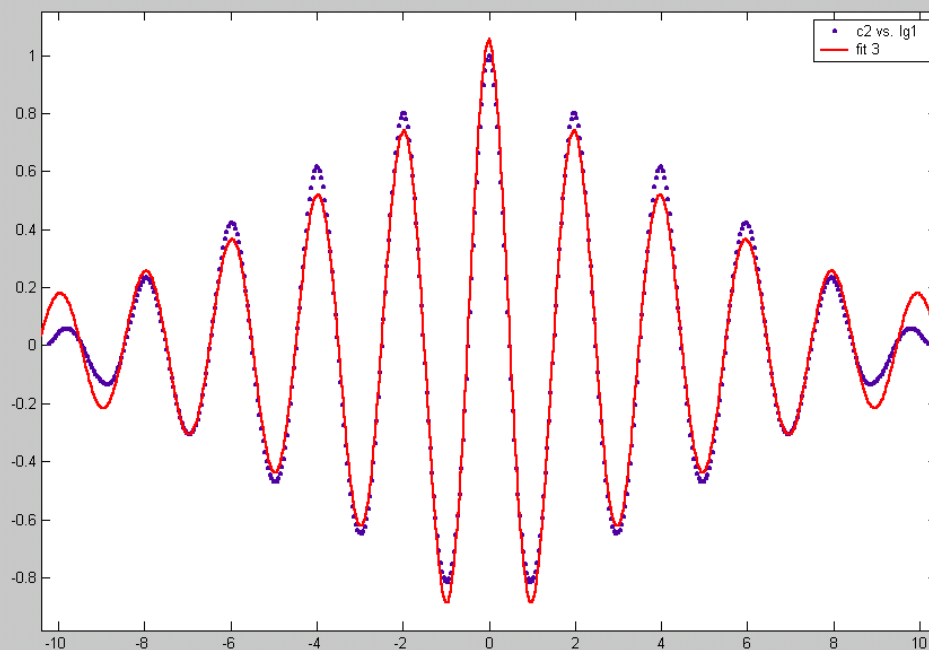


Рисунок 1.11 – Графік кореляційної функції випробування №2
 ... одержаний експериментально;
 __ апроксимований.

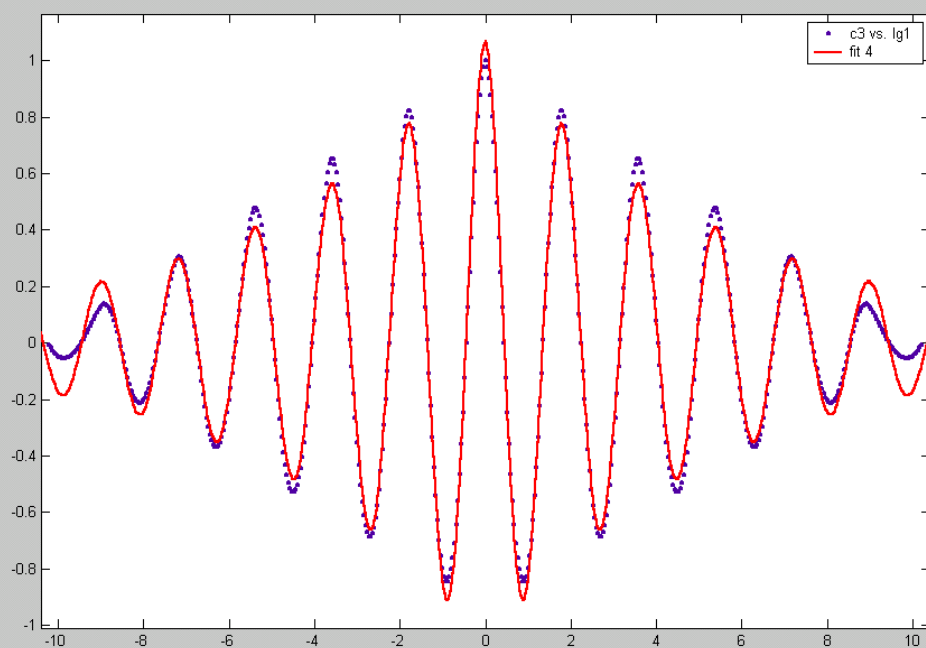


Рисунок 1.12 – Графік кореляційної функції випробування №3
 ... одержаний експериментально;
 __ апроксимований.

Кореляційні функції випробувань № 2-3:

$$K_2(\tau) = 1.056 \cdot e^{-0.1771|\tau|} \cdot \cos(3.152 \cdot \tau),$$

$$K_3(\tau) = 1.066 \cdot e^{-0.1768|\tau|} \cdot \cos(3.494 \cdot \tau),$$

Середньоквадратичні помилки апроксимації:

$$\text{RMSE2} = 0.04935,$$

$$\text{RMSE3} = 0.04793,$$

Переміщення коливного вала можуть відбуватись в діапазоні від 0 до 16 мм. Система регулювання повинна підтримувати вал в середньому положенні 8 мм. Серед кореляційних функцій випробувань № 1 – 3 треба знайти середню яка матиме вигляд

$$K(\tau) = 1.057 \cdot e^{-0.1778|\tau|} \cdot \cos(3.171 \cdot \tau), \quad (1.8)$$

а середньоквадратичне відхилення $\sigma_f = 3.514 \cdot 10^{-3}$ м.

Тепер необхідно знайти спектральну щільність експлуатаційних впливів. Визначення спектральної щільності виконуємо за допомогою пакету Mathcad.

$$S_e(\omega) = \frac{\sigma^2}{2\pi} \cdot \frac{0.3768 \cdot \omega^2 + 3.109}{\omega^4 - 16.375 \cdot \omega^2 + 68.095} \quad (1.9)$$

Знайдемо залежність спектральної щільності від $s = j\omega$.

$$S_e(s) = \frac{0.74 \cdot 10^{-6} \cdot (-s^2 + 8.251)}{s^4 + 16.375s^2 + 68.095}. \quad (1.10)$$

Так як вимірювання проводились на виході об'єкта регулювання, то згідно із структурою наведеною на рис. 1.4 необхідно знайти спектральну щільність впливів f_{TP} для цього виконаємо деякі розрахунки.

$$\begin{aligned} S_f(s) &= S_d(s) \cdot (0.01s^2 + 0.02s + 1) \cdot (0.01s^2 - 0.02s + 1) / (0.002)^2 = \\ &= \frac{0.185(-s^2 + 8.251) \cdot (0.01s^2 + 0.02s + 1) \cdot (0.01s^2 - 0.02s + 1)}{s^4 + 16.375s^2 + 68.095}. \end{aligned} \quad (1.11)$$

Отже в результаті проведених експериментальних досліджень та виконаних розрахунків одержана спектральна щільність впливів f_{TP} (1.11) для матеріалу полотна – поліетилен.

Також були проведені аналогічні розрахунки для двох інших обраних матеріалів полотна: поліпропілену та паперу. В результаті одержані спектральні щільності впливів f_{TP} :

- для поліпропілену

$$S_f(s) = \frac{0.182(-s^2 + 14.51) \cdot (0.01s^2 + 0.02s + 1) \cdot (0.01s^2 - 0.02s + 1)}{s^4 + 28.57s^2 + 210.5}. \quad (1.12)$$

- для паперу

$$S_f(s) = \frac{0.187(-s^2 + 23.34) \cdot (0.01s^2 + 0.02s + 1) \cdot (0.01s^2 - 0.02s + 1)}{s^4 + 45.24s^2 + 543.8}. \quad (1.13)$$

1.4 Вимоги та обмеження до технологічного процесу та обґрунтування необхідності автоматизації

Під час ознайомлення з роботою флексографічної машини ПФО-45 та консультацій з працівниками були визначені вимоги та обмеження до натягу друкарського полотна. Так як натяг полотна визначається по положенню коливного вала, то вимоги наступні:

- коливання повинні відбуватись навколо середнього положення коливного вала, тобто статичне положення повинно підтримуватись на рівні $x = 8$ мм;
- амплітуда коливань повинна бути зменшена до мінімуму, тобто необхідно створити систему стабілізації положення коливного вала навколо середнього значення.

При роботі машини в ручному режимі регулювання натягу полотна підтримувати середнє значення коливань в заданому положенні можливо, але якість буде незадовільна, тому що регулювання відбувається дискретно через значні проміжки часу. А зменшити коливання валу в ручному режимі взагалі неможливо. Це призводить до утворення на матеріалі складок та зморшок, несуміщення фарб та змазаного зображення на відбитку. Тому постає

необхідність автоматизації технологічного процесу регулювання натягу полотна. Необхідно створити систему автоматичного регулювання, яка б підтримувала середнє значення коливань та зменшувала амплітуду. При цьому вона повинна враховувати властивості різних матеріалів друкарського полотна. Також потрібно провести моделювання роботи системи з метою визначення можливості застосування одного регулятора для стабілізації системи при різних матеріалах полотна, чи необхідності розробки гнучкої системи з варіантами вибору різних регуляторів.

2 Синтез системи автоматичного регулювання натягу полотна флексографічної машини ПФО-45

2.1 Складення структурної схеми системи автоматичного регулювання

Показником натягу полотна є положення коливного вала. Отже задачею системи автоматичного регулювання натягу полотна є підтримання коливного вала в одному заданому положенні. Із отриманих експериментально моделей експлуатаційних впливів можна зробити висновок, що в процесі роботи коливний вал змінює своє положення, коливаючись навколо певного середнього значення, а також змінюється і середнє значення. Система регулювання повинна підтримувати постійним середнє значення коливань та зменшити коливання до мінімальної амплітуди. Це можна зробити змінюючи гальмівний момент на валі розмотки полотна. Отже можна сказати, що об'єктом регулювання є коливний вал. Вхідним сигналом об'єкта регулювання буде гальмівний момент на валу розмотки M_r , а вихідним – відхилення від середнього положення коливного вала ΔX . Структурна схема системи автоматичного регулювання зображена на рисунку 2.1. Передаточна функція об'єкта регулювання була знайдена в підрозділі 1.2. Вибору датчика і виконавчого механізму та визначенню їх передаточних функцій буде присвячений наступний підрозділ.

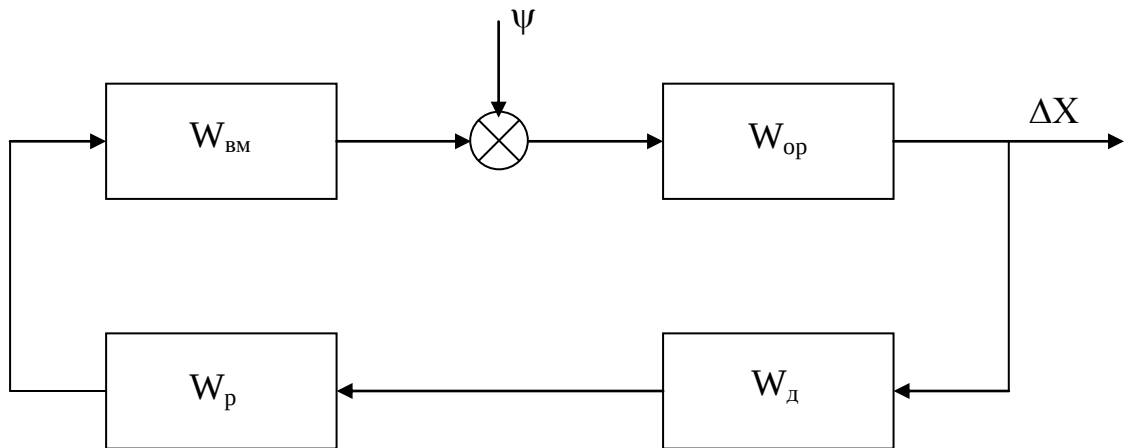


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи:

$W_{ор}$ – передаточна функція об'єкта регулювання;

$W_{ВМ}$ – передаточна функція виконавчого механізму;

$W_{д}$ – передаточна функція датчика переміщення;

$W_{р}$ – передаточна функція регулятора;

ψ - експлуатаційні впливи.

2.2 Вибір датчика та виконавчого механізму

2.2.1 Датчики лінійного переміщення на основі МЧМС

Конструкції магнітних датчиків лінійного переміщення з застосуванням магніточутливих інтегральних схем мало чим відрізняються від конструкцій приладів, розроблених із застосуванням інших перетворювачів магнітного поля.

На рисунку 2.2 показаний зовнішній вигляд магнітного датчика лінійних переміщень типу APS3A2AA, що випускається фірмою Honeywell.

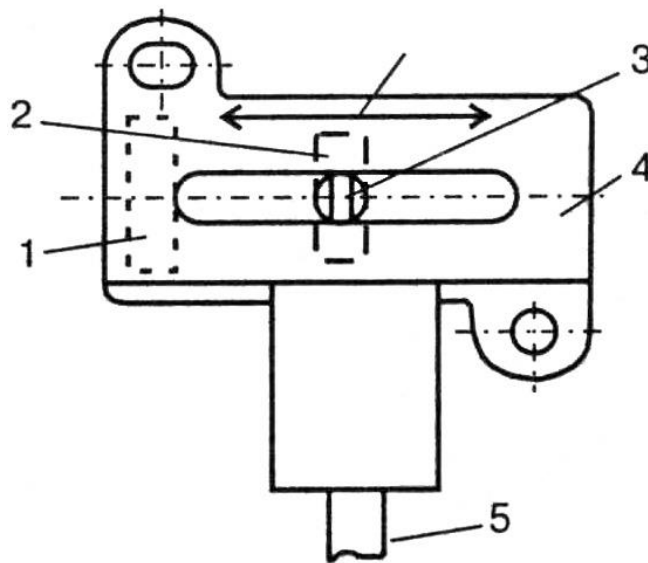


Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд датчика лінійного переміщення типу APS3A2AA :1 - магніточутлива ІС; 2 - постійний магніт; 3 - поводок; 4 - пластмасовий корпус; 5 - трьохпровідний кабель.

Як перетворювач магнітного поля в датчику APS3A2AA використана кремнієва магніточутлива мікросхема 1. До складу датчика входить мініатюрний постійний магніт 2, жорстко з'єднаний з поводком 3. Вектор переміщення контрольованого об'єкта передається датчику через повідця 3, що переміщає постійний магніт 2 паралельно чутливій поверхні МЧМС. Всі елементи датчика розміщуються в пластмасовому корпусі 4, з якого виходить трьохпровідний кабель 5, що з'єднує датчик із зовнішніми пристроями.

Таблиця 2.1 – Основні параметри датчика типу APS3A2AA

№ п\п	Найменування параметра, одиниця виміру	Діапазон значень
1	Довжина робочого ходу, мм	19
2	Чутливість, мВ\мм	237
3	Напруга живлення, В	8 – 16
4	Струм споживання, мА	10
5	Вихідний струм, мА, не більш	10
6	Нелінійність характеристики перетворення, %	±2,5
7	Постійна часу, мкс, не більш	3
8	Повторюємість, %	<1,0
9	Діапазон робочих температур, 3°	-20...+85
10	Габаритні розміри, мм ³	34×34×22

На рисунку 2.3 показана конструкція датчика лінійних переміщень, що випускається фірмою ММТ. Вона досить проста і не вимагає особливих пояснень. У якості магніточутливого елемента 6 використовується елемент Холу, розміщений у зазорі магнітної системи 5.

Вектор переміщення контролюваного об'єкта через шток 1 передається рухливому магнітному шунту 7, переміщення якого приводить до зміни сигналу ЕХ. Сигнал елемента Холу підсилюється електронною схемою, розташованою на платі 4. Електронна схема датчика містить всі елементи, необхідні для термостабілізації його основних параметрів. Вихідні характеристики датчика приведені на рисунку 2.4, а його основні параметри дані в таблиці 2.2.

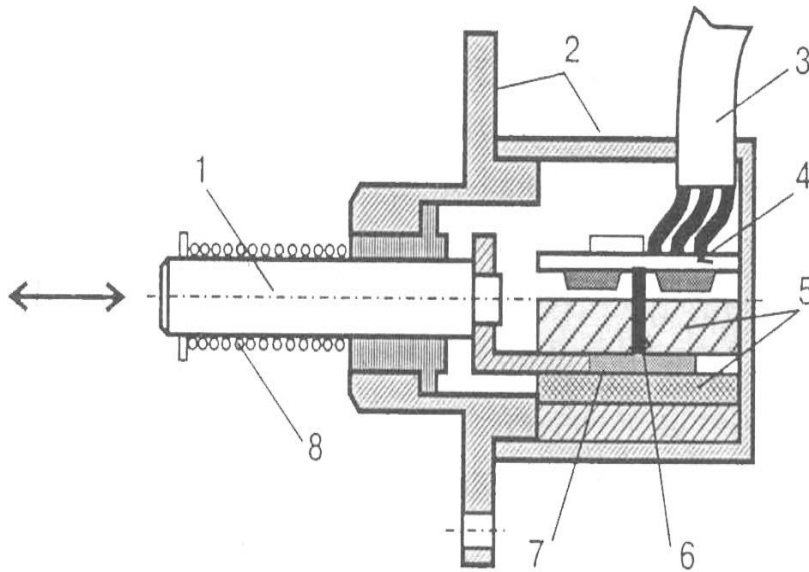


Рисунок 2.3 – Конструкція датчика лінійних переміщень фірми ММТ:

1 – шток; 2 – корпус; 3 – кабель; 4 – плата з електронною схемою; 5 – магнітна система; 6 – елемент Холу; 7 – магнітний шунт; 8 – зворотна пружина.

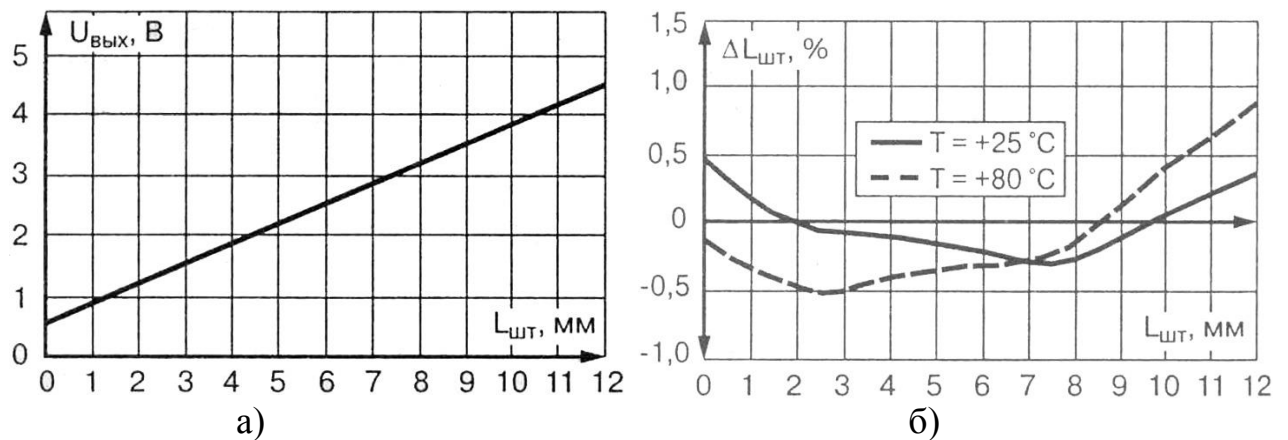


Рисунок 2.4 – Датчики лінійних переміщень фірми ММТ:

а – вихідна характеристика;

б – типова залежність погрішності вимірювання $\Delta L_{шт}$ від довжини $L_{шт}$ при температурах 25 і 80 °C

Таблиця 2.2 – Основні параметри датчика лінійних переміщень фірми ММТ

№ п\п	Найменування параметра, одиниця виміру	Діапазон значень
1	Довжина робочого ходу, мм	30
2	Чутливість, мВ\мм	400
3	Напруга живлення, В	5
4	Струм споживання, ма	10
5	Вихідний струм, ма, не більш	10
6	Нелінійність характеристики перетворення, %	±1,0
7	Діапазон робочих температур, 3°	-40...+130

Для системи автоматичного регулювання обираємо датчик лінійних переміщень фірми ММТ з параметрами вказаними в таблиці 2.2. Передаточна функція датчика матиме вигляд:

$$W_d(p) = K_d = 400 \quad (2.1)$$

2.2.2 Вибір виконавчого механізму.

Електромеханічні муфти

Муфта - пристрій, що служить для зчеплення двох валів, тобто для передачі обертаючого моменту з одного валу (ведучого) на інший (ведений). Ведучий вал обертається приводним двигуном, а ведений вал зв'язаний з навантаженням. Муфта називається електромеханічною, якщо для передачі механічного моменту використовуються електричні явища. Керування муфтою здійснюється при цьому за допомогою електричного сигналу, отже, вона являє собою перетворювач електричного сигналу в механічний обертаючий момент. Тому що потужність, що розвивається на веденому валу, набагато більша потужності керуючого сигналу, електромеханічна муфта здійснює також і

посилення потужності сигналу. Двигун, що обертає ведучий вал, в енергетичному відношенні грає ту ж роль, що і джерело живлення в звичайному електричному підсилювачі. В обох випадках вхідний електричний сигнал керує потоком потужності від цього джерела. Електромеханічні муфти знайшли своє застосування в ряді систем сільськогосподарської автоматики і в якості регульованих електроприводів сільськогосподарських машин.

Муфти бувають релейної дії, що здійснюють тверде зчеплення валів при подачі сигналу, і безперервної дії, що здійснюють гнучке зчеплення, коли швидкість веденого валу залежить від величини вхідного сигналу і ця залежність може бути представлена плавною статичною характеристикою "швидкість веденого валу - вхідний сигнал". Для автоматичних систем основний інтерес представляють муфти гнучкого зчеплення.

Електромеханічні муфти застосовуються як виконавчі елементи. Вони замінюють виконавчий двигун з керованою швидкістю обертання, дозволяючи застосовувати в якості приводних двигунів нерегульовані електричні і неелектричні двигуни. Така заміна, як правило, спрощує схему і конструкцію автоматичної системи в цілому, підвищує її надійність.

Однак основна перевага електромеханічних муфт перед звичайним керованим електродвигуном у їхній більшій швидкодії. Це пояснюється тим, що момент інерції обертових частин муфти, зв'язаних з веденим валом, можна зробити значно менше моменту інерції приводного двигуна, що визначає швидкодію системи управління швидкістю навантаження при впливі на двигун, а не на муфту.

Електромеханічні муфти застосовуються в діапазоні потужності від декількох ват (наприклад, у малопотужних системах приладового типу, що стежать,) до десятків тисяч кіловат (в електроприводах прокатних станів, металорізальних верстатів, у приводах гребних гвинтів на судах).

Виконавчі механізми (ВМ) з електромеханічними муфтами відрізняються від ВМ з електродвигунами більш простою конструкцією, низькою вартістю,

високою надійністю і довговічністю і меншою економічністю при великому діапазоні регулювання швидкості обертання.

Їхнє застосування виявляється найчастіше доцільним у тих механізмах, де вартість витраченої енергії складає невелику частку собівартості продукції. У цих випадках підвищення надійності, а, отже, зменшення простоїв і браку, як правило, окупає збільшення витрат енергії, а низька собівартість цих ВМ приводить до мінімуму розрахункових витрат. Крім того, раціональною областю їхнього застосування є механізми з вентиляторним моментом навантаження, пропорційним квадрату швидкості обертання.

За принципом дії електромеханічні муфти поділяються на два основних типи: електромеханічні муфти тертя (ЕМТ) і електромеханічні муфти ковзання (ЕМК). Вони в більшості випадків виконують дві основні функції:

- 1 - з'єднання і роз'єднання приводного двигуна з робочим механізмом;
- 2 - регулювання швидкості обертання робочого механізму незалежно від швидкості обертання приводного двигуна (як правило, при її постійній величині).

Електромеханічні муфти тертя

У муфтах тертя обертовий момент на веденому валу створюється за рахунок сили тертя. Електромеханічні муфти тертя у свою чергу підрозділяються на муфти сухого тертя і ферропорошкові (магнітоемультсінні) муфти тертя.

Електромеханічні муфти сухого тертя

Принцип дії муфти сухого тертя ілюструється рисунком 2.5,а. Муфта складається з двох половин 1 і 2 (напівмуфт), на яких укріплені диски тертя 3 із фрикційного матеріалу. Одна напівмуфта може переміщатися уздовж свого вала на шпонці, інша з'єднана зі своїм валом жорстко. Якщо притиснути обидві половин муфти друг до друга, то нерухомий до цього ведений вал стане обертатися заодно з ведучим, тобто відбудеться зчеплення валів за рахунок сили тертя, що перешкоджає прослизанню дисків тертя один відносно одного.

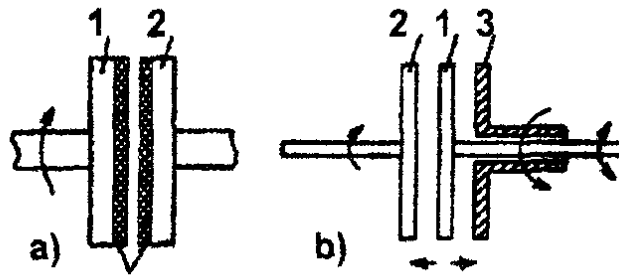


Рисунок 2.5 – Принцип дії муфт сухого тертя:

a – нереверсивної,

b – реверсивної.

На рисунку 2.5,b показаний принцип дії реверсивної муфти тертя, що дозволяє змінювати напрямок обертання веденого вала. Вона являє собою комбінацію двох простих нереверсивних муфт: ведений диск 1 знаходиться між двох ведучих дисків 2 і 3, що обертаються в різні сторони. Напрямок обертання веденого диска можна змінювати, притискаючи його то до одному, то до іншого ведучому диску. Ведучі диски приводяться в обертання чи двома окремими двигунами чи одним загальним. В останньому випадку один з дисків з'єднується з двигуном через зубчасту передачу, що змінює напрямок його обертання в порівнянні з іншим диском.

Якщо необхідно швидко гальмувати, то ведений вал муфти тертя комбінують з гальмом. Така комбінована муфта виглядає як реверсивна (рис. 2.5,b), тільки другий ведучий диск у цьому випадку замінюється нерухомим диском, жорстко укріпленим на основі муфти. Гальмування веденого диска здійснюється шляхом притиснення його до цього нерухомого диска.

Притиснення частин муфти друг до друга може здійснюватися, наприклад, за допомогою гідравлічного чи пневматичного сервомотора. Тоді ми маємо відповідно гідравлічну чи пневматичну муфту тертя з гідравлічним чи пневматичним керуванням. Якщо ж частини муфти стискаються за допомогою якого-небудь електромеханічного перетворювача, то виходить електромеханічна муфта тертя.

Основне поширення одержали електромеханічні муфти тертя з електромагнітним керуванням, де для зчеплення обох половин муфти застосовується електромагніт. Найбільш швидкодіючі електромеханічні муфти тертя виконуються з магнітоелектричним керуванням. У цьому випадку замість електромагніта застосовується магнітоелектричний перетворювач електричного сигналу в переміщення і силу.

На рисунку 2.6,а показаний фрагмент найпростішої нереверсивної муфти тертя з електромагнітним керуванням. Вона являє собою електромагніт, що складається з якоря 1 і магнітопроводу 2 з обмоткою 3. Підведення струму в обмотку здійснюється за допомогою двох контактних кілець із щітками.

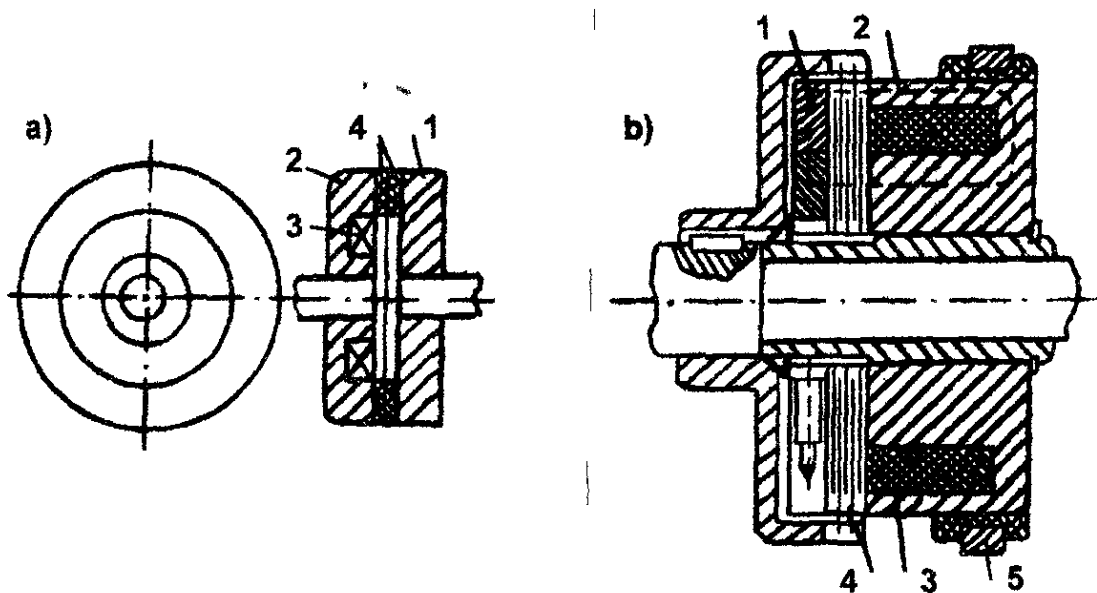


Рисунок 2.6 – Муфта тертя з електромагнітним управлінням: а - однодискова, б - багатодискова; 1 - якорь, 2 - магнітопровід, 3 - обмотка, 4 - диски тертя, 5 - контактне кільце.

На магнітопроводі і якорі укріплені диски тертя 4. Якорь може переміщатися уздовж одного вала на шпонці. Магнітопровід укріплений на іншому валу жорстко. Якорь відтягається від магнітопроводу поворотною пружиною (вона на рисунку не показана). Тому при відсутності струму в

обмотці ведений вал нерухомий. При подачі вхідного сигналу на обмотку якір притягається до магнітопроводу і відбувається зчеплення валів.

Муфти тертя з електромагнітним керуванням бувають однодисковими (рисунок 2.6,а) і багатодисковими (рисунок 2.6,б). Багатодисковими роблять потужні муфти для зменшення їхніх габаритів.

На рисунку 2.7 показаний варіант муфти тертя з електромагнітним керуванням і нерухомою обмоткою. Такі муфти не тільки вільні від ковзних контактів для підведення струму в обмотку, але і мають велику швидкодію (мають меншу постійну часу обмотки). Але зате вони відрізняються підвищеними розмірами обмотки через збільшений повітряний зазор.

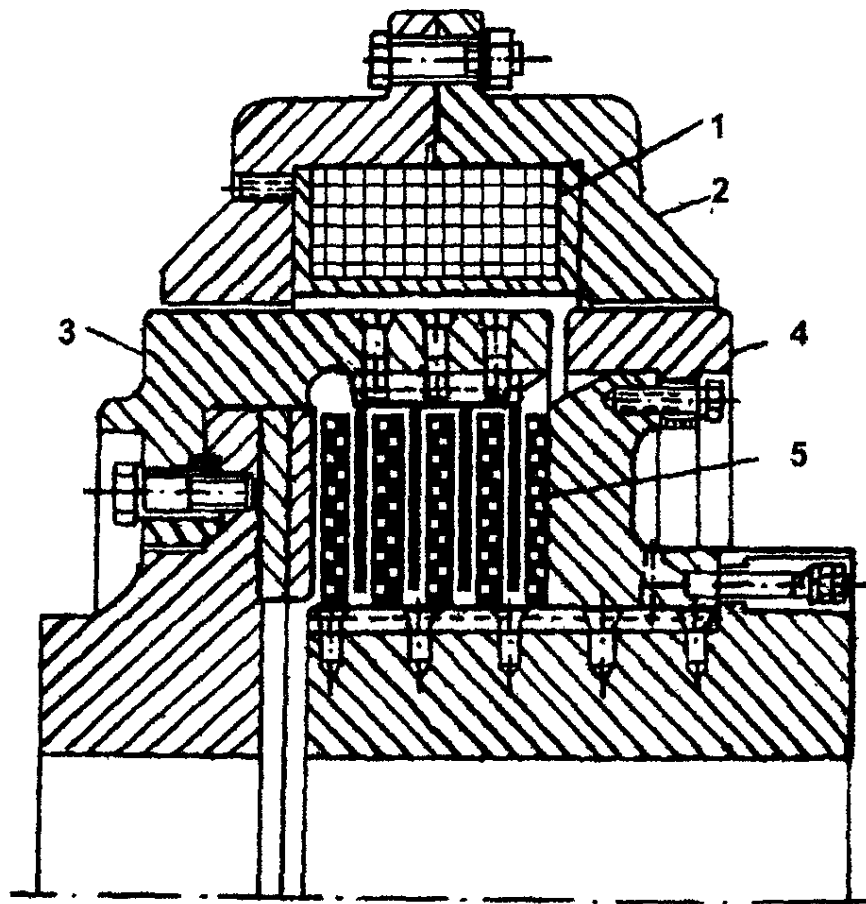


Рисунок 2.7 – Муфта тертя з електромагнітним управлінням і нерухомою котушкою: 1 - обмотка, 2 - магнітопровід, 3 і 4 - напівмуфти, 5 - диски тертя.

В електромагнітних муфтах тертя застосовують, як правило, електромагніти постійного струму, оскільки вони мають відомі переваги перед електромагнітами змінного струму. При наявності сигналу змінного струму в електромагніти постійного струму вмонтовують випрямлячі.

Розрахунок муфти тертя з електромагнітним керуванням складається з розрахунку поверхонь тертя і розрахунку електромагніта. Вихідними даними є величина обертаючого моменту, що повинний передаватися муфтою, і габарити муфти. Розглянемо порядок розрахунку муфти на прикладі дискової муфти.

Переданий муфтою обертаючий момент

$$M = \frac{2\pi}{3} \cdot m \cdot p \cdot K_{TP} \cdot (1 - K_p^3) \cdot R_2^3, \quad (2.2)$$

де m - число поверхонь тертя, обумовлене числом дисків тертя; $K_p = (R_1/R_2) \cdot K_{TP}$ - розрахункове відношення; K_{TP} - коефіцієнт тертя, що залежить від матеріалу дисків і стану їхніх поверхонь; R_1 та R_2 - внутрішній і зовнішній радіуси дисків тертя; p - тиск, з яким диски притискаються електромагнітом.

Задавшись зовнішнім радіусом дисків тертя R_2 , можна знайти число поверхонь тертя m , необхідне для передачі заданого обертаючого моменту M , чи задавшись m , можемо знайти R_2 .

Стискальне зусилля від електромагніта, визначається як

$$F_T = p \cdot \pi \cdot (R_2 - R_1) = p \cdot (1 - K_2) \cdot R_2. \quad (2.3)$$

Далі проводиться розрахунок електромагніта. Для зменшення розмірів обмотки, обмежених припустимим її нагріванням, у потужних муфтах створюють рідинне охолодження. Менш потужні просто роблять з ребрами, що підвищують охолодження.

Орієнтовні значення вхідних у формули величин:

коефіцієнт тертя K_{TP} для тертьових тіл зі сталі, чавуна, бронзи приблизно дорівнює 0,1 - 0,2; для спеціальних фрикційних матеріалів типу ферродо його

значення беруть рівним 0,4 - 0,8; відношення K_p беруть рівним 0,3 - 0,6; величина тиску $p = 2 \div 3$ кг/см.

Розглянемо динаміку роботи електромеханічної муфти тертя. Перехідний процес від моменту подачі напруги на обмотку муфти, коли ведений вал нерухомий, до встановлення постійної швидкості обертання веденого валу складається з наступних трьох етапів. Перший етап - від подачі вхідної напруги до моменту зіткнення поверхонь тертя - являє собою етап спрацьовування електромагніта. Його тривалість дорівнює часу спрацьовування електромагніта. При необхідності його зменшення застосовують звичайні способи зміни часових параметрів електромагнітів.

Другий етап закінчується повним зчепленням поверхонь тертя. Це етап, протягом якого припиняється ковзання веденого валу щодо ведучого. Однак перехідний період цим не закінчується, тому що в результаті зчеплення напівмуфт, до двигуна, що обертає ведучий вал і працював раніше вхолосту, виявляється прикладенням навантаження веденого валу. Тому після другого етапу настає третій етап, що представляє собою перехідний процес для приводного двигуна, викликаний стрибком навантаження.

Повний час спрацьовування муфти з електромагнітним керуванням, рівний сумі часів усіх трьох етапів перехідного процесу вимірюється сотими і десятими частинами секунди.

Розглянуті муфти тертя застосовуються, головним чином, для твердого з'єднання валів. Однак і з їхньою допомогою можна здійснити плавну зміну сталого значення швидкості веденого валу шляхом імпульсного керування муфтою. У цьому випадку вхідний сигнал являє собою імпульси напруги, що надходять з постійною частотою. За час імпульсу муфта спрацьовує і ведений вал починає розганятися; за час паузи між імпульсами відбувається відпускання муфти і гальмування валу. При цьому швидкість веденого валу коливається щодо деякого середнього значення з частотою проходження керуючих

імпульсів.

Величиною цього середнього значення можна керувати, змінюючи скважність вихідних імпульсів.

Ферропорошкові муфти тертя

Основне призначення цих муфт - гнучке зчеплення валів, хоча вони застосовуються і для твердого зчеплення.

Принципово ферропорошкова муфта тертя відрізняється від розглянутої вище муфти сухого тертя з електромагнітним управлінням тим, що повітряний зазор між напівмуфтами заповнений феромагнітним наповнювачем. Ведена напівмуфта при цьому жорстко з'єднана зі своїм валом, як і ведуча напівмуфта. Таким чином, зазор між напівмуфтами не змінюється. Феромагнітний наповнювач являє собою механічну суміш феромагнітного (звичайно залізного) порошку з рідким чи твердим діелектриком. Як рідкий діелектрик використовують найчастіше різні мастила, як твердий діелектрик - графітовий порошок чи тальк.

Якщо помістити такий феромагнітний наповнювач у магнітне поле, то окремі феромагнітні часточки починають зміщатися, притягаючись одна до одної й утворюють цілі ланцюжки, орієнтовані уздовж поля. У результаті із збільшенням магнітного поля рідкий наповнювач густіє, переходячи спершу в желеподібний стан, а потім і зовсім твердне. Аналогічно і твердий наповнювач перетворюється зрештою з легко сипучого порошку у тверде тіло, спаяне силами магнітного поля.

Ця властивість феромагнітного наповнювача тверднути у магнітному полі і використана у ферропорошкових муфтах тертя. При відсутності сигналу на обмотці електромагніта з ведучого вала на ведений вал передається незначний момент за рахунок початкової невеликої в'язкості феромагнітного наповнювача. При пропусканні по обмотці електромагніта струму магнітний потік, що створюється в зазорі між напівмуфтами, приводить до збільшення в'язкості наповнювача. У результаті момент, переданий на ведений вал, збільшується. В

міру росту струму в обмотці зростає й обертаючий момент на веденому валу, причому доти, поки він не досягне величини повного моменту, що розвивається ведучим валом, що відбувається при твердому зчепленні обох напівмуфт затверділим наповнювачем.

Обертаючий момент на веденому валу визначається, таким чином, струмом в обмотці електромагніта і практично не залежить від швидкості обертання відомого вала. На рисунку 2.8,а показана типова форма статичної характеристики ферропорошкової муфти тертя "обертаючий момент на виході - вхідний сигнал". На рисунку 2.8,б показаний ескіз ферропорошкової муфти тертя циліндричного типу. Виконуються такі муфти і дискового типу, як розглянута вище муфта сухого тертя.

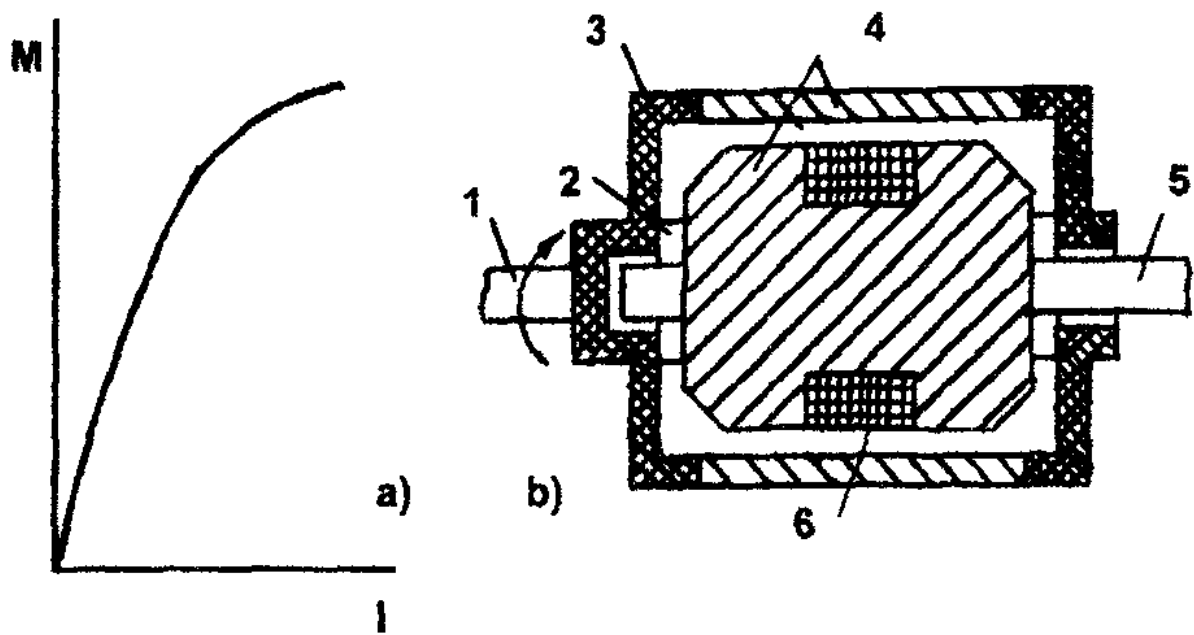


Рисунок 2.8 – Ферропорошкова муфта тертя: а - статична характеристика муфти; б - ескіз муфти циліндричного типу (1 - ведучий вал, 2 - ущільнення, 3 - фланець з немагнітного матеріалу, 4 - деталі з феромагнітного матеріалу, 5 - ведений вал, 6 - обмотка)

Конструктивно ферропорошкові муфти тертя значно складніше муфт сухого тертя. Основні складності полягають у необхідності створити надійні

ущільнення, що не допускають попадання порошку в підшипники (рис. 2.8,b), і запобігти виділення феромагнітного порошку з наповнювача під дією відцентрової сили при обертанні муфти і внаслідок його осідання, коли муфта стоїть.

Зупинимося на динаміці ферропорошкових муфт. Через те, що тут немає рухливого якоря (зрозуміло, мова йде про поступальний рух), як у муфтах сухого тертя, ферропоршкові муфти відрізняються великою швидкодією. Можна вважати, що обертаючий момент на веденому валу в перехідний період не відстає в часі від магнітного потоку в зазорі. Тому інерційністю процесу зміни в'язкості наповнювача можна зневажити. Миттєве значення магнітного поля, у свою чергу, визначається струмом в обмотці, тобто характеристика $M = f(I)$, приведена на рис. 2.8,a, справедлива й у перехідний період. Рівняння передаточної функції ферропорошкової муфти тертя, що зв'язує величину моменту на веденому валу з напругою на обмотці, має вигляд:

$$W(p) = \frac{K_E \cdot K_M}{T_E \cdot T_M \cdot p^2 + (T_E + T_M) \cdot p + 1}, \quad (2.4)$$

де $K_E = U / R$ - електромагнітний передаточний коефіцієнт муфти; U - напруга на обмотці муфти; R - опір обмотки муфти; $K_M = \Delta M / \Delta I$ - електромеханічний передаточний коефіцієнт муфти, що визначається по її статичній характеристиці, приведений на рис.3.4,a; $T_E = L/R$ - електромагнітна постійна часу муфти; L - індуктивність обмотки муфти; $T_M = \frac{J}{M_H} \cdot \omega_0 \cdot s_H$ - електромеханічна постійна часу муфти; J - момент інерції муфти; M_H - номінальний обертаючий момент муфти; ω_0 - кутова частота обертання ведучого вала муфти; s_H - номінальне ковзання муфти.

Рівняння передаточної функції ферропорошкової муфти тертя в загальному випадку є нелінійним. Нелінійність визначається зміною значень передаточних коефіцієнтів і постійних часу муфти в залежності від робочої

точки. По-перше, якщо врахувати насичення магнітопроводу, то при цьому електромагнітна постійна часу ланцюга T_E буде зменшуватися з ростом сигналу через зменшення індуктивності обмотки L . По-друге, через наявність моменту опору навантаження M_c змінюються значення електромеханічного передаточного коефіцієнта K_m і електромеханічної постійної часу T_m . Причому залежність $\omega = f(M_c)$ може бути сама нелінійною функцією, що також приводить до нелінійності передаточної функції муфти.

Якщо обмежитися невеликими відхиленнями вхідного сигналу U від його сталого значення, що відповідає якійсь початковій сталій швидкості обертання системи муфт-робоча машина, то передаточну функцію муфти можна лінеаризувати. У результаті одержимо в точці сталого режиму, відносно якого узяті відхилення змінних, рівняння передаточної функції ферропорошкової муфти тертя у вигляді аперіодичної ланки другого порядку. Значення коефіцієнтів цієї ланки є змінними величинами і їх визначають по статичній характеристиці муфти для кожної з її робочих точок окремо.

Розглянувши характеристики різних муфт в якості виконавчого механізму була обрана муфта електромагнітна порошкова безконтактна МПБ-40-2. Її основні технічні дані та характеристики наведені в таблиці 2.3.

Передаточну функцію муфти одержуємо з (2.4) підставляючи відповідні параметри.

$$W_{BM}(p) = \frac{1.6}{0.0004 \cdot p^2 + 0.085 \cdot p + 1}. \quad (2.5)$$

Муфта зображена на рисунку 2.9, а розміри на рисунку 2.10.

Таблиця 2.3 – Технічні дані та характеристики муфти МПБ-40-2

Назва параметру	Значення параметру
Номінальна напруга, В	24
Номінальний момент, Нм	3.92
Споживаний струм при номінальному моменті, А, не більше	0.4
Максимальна частота обертання, об/хв	2000
Маса, кг	4.2



Рисунок 2.9 – Муфта електромагнітна порошкова безконтактна МПБ-40-2.

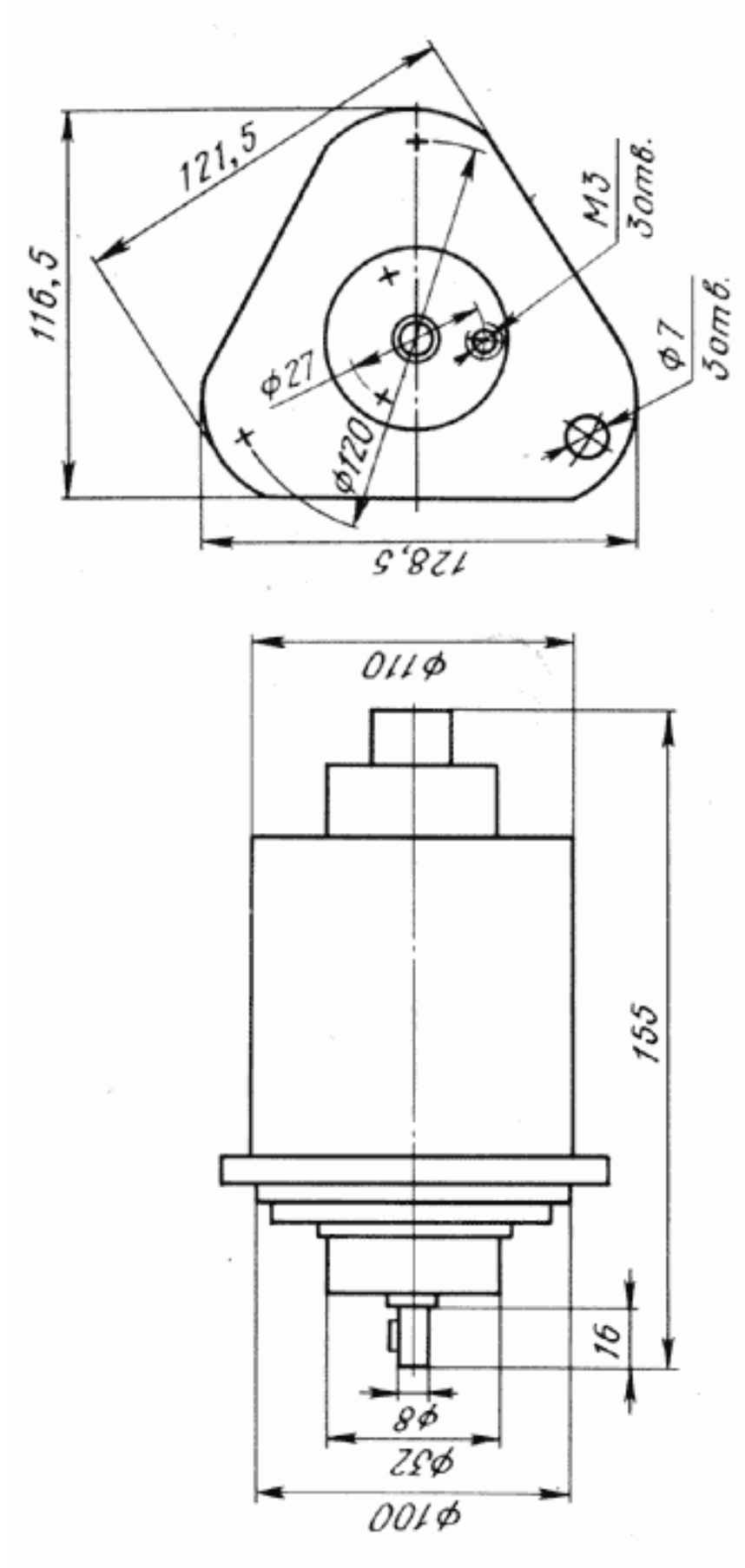


Рисунок 2.10 – Габаритні та монтажні розміри муфти електромагнітної порошкової безконтактної МПБ-40-2

2.3 Синтез системи стабілізації натягу полотна

Розглядаючи структурну схему системи приведену в підрозділі 2.1 можна представити її як систему стабілізації зображену на рисунку 2.11.

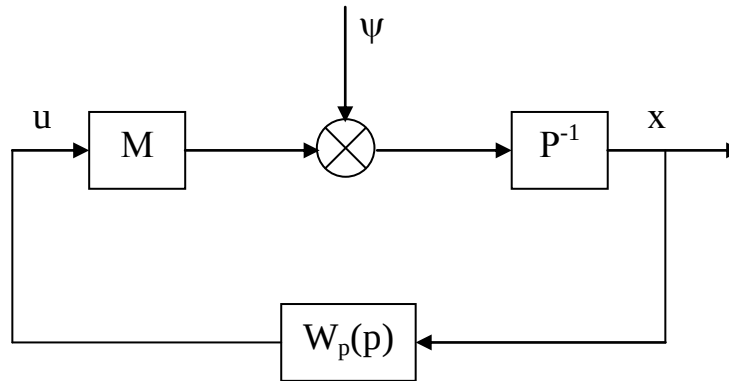


Рисунок 2.11 – Структурна схема системи стабілізації.

Передаточну функцію регулятора розраховуємо за методикою Ларіна [22]. Синтез виконуємо в середовищі MatLab. Передаточна функція $W(s)$ регулятора представляється як:

$$W(s) = \frac{-rM(-s)\Gamma_1(s)G^{-1}(-s) + P(s)\Gamma_0(s)B_-(s)}{c(s)P(-s)\Gamma_1(s)G^{-1}(-s) + M(s)\Gamma_0(s)B_-(s)}, \quad (2.10)$$

де $B_-(s)$, $G(-s)$, $\Gamma_0(s)$ та $\Gamma_1(s)$ визначаються формулами

$$B_0(s) + B_+(s) + B_-(s) = \frac{R(s)\Gamma_1(s)}{G(-s)Q(s)\Gamma_0(s)}, \quad (2.11)$$

$$R(s) = r\beta(s)M(-s) - c(s)\alpha(s)P(-s), \quad (2.12)$$

$$G(s)G(-s) = rM(s)M(-s) + c(s)P(s)P(-s), \quad (2.13)$$

$$Q(s) = \alpha(s)M(s) + \beta(s)P(s), \quad (2.14)$$

$$S_\psi(s) = \frac{\Gamma_1(s)\Gamma_1(-s)}{\Gamma_0(s)\Gamma_0(-s)}; \quad (2.15)$$

Приводимо структурну схему системи до рисунку 2.11. Тобто необхідно визначити поліноми $P(s)$ та $M(s)$.

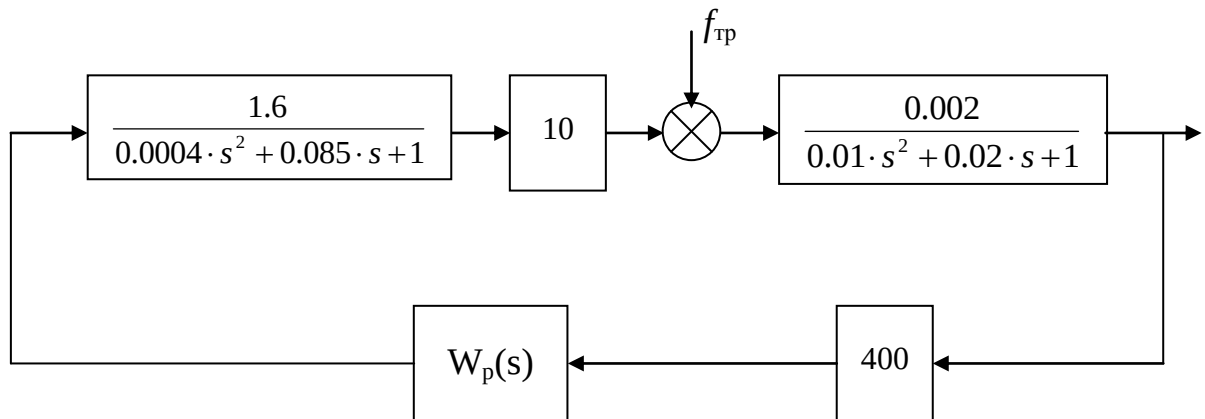


Рисунок 2.12 – Структурна схема системи.

$$P(s) = 5 \cdot 10^{-6}(s + 200)(s + 12.5)(s^2 + 2s + 100); \quad (2.16)$$

$$M(s) = 16. \quad (2.17)$$

Також визначимо поліноми з нулями лише в лівій півплощині $\Gamma_0(s)$ та $\Gamma_1(s)$ спектральних щільностей зовнішніх збурень для трьох видів матеріалів полотна використовуючи методику перетворення структурної схеми до виду рис.2.11 та вирази (1.11-1.13, 2.15). В результаті одержали

- для поліетилену

$$\Gamma_1(s) = 1.721 \cdot 10^{-6}(s + 200)(s + 12.5)(s + 2.873)(s^2 + 2s + 100); \quad (2.18)$$

$$\Gamma_0(s) = s^2 + 0.3591s + 8.252; \quad (2.19)$$

- для поліпропілену

$$\Gamma_1(s) = 1.707 \cdot 10^{-6}(s + 200)(s + 12.5)(s + 3.809)(s^2 + 2s + 100); \quad (2.20)$$

$$\Gamma_0(s) = s^2 + 0.6688s + 14.51; \quad (2.21)$$

- для паперу

$$\Gamma_1(s) = 1.73 \cdot 10^{-6}(s + 200)(s + 12.5)(s + 4.831)(s^2 + 2s + 100); \quad (2.22)$$

$$\Gamma_0(s) = s^2 + 1.183s + 23.32. \quad (2.23)$$

Далі розглянемо розрахунок регулятора для випадку використання матеріалу полотна – поліетилену.

Передаточну функцію $W(s)$ регулятора будемо визначати при вагових коефіцієнтах функціоналу $r = 1$, а c будемо надавати значення 0.1; 0.3; 1; 10.

Визначаємо передаточну функцію $W(s)$ регулятора для першого випадку при $r = 1$ та $c = 0.1$. Приймаємо $\alpha = 0$, $\beta = 1$, тоді за формулами (2.10-15)

```
>> s=zpk('s');
>> M=16*s^0;
>> M_=16*s^0;
>> P=5e-6*(s+200)*(s+12.5)*(s^2+2*s+100);
>> P_=5e-6*(-s+200)*(-s+12.5)*(s^2-2*s+100);
>> g1=1.721e-6*(s+200)*(s+12.5)*(s+2.873)*(s^2+2*s+100);
>> g0=s^2+0.3591*s+8.252;
>> a=0;b=1;
>> Q=a*M+b*P

Zero/pole/gain:
5e-006 (s+200) (s+12.5) (s^2 + 2s + 100)

>> c=0.1;r=1;
>> GG_=r*M*M_+c*P*P_

Zero/pole/gain:
2.5e-012 (s-200) (s+200) (s-37.1) (s+37.1) (s^2 - 36.26s + 1364) (s^2 + 36.26s + 1364)

>> sqrt(2.5e-12)

ans =
    1.5811e-006

>> G_=1.5811e-006*(s-200)*(s-37.1)*(s^2-36.26*s+1364)

Zero/pole/gain:
1.5811e-006 (s-200) (s-37.1) (s^2 - 36.26s + 1364)

>> R=r*b*M_-c*a*P_

Zero/pole/gain:
16

>> B=R*g1/(G_*Q*g0)

Zero/pole/gain:
1857946998.9248 (s+200) (s+12.5) (s+2.873) (s^2 + 2s + 100)
-----
(s-200) (s+200) (s-37.1) (s+12.5) (s^2 + 0.3591s + 8.252) (s^2 + 2s + 100) (s^2 - 36.26s + 1364)

>> [B0,B_]=SRWN(B)

Zero/pole/gain:
207.6341 (s+2.083) (s+12.5) (s+200) (s^2 + 2s + 100)
-----
(s+200) (s+12.5) (s^2 + 0.3591s + 8.252) (s^2 + 2s + 100)

Zero/pole/gain:
-207.6341 (s-200) (s^2 - 70.06s + 2778)
```

```

-----
(s-200) (s-37.1) (s^2 - 36.26s + 1364)

>> B_=-207.6341*(s^2-70.06*s+2778)/((s-37.1)*(s^2-36.26*s+1364))

Zero/pole/gain:
-207.6341 (s^2 - 70.06s + 2778)
-----
(s-37.1) (s^2 - 36.26s + 1364)

>> W=(-M_*g1/G_+P*g0*B_)/(c*P_*g1/G_+M*g0*B_)

Zero/pole/gain:
-3.5761 (s+200) (s-200)^2 (s-37.1)^4 (s+12.5) (s+2.083) (s^2 + 2s + 100)
(s^2 - 36.26s + 1364)^4
-----
(s-200)^2 (s+200) (s-37.1)^4 (s^2 + 0.3683s + 8.275) (s^2 - 36.26s + 1364)^4
(s^2 + 73.86s + 3136)

>> W=-3.5761*(s+12.5)*(s+2.083)*(s^2+2*s+100)/((s^2+0.3683*s+8.275)*(s^2+73.86*s+3136))

Zero/pole/gain:
-3.5761 (s+12.5) (s+2.083) (s^2 + 2s + 100)
-----
(s^2 + 0.3683s + 8.275) (s^2 + 73.86s + 3136)

```

Отже отримали регулятор при $r = 1$ та $c = 0.1$

$$W_{P(0.1)}(s) = \frac{-3.5761(s+12.5)(s+2.083)(s^2+2s+100)}{(s^2+0.3683s+8.275)(s^2+73.86s+3136)} \cdot \quad (2.24)$$

Визначаємо передаточну функцію $W(s)$ регулятора для другого випадку при $r = 1$ та $c = 0.3$.

```

>> s=zpk('s');
>> M=16*s^0;
>> M_=16*s^0;
>> P=5e-6*(s+200)*(s+12.5)*(s^2+2*s+100);
>> P_=5e-6*(-s+200)*(-s+12.5)*(s^2-2*s+100);
>> g1=1.721e-6*(s+200)*(s+12.5)*(s+2.873)*(s^2+2*s+100);
>> g0=s^2+0.3591*s+8.252;
>> a=0;b=1;
>> Q=a*M+b*P

Zero/pole/gain:
5e-006 (s+200) (s+12.5) (s^2 + 2s + 100)

>> c=0.1;r=1;
>> GG_=r*M*M_+c*P*P_

Zero/pole/gain:
7.5e-012 (s-200) (s+200) (s+30.83) (s-30.83) (s^2 + 30.11s + 948.3) (s^2 - 30.11s + 948.3)

```

```
>> sqrt(7.5e-012)
```

```
ans =  
2.7386e-006
```

```
>> G_=2.7386e-6*(s-200)*(s-30.83)*(s^2-30.11*s+948.3)
```

```
Zero/pole/gain:  
2.7386e-006 (s-200) (s-30.83) (s^2 - 30.11s + 948.3)
```

```
>> R=r*b*M_-c*a*P_
```

```
Zero/pole/gain:  
16
```

```
>> B=R*g1/(G_*Q*g0)
```

```
Zero/pole/gain:
```

```
1072664865.2596 (s+200) (s+12.5) (s+2.873) (s^2 + 2s + 100)  
-----  
(s-200) (s+200) (s-30.83) (s+12.5) (s^2 + 0.3591s + 8.252) (s^2 + 2s + 100) (s^2 - 30.11s + 948.3)
```

```
>> [B0,B_]=SRWN(B)
```

```
Zero/pole/gain:  
211.2211 (s+1.959) (s+12.5) (s+200) (s^2 + 2s + 100)  
-----  
(s+200) (s+12.5) (s^2 + 0.3591s + 8.252) (s^2 + 2s + 100)
```

```
Zero/pole/gain:  
-211.2211 (s-200) (s^2 - 58.49s + 1891)  
-----  
(s-200) (s-30.83) (s^2 - 30.11s + 948.3)
```

```
>> B_=-211.2211*(s^2-58.49*s+1891)/((s-30.83)*(s^2-30.11*s+948.3))
```

```
Zero/pole/gain:  
-211.2211 (s^2 - 58.49s + 1891)  
-----  
(s-30.83) (s^2 - 30.11s + 948.3)
```

```
>> W=(-M_*g1/G_+P*g0*B_)/(c*P_*g1/G_+M*g0*B_)
```

```
Zero/pole/gain:
```

```
-2.1(s+200) (s-200)^4 (s-30.83)^4 (s+12.5) (s+1.959) (s^2 + 2s + 100) (s^2 - 30.11s + 948.3)^4  
-----  
(s-200)^4 (s+200) (s-30.83)^4 (s^2 + 0.3824s + 8.309) (s^2 - 30.11s + 948.3)^4  
  
(s^2 + 62.32s + 2174)
```

```
>> W=-2.1*(s+12.5)*(s+1.959)*(s^2+2*s+100)/((s^2+0.3824*s+8.309)*(s^2+62.32*s+2174))
```

```
Zero/pole/gain:  
-2.1 (s+12.5) (s+1.959) (s^2 + 2s + 100)
```

$$(s^2 + 0.3824s + 8.309)(s^2 + 62.32s + 2174)$$

Отже отримали регулятор при $r = 1$ та $c = 0.3$

$$W_{P(0.3)}(s) = \frac{-2.1(s+12.5)(s+1.959)(s^2 + 2s + 100)}{(s^2 + 0.3824s + 8.309)(s^2 + 62.32s + 2174)}. \quad (2.25)$$

Визначаємо передаточну функцію $W(s)$ регулятора для другого випадку при $r = 1$ та $c = 1$.

```
>> s=zpk('s');
>> M=16*s^0;
>> M_=16*s^0;
>> P=5e-6*(s+200)*(s+12.5)*(s^2+2*s+100);
>> P_=5e-6*(-s+200)*(-s+12.5)*(s^2-2*s+100);
>> g1=1.721e-6*(s+200)*(s+12.5)*(s+2.873)*(s^2+2*s+100);
>> g0=s^2+0.3591*s+8.252;
>> a=0;b=1;
>> Q=a*M+b*P
Zero/pole/gain:
5e-006 (s+200) (s+12.5) (s^2 + 2s + 100)

>> c=1;r=1;
>> GG_=r*M*M_+c*P*P_

Zero/pole/gain:
2.5e-011 (s-200) (s+200) (s+25.24) (s-25.24) (s^2 + 24.39s + 635.8) (s^2 - 24.39s + 635.8)

>> G_=5e-6*(-s+200)*(-s+25.24)*(s^2-24.39*s+635.8)

Zero/pole/gain:
5e-006 (s-200) (s-25.24) (s^2 - 24.39s + 635.8)

>> R=r*b*M_-c*a*P_

Zero/pole/gain:
16

>> B=R*g1/(G_*Q*g0)

Zero/pole/gain:
587520000 (s+200) (s+12.5) (s+2.873) (s^2 + 2s + 100)
-----
(s-200) (s+200) (s-25.24) (s+12.5) (s^2 + 0.3591s + 8.252) (s^2 + 2s + 100) (s^2 - 24.39s + 635.8)

>> [B0,B_]=SRWN(B)

Zero/pole/gain:
215.3137 (s+1.805) (s+12.5) (s+200) (s^2 + 2s + 100)
-----
(s+200) (s+12.5) (s^2 + 0.3591s + 8.252) (s^2 + 2s + 100)

Zero/pole/gain:
-215.3137 (s-200) (s^2 - 47.75s + 1237)
```

```

-----
(s-200) (s-25.24) (s^2 - 24.39s + 635.8)

>> B_=-215.3137*(s^2-47.75*s+1237)/((s-25.24)*(s^2-24.39*s+635.8))

Zero/pole/gain:
-215.3137 (s^2 - 47.75s + 1237)
-----
(s-25.24) (s^2 - 24.39s + 635.8)

>> W=(-M_*g1/G_+P*g0*B_)/(c*P_*g1/G_+M*g0*B_)

Zero/pole/gain:
-1.1727 (s-200)^2 (s+200) (s-25.24)^4 (s+12.5) (s+1.805)
-----
(s^2 + 2s + 100) (s^2 - 24.39s + 635.8)^4
-----
(s-200)^2 (s+200) (s-25.24)^4 (s^2 + 0.4238s + 8.404) (s^2 - 24.39s + 635.8)^4
-----
(s^2 + 51.48s + 1452)
>> W=-1.1727*(s+1.805)*(s+12.5)*(s^2+2*s+100)/((s^2+0.4238*s+8.404)*(s^2+51.48*s+1452))

Zero/pole/gain:
-1.1727 (s+1.805) (s+12.5) (s^2 + 2s + 100)
-----
(s^2 + 0.4238s + 8.404) (s^2 + 51.48s + 1452)

```

Отже отримали регулятор при $r = 1$ та $c = 1$

$$W_{P(1)}(s) = \frac{-1.1727(s+12.5)(s+1.805)(s^2 + 2s + 100)}{(s^2 + 0.4238s + 8.404)(s^2 + 51.48s + 1452)} \cdot \quad (2.26)$$

Визначаємо передаточну функцію $W(s)$ регулятора для третього випадку при $r = 1$ та $c = 10$.

```

>> s=zpk('s');
>> M=16*s^0;
>> M_=16*s^0;
>> P=5e-6*(s+200)*(s+12.5)*(s^2+2*s+100);
>> P_=5e-6*(-s+200)*(-s+12.5)*(s^2-2*s+100);
>> g1=1.721e-6*(s+200)*(s+12.5)*(s+2.873)*(s^2+2*s+100);
>> g0=s^2+0.3591*s+8.252;
>> a=0;b=1;
>> Q=a*M+b*P

Zero/pole/gain:
5e-006 (s+200) (s+12.5) (s^2 + 2s + 100)

>> c=0.1;r=1;
>> GG_=r*M*M_+c*P*P_

Zero/pole/gain:
2.5e-010 (s+200) (s-200) (s-17.62) (s+17.62) (s^2 - 15.53s + 295.8) (s^2 + 15.53s + 295.8)
>> sqrt(2.5e-10)

```

ans =
1.5811e-005

>> G_ = 1.5811e-005*(s-200)*(s-17.62)*(s^2-15.53*s+295.8)

Zero/pole/gain:
1.5811e-005 (s-200) (s-17.62) (s^2 - 15.53s + 295.8)

>> R = r*b*M_-c*a*P_

Zero/pole/gain:
16

>> B = R*g1/(G_*Q*g0)

Zero/pole/gain:
185794699.8925 (s+200) (s+12.5) (s+2.873) (s^2 + 2s + 100)

(s-200) (s+200) (s-17.62) (s+12.5) (s^2 + 0.3591s + 8.252) (s^2 + 2s + 100) (s^2 - 15.53s + 295.8)

>> [B0,B_]=SRWN(B)

Zero/pole/gain:
218.9373 (s+1.476) (s+200) (s+12.5) (s^2 + 2s + 100)

(s+200) (s+12.5) (s^2 + 0.3591s + 8.252) (s^2 + 2s + 100)

Zero/pole/gain:
-218.9373 (s-200) (s^2 - 31.91s + 544.9)

(s-200) (s-17.62) (s^2 - 15.53s + 295.8)

>> B_ = -218.9373*(s^2-31.91*s+544.9)/((s-17.62)*(s^2-15.53*s+295.8))

Zero/pole/gain:
-218.9373 (s^2 - 31.91s + 544.9)

(s-17.62) (s^2 - 15.53s + 295.8)

>> W = (-M_*g1/G_+P*g0*B_)/(c*P_*g1/G_+M*g0*B_)

Zero/pole/gain:
-0.37708 (s-200)^2 (s+200) (s-17.62)^4 (s+12.5) (s+1.476) (s^2 + 2s + 100)

(s^2 - 15.53s + 295.8)^4

(s-200)^2 (s+200) (s-17.62)^4 (s^2 + 0.8141s + 9.242) (s^2 - 15.53s + 295.8)^4

(s^2 + 35.03s + 656.2)

>> W = -0.37708*(s+1.476)*(s+12.5)*(s^2+2*s+100)/((s^2+0.8141*s+9.242)*(s^2+35.03*s+656.2))

Zero/pole/gain:
-0.37708 (s+1.476) (s+12.5) (s^2 + 2s + 100)

(s^2 + 0.8141s + 9.242) (s^2 + 35.03s + 656.2)

Отже отримали регулятор при $r = 1$ та $c = 10$

$$W_{P(10)}(s) = \frac{-0.37708(s+12.5)(s+1.476)(s^2+2s+100)}{(s^2+0.8141s+9.242)(s^2+35.03s+656.2)} . \quad (2.27)$$

Аналогічні розрахунки проводились для інших матеріалів полотна при різних значеннях вагового коефіцієнту c . В результаті був одержаний набір передаточних функцій регуляторів.

Для поліпропілену:

$$W_{P(0.1)}(s) = \frac{-3.6504(s+12.5)(s+2.502)(s^2+2s+100)}{(s^2+0.677s+14.54)(s^2+74.44s+3179)} ; \quad (2.28)$$

$$W_{P(0.3)}(s) = \frac{-2.1458(s+12.5)(s+2.301)(s^2+2s+100)}{(s^2+0.6896s+14.58)(s^2+62.91s+2208)} ; \quad (2.29)$$

$$W_{P(1)}(s) = \frac{-1.2014(s+12.5)(s+2.201)(s^2+2s+100)}{(s^2+1.231s+23.51)(s^2+52.61s+1493)} ; \quad (2.30)$$

$$W_{P(10)}(s) = \frac{-0.3799(s+12.5)(s+1.397)(s^2+2s+100)}{(s^2+1.523s+24.54)(s^2+36.28s+679.3)} . \quad (2.31)$$

Для паперу:

$$W_{P(0.1)}(s) = \frac{-3.6834(s+12.5)(s+2.865)(s^2+2s+100)}{(s^2+1.19s+23.35)(s^2+74.93s+3208)} ; \quad (2.32)$$

$$W_{P(0.3)}(s) = \frac{-2.1607(s+12.5)(s+2.569)(s^2+2s+100)}{(s^2+1.2s+23.39)(s^2+63.41s+2229)} ; \quad (2.33)$$

$$W_{P(1)}(s) = \frac{-1.1981(s+12.5)(s+2.053)(s^2+2s+100)}{(s^2+0.7266s+14.69)(s^2+52.1s+1478)} ; \quad (2.34)$$

$$W_{P(10)}(s) = \frac{-0.3841(s+12.5)(s+1.521)(s^2+2s+100)}{(s^2+1.076s+15.63)(s^2+35.7s+671.5)} . \quad (2.35)$$

Для визначення передаточної функції регулятора, яка б давала найкращий результат для кожного виду матеріалу полотна необхідно провести аналіз якості роботи системи за значенням квадратичного функціоналу (2.8). Також необхідно визначити за тим же критерієм якості чи достатньо буде одного регулятора для регулювання натягу при різних матеріалах полотна, чи потрібно розробити систему регулювання, яка б давала можливість вибору регулятора для кожного з матеріалів полотна.

2.4 Аналіз якості вирішення задачі регулювання

Якість системи будемо оцінювати по квадратичному функціоналу (2.8):

$$J = r\langle x^2 \rangle + c\langle u^2 \rangle,$$

де r та c – вагові константи, $\langle x^2 \rangle, \langle u^2 \rangle$ - дисперсія величин x та u .

Визначимо при яких значеннях r та c функціонал досягне мінімуму.

З формул (2.6 – 2.9) знайдемо передаточні функції:

$$\left. \begin{aligned} x(s) &= F_x(s)\psi(s) = \frac{1}{P(s) - M(s)W(s)}\psi(s), \\ u(s) &= F_u(s)\psi(s) = \frac{W(s)}{P(s) - M(s)W(s)}\psi(s), \\ u(s) &= W(s)x(s) = F_u(s)F_x^{-1}(s)x(s), \end{aligned} \right\} \quad (2.36)$$

де $W(s) = W_0^{-1}(s)\tilde{W}(s)$. Функціонал (2.8) запишемо у вигляді

$$J = \frac{1}{3} \int_{-\infty}^{\infty} [rF_{\hat{o}}(s)F_{\hat{o}}(-s)S_{\psi}(s) + cF_{\hat{e}}(s)F_{\hat{e}}(-s)S_{\psi}(s)]ds. \quad (2.37)$$

Для визначення функціоналу знайдемо функції $F_x(s)$ та $F_u(s)$ при значеннях $c = 0.1; 0.3; 1; 10$.

$$\text{norm}(F(s) \cdot \frac{\Gamma_1(s)}{\Gamma_0(s)}) = \sqrt{\frac{1}{i} \int_{-\infty}^{\infty} F(s)F(-s)S_{\psi}(s)ds} \quad (2.38)$$

$$J = r \cdot \left(\text{norm}(F_x(s) \cdot \frac{\Gamma_1(s)}{\Gamma_0(s)}) \right)^2 + c \cdot \left(\text{norm}(F_u(s) \cdot \frac{\Gamma_1(s)}{\Gamma_0(s)}) \right)^2 \quad (2.39)$$

Проведемо розрахунки для набору регуляторів визначених в результаті синтезу при матеріалі полотна – поліетилен.

Визначаємо функціонал при $c = 0.1$.

```
>> s=zpk('s');
>> c=0.1;r=1;
>> g1=1.721e-6*(s+200)*(s+12.5)*(s+2.873)*(s^2+2*s+100);
>> g0=s^2+0.3591*s+8.252;
>> S=g1/g0
```

Zero/pole/gain:

```
1.721e-006 (s+200) (s+12.5) (s+2.873) (s^2 + 2s + 100)
-----
(s^2 + 0.3591s + 8.252)
```

```
>> M=16*s^0;
>> P=5e-6*(s+200)*(s+12.5)*(s^2+2*s+100);
>> W=-3.5761*(s+12.5)*(s+2.083)*(s^2+2*s+100)/((s^2+0.3683*s+8.275)*(s^2+73.86*s+3136))
```

Zero/pole/gain:

```
-3.5761 (s+12.5) (s+2.083) (s^2 + 2s + 100)
-----
(s^2 + 0.3683s + 8.275) (s^2 + 73.86s + 3136)
```

```
>> Fx=1/(P-M*W)
```

Zero/pole/gain:

```
200000 (s^2 + 0.3683s + 8.275) (s^2 + 73.86s + 3136)
-----
(s+200) (s+37.1) (s+12.5) (s+2.873) (s^2 + 2s + 100) (s^2 + 36.26s + 1364)
```

```
>> Fu=W/(P-M*W)
```

Zero/pole/gain:

```
-715220 (s+2.083)
-----
(s+2.873) (s+37.1) (s+200) (s^2 + 36.26s + 1364)
```

```
>> stdx=norm(Fx*S)
```

```
stdx =
    0.0810
```

```
>> stdu=norm(Fu*S)
```

```
stdu =
    0.1249
```

```
>> J=r*stdx^2+c*stdu^2
```

```
J =  
0.0121
```

Функціонал $J = 0.0121$, а середньоквадратичне відхилення $\sigma_x = 0.081$,
 $\sigma_u = 0.1249$.

Визначаємо функціонал при $c = 0.3$.

```
>> s=zpk('s');  
>> c=0.3;r=1;  
>> g1=1.721e-6*(s+200)*(s+12.5)*(s+2.873)*(s^2+2*s+100);  
>> g0=s^2+0.3591*s+8.252;  
>> S=g1/g0
```

Zero/pole/gain:

```
1.721e-006 (s+200) (s+12.5) (s+2.873) (s^2 + 2s + 100)  
-----  
(s^2 + 0.3591s + 8.252)
```

```
>> M=16*s^0;  
>> P=5e-6*(s+200)*(s+12.5)*(s^2+2*s+100);  
>> W=-2.1*(s+12.5)*(s+1.959)*(s^2+2*s+100)/((s^2+0.3824*s+8.309)*(s^2+62.32*s+2174))
```

Zero/pole/gain:

```
-2.1 (s+12.5) (s+1.959) (s^2 + 2s + 100)  
-----  
(s^2 + 0.3824s + 8.309) (s^2 + 62.32s + 2174)
```

```
>> Fx=1/(P-M*W)
```

Zero/pole/gain:

```
200000 (s^2 + 0.3824s + 8.309) (s^2 + 62.32s + 2174)  
-----  
(s+200) (s+30.83) (s+12.5) (s+2.873) (s^2 + 2s + 100) (s^2 + 30.11s + 948.3)
```

```
>> Fu=W/(P-M*W)
```

Zero/pole/gain:

```
-420080 (s+1.959)  
-----  
(s+2.873) (s+30.83) (s+200) (s^2 + 30.11s + 948.3)
```

```
>> stdx=norm(Fx*S)
```

```
stdx =  
0.0890
```

```
>> stdu=norm(Fu*S)
```

```
stdu =  
0.0858
```

```
>> J=r*stdx^2+c*stdu^2
```

```
J =  
0.0101
```

Функціонал $J = 0.0101$, а середньоквадратичне відхилення $\sigma_x = 0.089$,
 $\sigma_u = 0.0858$.

Визначаємо функціонал при $c = 1$.

```
>> s=zpk('s');
>> c=1;r=1;
>> g1=1.721e-6*(s+200)*(s+12.5)*(s+2.873)*(s^2+2*s+100);
>> g0=s^2+0.3591*s+8.252;
>> S=g1/g0
```

Zero/pole/gain:

$$\frac{1.721e-006 (s+200) (s+12.5) (s+2.873) (s^2 + 2s + 100)}{(s^2 + 0.3591s + 8.252)}$$

```
>> M=16*s^0;
>> P=5e-6*(s+200)*(s+12.5)*(s^2+2*s+100);
>> W=-1.1727*(s+12.5)*(s+1.805)*(s^2+2*s+100)/((s^2+0.4238*s+8.404)*(s^2+51.48*s+1452))
```

Zero/pole/gain:

$$\frac{-1.1727 (s+12.5) (s+1.805) (s^2 + 2s + 100)}{(s^2 + 0.4238s + 8.404) (s^2 + 51.48s + 1452)}$$

```
>> Fx=1/(P-M*W)
```

Zero/pole/gain:

$$\frac{200000 (s^2 + 0.4238s + 8.404) (s^2 + 51.48s + 1452)}{(s+200) (s+25.24) (s+12.5) (s+2.873) (s^2 + 2s + 100) (s^2 + 24.39s + 635.8)}$$

```
>> Fu=W/(P-M*W)
```

Zero/pole/gain:

$$\frac{-234540 (s+1.805)}{(s+2.873) (s+25.24) (s+200) (s^2 + 24.39s + 635.8)}$$

```
>> stdx=norm(Fx*S)
```

```
stdx =
    0.0989
```

```
>> stdu=norm(Fu*S)
```

```
stdu =
    0.0615
```

```
>> J=r*stdx^2+c*stdu^2
```

```
J =
    0.0136
```

Функціонал $J = 0.0136$, а середньоквадратичне відхилення $\sigma_x = 0.0989$,
 $\sigma_u = 0.0615$.

Визначаємо функціонал при $c = 10$.

```
>> s=zpk('s');
>> c=10;r=1;
>> g1=1.721e-6*(s+200)*(s+12.5)*(s+2.873)*(s^2+2*s+100);
>> g0=s^2+0.3591*s+8.252;
>> S=g1/g0
```

Zero/pole/gain:

$$\frac{1.721e-006 (s+200) (s+12.5) (s+2.873) (s^2 + 2s + 100)}{(s^2 + 0.3591s + 8.252)}$$

```
>> M=16*s^0;
>> P=5e-6*(s+200)*(s+12.5)*(s^2+2*s+100);
>> W=-0.37708*(s+12.5)*(s+1.476)*(s^2+2*s+100)/((s^2+0.8141*s+9.242)*(s^2+35.03*s+656.2))
```

Zero/pole/gain:

$$\frac{-0.37708 (s+12.5) (s+1.476) (s^2 + 2s + 100)}{(s^2 + 0.8141s + 9.242) (s^2 + 35.03s + 656.2)}$$

```
>> Fx=1/(P-M*W)
```

Zero/pole/gain:

$$\frac{200000 (s^2 + 0.8141s + 9.242) (s^2 + 35.03s + 656.2)}{(s+200) (s+17.62) (s+12.5) (s+2.873) (s^2 + 2s + 100) (s^2 + 15.53s + 295.8)}$$

```
>> Fu=W/(P-M*W)
```

Zero/pole/gain:

$$\frac{-75416(s+1.476)}{(s+2.873) (s+17.62) (s+200) (s^2 + 15.53s + 295.8)}$$

```
>> stdx=norm(Fx*S)
```

```
stdx =
    0.1255
```

```
>> stdu=norm(Fu*S)
```

```
stdu =
    0.0421
```

```
>> J=r*stdx^2+c*stdu^2
```

```
J =
    0.0335
```

Функціонал $J = 0.0335$, а середньоквадратичне відхилення $\sigma_x = 0.1255$,
 $\sigma_u = 0.0421$.

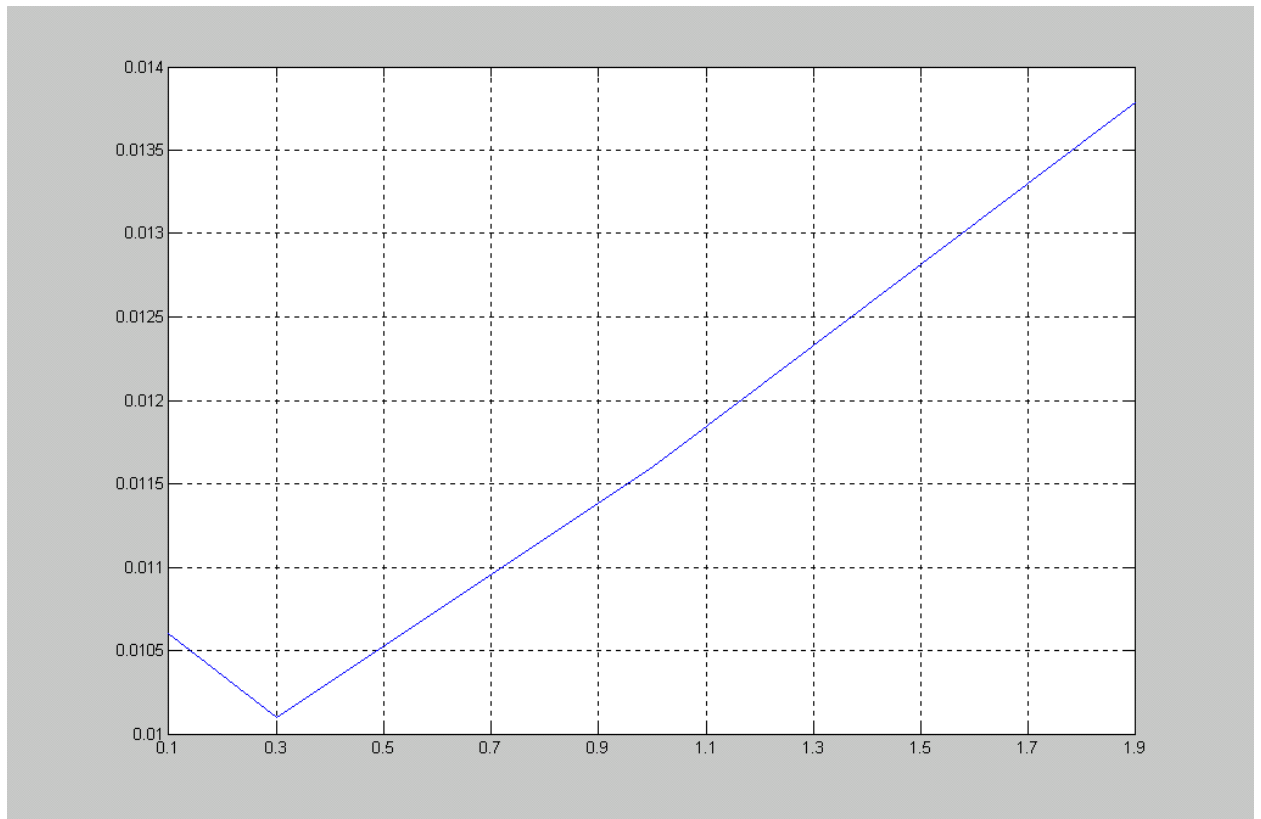


Рисунок 2.13 – Графік залежності функціоналу J від c .

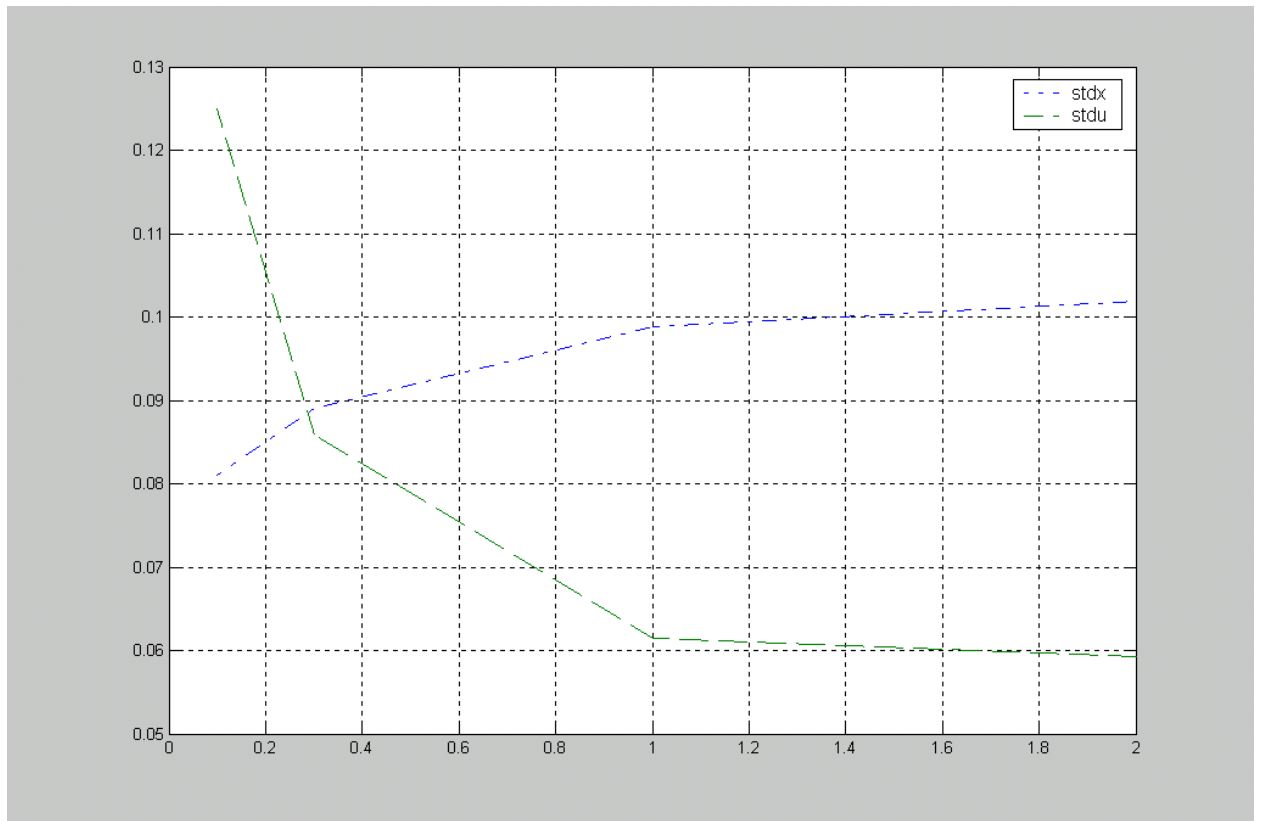


Рисунок 2.14 – Графік залежностей σ_x та σ_u від c .

З дослідження якості регулювання визначено, що функціонал досягає мінімуму $J = 0.0101$ при значенні вагової константи $c = 0.3$, при цьому середньоквадратичне відхилення вихідної координати системи $\sigma_x = 0.089$, а координати регулятора $\sigma_u = 0.0858$. Отже передаточна функція регулятора матиме вигляд

$$W_P(s) = \frac{-2.1004(s+12.5)(s+1.959)(s^2+2s+100)}{(s^2+0.3824s+8.309)(s^2+62.32s+2174)} \quad (2.40)$$

Знайдемо середньоквадратичне відхилення вихідної координати об'єкта регулювання по структурній схемі зображеній на рисунку 2.12. Для цього необхідно визначене середньоквадратичне відхилення вихідної координати системи поділити на передаточну функцію датчика (2.1):

$$\sigma_x = 0.089/400 = 0.22 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Знаючи, що середньоквадратичне відхилення експлуатаційних впливів визначене в підрозділі 1.3 $\sigma_f = 3.514 \cdot 10^{-3}$ м знайдемо відношення σ_f/σ_x

$$\frac{\sigma_f}{\sigma_x} = \frac{3.514 \cdot 10^{-3}}{0.22 \cdot 10^{-3}} = 15.97.$$

Отже завдяки системі автоматичного регулювання експлуатаційні впливи на вихідну координату об'єкта регулювання зменшились майже в 16 раз. Така якість регулювання повністю задовольняє початковим умовам.

Аналогічні розрахунки аналізу якості системи регулювання були проведені і для інших видів матеріалів. В результаті визначено, що для поліпропілену та паперу найкращий результат досягається при значенні вагового коефіцієнту $c = 0.3$. Отже для подальших досліджень будемо використовувати регулятори (2.29) та (2.33).

Далі було проведене дослідження впливу виду матеріалу полотна на якість регулювання натягу для кожного з обраних регуляторів за тим же функціоналом (2.8).

Одержані результати зведені в таблицю 2.4. Як бачимо кожен з регуляторів має майже однакову якість регулювання для матеріалу полотна при якому проводився синтез. Але для інших матеріалів значення показника якості погіршується в рази. Це свідчить про те, що для досягнення найвищої якості регулювання натягу полотна необхідно розробити систему, яка б давала можливість попередньо задавати вид матеріалу, що задруковується, та за визначеним видом встановлювала б необхідний закон регулювання.

Таблиця 2.4 – Значення показника якості при різних матеріалах полотна.

Матеріал полотна	Передаточна функція регулятора		
	(2.25)	(2.29)	(2.33)
Поліетилен	0,0101	0,0262	0,0462
Поліпропілен	0,0232	0,0102	0,0242
Папір	0,0271	0,0224	0,0102

3 Моделювання роботи системи автоматичного регулювання натягу полотна при зміні експлуатаційних факторів

3.1 Розробка моделі в середовищі MatLab

Беручи за основу структурну схему зображену на рисунку 2.12 за допомогою пакету Simulink створимо модель системи автоматичного регулювання натягу полотна. Об'єкти системи в пакеті Simulink задаються коефіцієнтами поліномів чисельника та знаменника передаточної функції. Отже необхідно представити всі об'єкти у вигляді поліномів.

Передаточну функцію об'єкту регулювання представимо у вигляді двох послідовно з'єднаних ланок

$$W_{1/r}(s) = 10 \text{ та } W_{op}(s) = \frac{0.002}{0.01s^2 + 0.02s + 1}.$$

Передаточна функція виконавчого механізму (муфти)

$$W_{\text{вм}}(s) = \frac{1.6}{0.0004s^2 + 0.085s + 1}.$$

Передаточна функція датчика

$$W_o(s) = 400.$$

Передаточна функція регулятора

$$W_p(s) = \frac{-2.1s^4 - 34.57s^3 - 322.2s^2 - 3140s - 5143}{s^4 + 62.7s^3 + 2206s^2 + 1349s + 18060}.$$

По знайдений спектральній щільності експлуатаційних впливів на виході об'єкта регулювання (1.7) необхідно змоделювати їх. Для цього необхідно провести факторизацію. В результаті одержимо

$$S_e(s) = \frac{0.86 \cdot 10^{-3}s + 2.47 \cdot 10^{-3}}{s^2 + 0.3591s + 8.252} \cdot \frac{-0.86 \cdot 10^{-3}s + 2.47 \cdot 10^{-3}}{s^2 - 0.3591s + 8.252}.$$

Для моделювання експлуатаційних впливів будемо використовувати генератор білого шуму, сигнал якого пропустимо через елемент з передаточною функцією $W_e(s) = \frac{0.86 \cdot 10^{-3}s + 2.47 \cdot 10^{-3}}{s^2 + 0.3591s + 8.252}$. Цей сигнал будемо подавати на вихід об'єкта регулювання.

Параметри генератора білого шуму встановлюємо наступні: енергія шуму рівна 1, крок дискретизації 0.001 с. Змодельований експлуатаційний вплив матиме вигляд зображений на рисунку 3.1.

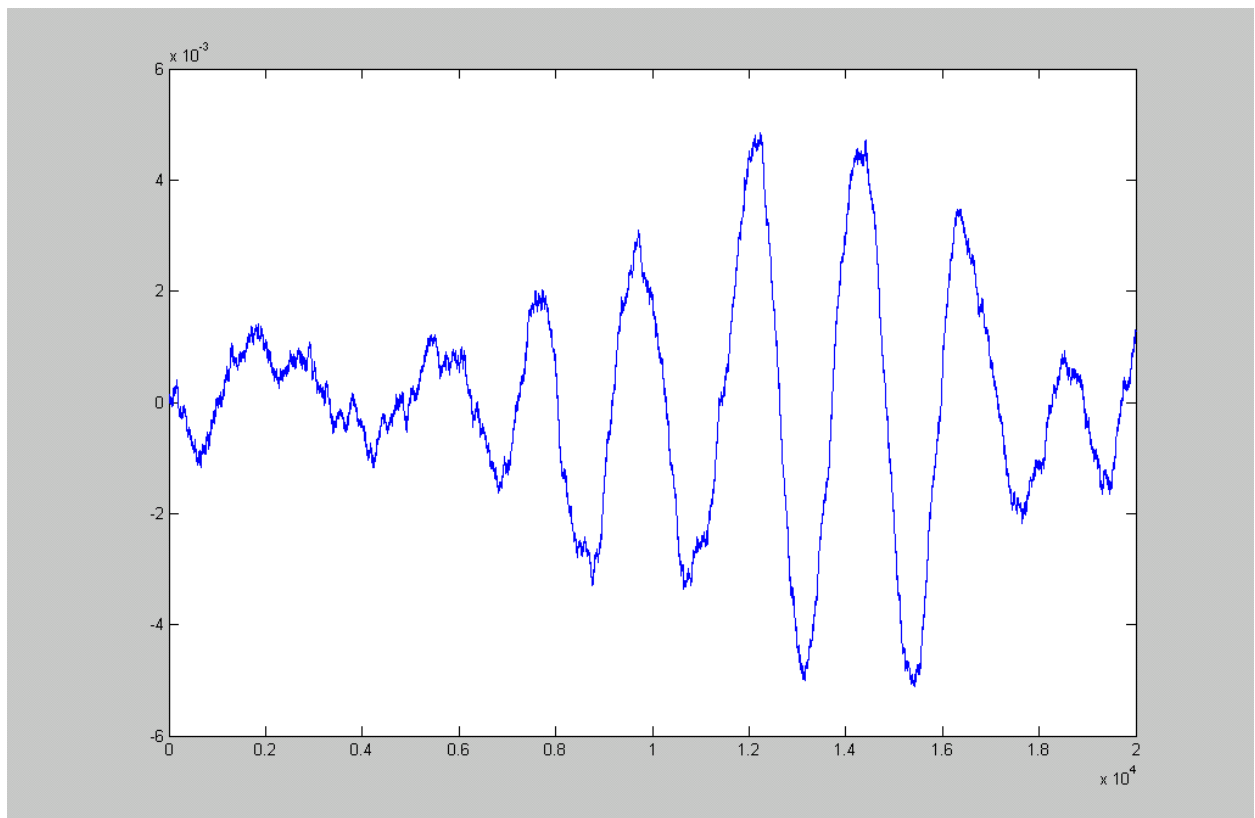


Рисунок 3.1 – Модель експлуатаційних впливів на протязі $t = 20$ с.

Вихідний сигнал будемо знімати з виходу об'єкта регулювання і записувати у вигляді масиву даних в робочу область MatLab. Далі за допомогою функції `std` будемо знаходити середньоквадратичне відхилення положення коливного валу.

Модель системи автоматичного регулювання натягу полотна зображена на рисунку 3.2.

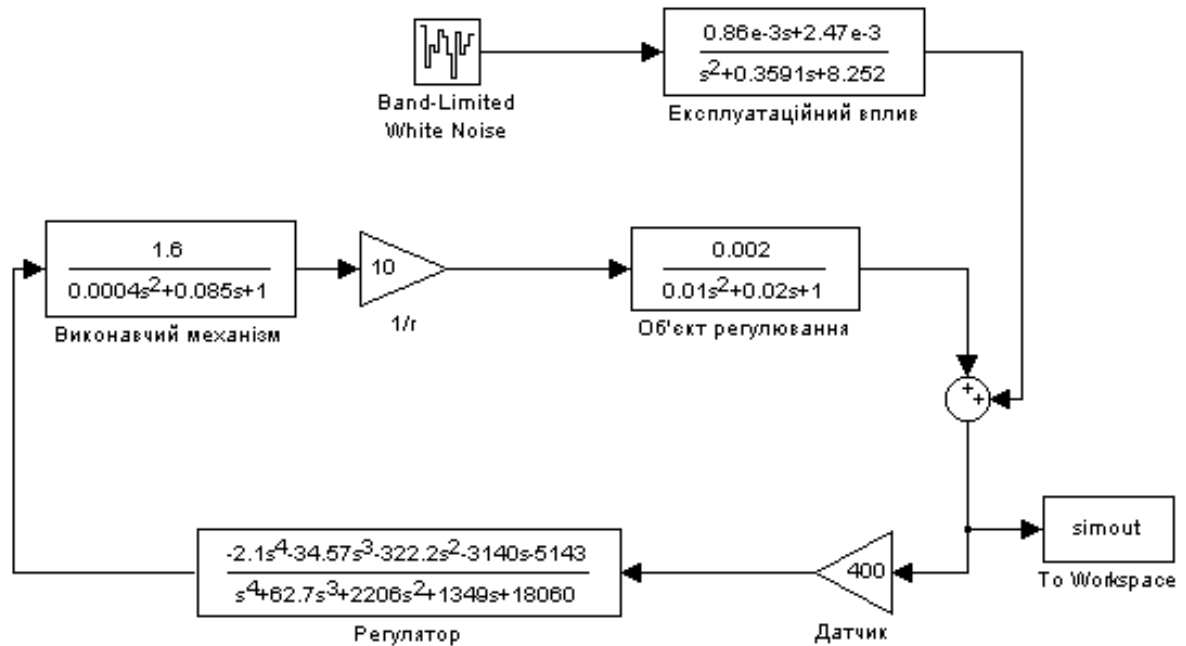


Рисунок 3.2 – Модель системи автоматичного регулювання.

3.2 Визначення впливу радіуса вала розмотки на якість системи

Так як в процесі роботи флексографічної машини ПФО-45 радіус вала розмотки змінюється в межах від 0.05 м до 0.2 м, то необхідно визначити як це буде впливати на якість роботи системи автоматичного регулювання. В розрахунках радіус вала брався рівним 0.1м. За допомогою побудованої моделі САР натягу полотна з використанням пакету Simulink проведемо дослідження впливу радіуса вала на якість системи. Дослідження будемо проводити для чотирьох значень радіуса вала розмотки $r = 0.05; 0.1; 0.15; 0.2$. Тобто в побудованій моделі необхідно змінювати ланку $W_{1/r}(s)$ і вона буде приймати значення 20; 10; 6.67; 5.

Знаходимо середньоквадратичне відхилення для випадку $r = 0.05$ м.

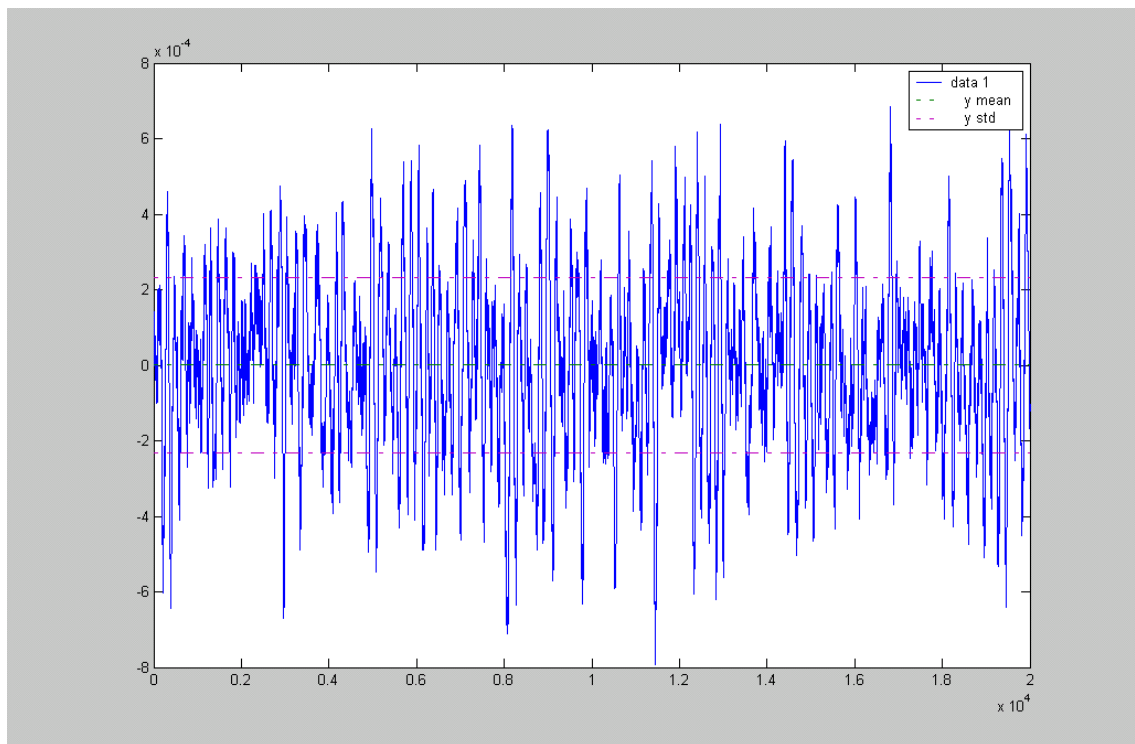


Рисунок 3.3 – Графік вихідного сигналу моделі САР при $r = 0.05$ м.

Середньоквадратичне відхилення $\sigma_x = 0.231 \cdot 10^{-3}$.

Знаходимо середньоквадратичне відхилення для випадку $r = 0.1$ м.

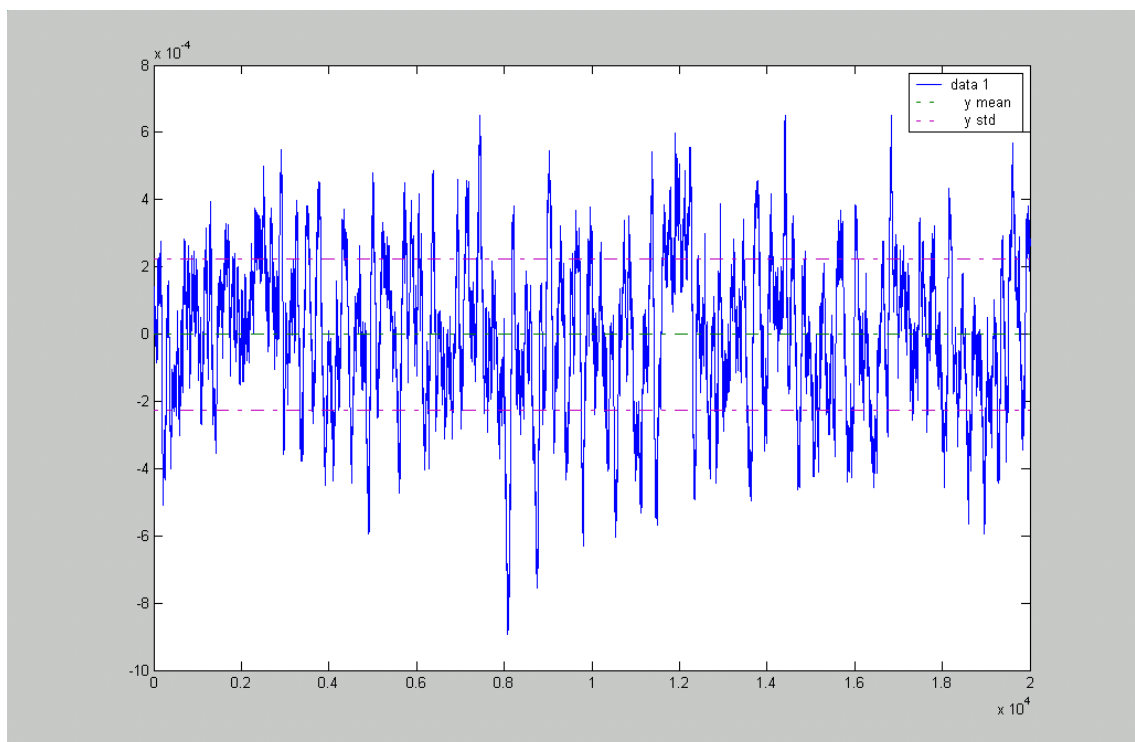


Рисунок 3.4 – Графік вихідного сигналу моделі САР при $r = 0.1$ м.

Середньоквадратичне відхилення $\sigma_x = 0.225 \cdot 10^{-3}$.

Знаходимо середньоквадратичне відхилення для випадку $r = 0.15$ м.

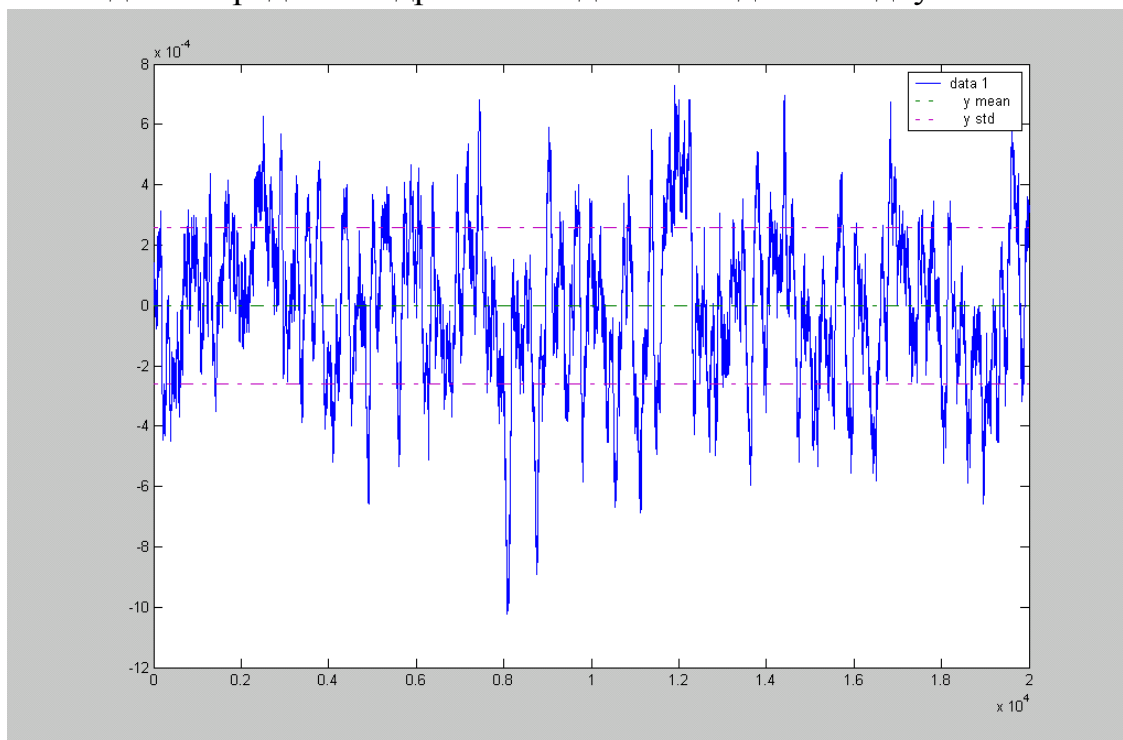


Рисунок 3.5 – Графік вихідного сигналу моделі САР при $r = 0.15$ м.

Середньоквадратичне відхилення $\sigma_x = 0.258 \cdot 10^{-3}$.

Знаходимо середньоквадратичне відхилення для випадку $r = 0.2$ м.

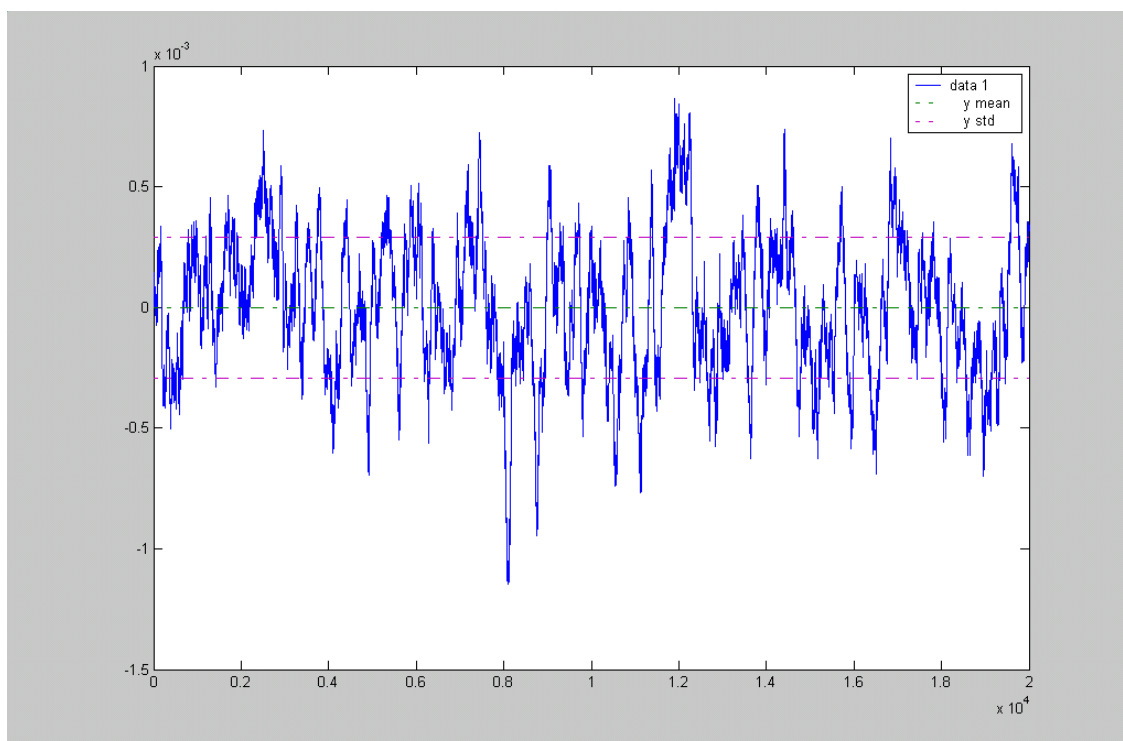


Рисунок 3.6 – Графік вихідного сигналу моделі САР при $r = 0.2$ м.

Середньоквадратичне відхилення $\sigma_x = 0.293 \cdot 10^{-3}$.

Знайшовши середньоквадратичне відхилення при різних значеннях радіуса r можна побудувати графік залежності $\sigma_x(r)$. Як бачимо з графіка при зміні радіуса в межах від 0.05м до 0.2м середньоквадратичне відхилення координати коливного вала знаходиться в межах $0.3 \cdot 10^{-3}$ м, що задовольняє умові щодо якості системи автоматичного регулювання.

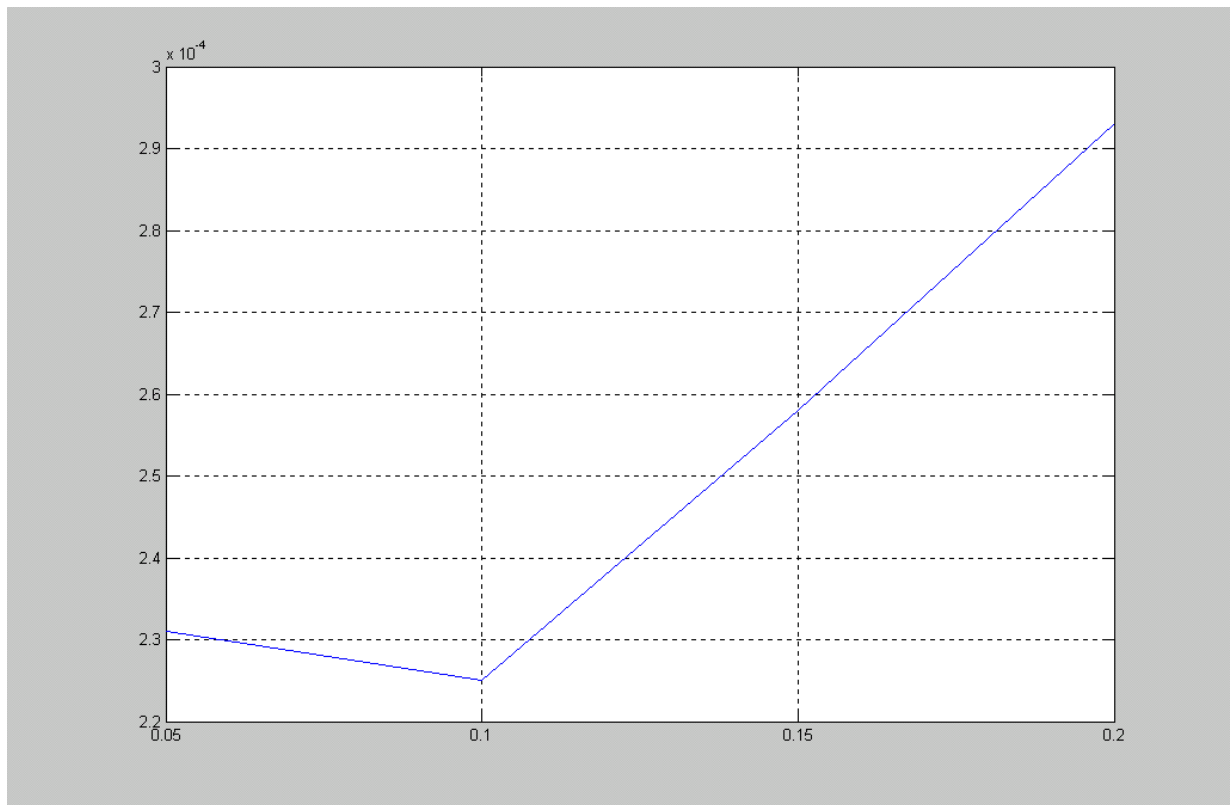


Рисунок 3.7 – Графік залежності середньоквадратичного відхилення положення коливного вала від радіуса вала розмотки.

4 Розробка схеми та програми для реалізації оптимального регулятора

4.1 Визначення Z-перетворення передаточної функції регулятора

Для реалізації системи регулювання виконаємо Z-перетворення передаточних функцій регуляторів одержаних в результаті синтезу та аналізу в другому розділі.

$$W_P(s) = \frac{-2.1(s+12.5)(s+1.959)(s^2+2s+100)}{(s^2+0.3824s+8.309)(s^2+62.32s+2174)}. \quad (4.1)$$

$$W_P(s) = \frac{-2.1458(s+12.5)(s+2.301)(s^2+2s+100)}{(s^2+0.6896s+14.58)(s^2+62.91s+2208)} \quad (4.2)$$

$$W_P(s) = \frac{-2.1607(s+12.5)(s+2.569)(s^2+2s+100)}{(s^2+1.2s+23.39)(s^2+63.41s+2229)} \quad (4.3)$$

Виконаємо розбиття передаточної функції регулятора одержаного для матеріалу полотна – поліетилен (4.1) на елементарні дробки:

$$W_P(s) = -2.1 + \frac{-1.238s - 1.549}{s^2 + 0.3824s + 8.309} + \frac{98.35s + 4352}{s^2 + 62.32s + 2174}. \quad (4.4)$$

Тепер виконаємо Z-перетворення в MatLab, при часі дискретизації $T_0 = 0.001$ с.

$$W_P(z) = -2.1 + \frac{-0.001238z + 0.001237}{z^2 - 2z + 0.9996} + \frac{0.09744z - 0.09323}{z^2 - 1.937z + 0.9396}. \quad (4.5)$$

$$W_P(z) = -2.1 + \frac{-0.001238z^{-1} + 0.001237z^{-2}}{1 - 2z^{-1} + 0.9996z^{-2}} + \frac{0.09744z^{-1} - 0.09323z^{-2}}{1 - 1.937z^{-1} + 0.9396z^{-2}} \quad (4.6)$$

За одержаною дискретною передаточною функцією регулятора складаємо різнищеві рівняння:

$$u[n] = u_1[n] + u_2[n] + u_3[n];$$

$$u_1[n] = -2.1x[n];$$

$$u_2[n] = -0.001238x[n-1] + 0.001237x[n-2] + 2u_2[n-1] - 0.9996u_2[n-2];$$

$$u_3[n] = 0.09744x[n-1] - 0.09323x[n-2] + 1.937u_3[n-1] - 0.9396u_3[n-2].$$

Схему програмної реалізації зображено на рисунку 4.1. Де коефіцієнти рівні:

$$a = -2.1; b_1 = -0.001238; b_2 = 0.001237; c_1 = 2; c_2 = -0.9996;$$

$$d_1 = 0.09744; d_2 = -0.09323; e_1 = 1.937; e_2 = -0.9396.$$

Виконаємо ту ж саму процедуру для передаточних функцій (4.2) та (4.3).

Для передаточної функції (4.2):

$$W_p(s) = -2.1458 + \frac{-1.168s - 1.404}{s^2 + 0.3824s + 8.309} + \frac{101.6s + 4527}{s^2 + 62.91s + 2208}. \quad (4.7)$$

$$W_p(z) = -2.1458 + \frac{-0.001168z + 0.001167}{z^2 - 2z + 0.9993} + \frac{0.1006z - 0.09625}{z^2 - 1.937z + 0.939}. \quad (4.8)$$

$$W_p(z) = -2.1458 + \frac{-0.001168z^{-1} + 0.001167z^{-2}}{1 - 2z^{-1} + 0.9993z^{-2}} + \frac{0.1006z^{-1} - 0.09625z^{-2}}{1 - 1.937z^{-1} + 0.939z^{-2}} \quad (4.9)$$

$$u[n] = u_1[n] + u_2[n] + u_3[n];$$

$$u_1[n] = -2.1458x[n];$$

$$u_2[n] = -0.001168x[n-1] + 0.001167x[n-2] + 2u_2[n-1] - 0.9993u_2[n-2];$$

$$u_3[n] = 0.1006x[n-1] - 0.09625x[n-2] + 1.937u_3[n-1] - 0.939u_3[n-2].$$

Для передаточної функції (4.3):

$$W_p(s) = -2.1607 + \frac{-1.039s - 1.086}{s^2 + 1.2s + 23.39} + \frac{103.8s + 4623}{s^2 + 62.91s + 2208}. \quad (4.7)$$

$$W_p(z) = -2.1607 + \frac{-0.001039z + 0.001038}{z^2 - 2z + 0.9988} + \frac{0.1028z - 0.09829}{z^2 - 1.936z + 0.9386}. \quad (4.8)$$

$$W_p(z) = -2.1607 + \frac{-0.001039z^{-1} + 0.001038z^{-2}}{1 - 2z^{-1} + 0.9988z^{-2}} + \frac{0.1028z^{-1} - 0.09829z^{-2}}{1 - 1.936z^{-1} + 0.9386z^{-2}} \quad (4.9)$$

$$u[n] = u_1[n] + u_2[n] + u_3[n];$$

$$u_1[n] = -2.1607x[n];$$

$$u_2[n] = -0.001039x[n-1] + 0.001038x[n-2] + 2u_2[n-1] - 0.9988u_2[n-2];$$

$$u_3[n] = 0.1028x[n-1] - 0.09829x[n-2] + 1.936u_3[n-1] - 0.9386u_3[n-2].$$

Як бачимо з результатів структура різницевого рівняння для всіх трьох регуляторів залишилась незмінною. Це дає можливість використовувати єдиний алгоритм програмної реалізації для кожного регулятора, при цьому в залежності від вибору матеріалу полотна флексографічної машини необхідно лише програмно змінити параметри настроювання цифрового регулятора, які заздалегідь будуть прописані в пам'яті мікроконтролера.

Далі за одержаною схемою програмної реалізації необхідно побудувати регулятор з використанням мікроконтролера.

4.2 Опис принципової схеми регулятора

Цифровий регулятор натягу полотна апаратно реалізовано на мікроконтролері PIC16F873, який здійснює весь процес керування, формування інтерфейсу, виконання аналого-цифрового перетворення, виконання математичних операцій. Мікроконтролер PIC16F873 відноситься до сімейства КМОП мікроконтролерів. Відрізняється тим, що має внутрішні 1К x 14 біт EEPROM для програм, 8-бітові дані і 64байт EEPROM пам'яті даних. При цьому мікроконтролери даного сімейства відрізняються низькою вартістю і високою продуктивністю.

Мікроконтролери даного сімейства мають дуже ефективну систему команд, яка складається з 35 інструкцій. Всі команди складаються із одного слова (шириною 14 біт) і виконуються за один цикл (400 нс при 10 МГц), крім

команд переходу, які виконуються за два цикли (800 нс). PIC16F873 має переривання, яке спрацьовує від чотирьох джерел, і восьмирівневий апаратний стек. Висока швидкість виконання команд досягається за рахунок використання двох шинної Гарвардської архітектури замість традиційної одно шинної Фон – Неймановської. Гарвардська архітектура засновується на наборі регістрів з розділеними шинами та адресним простором для команд і для даних. Набір регістрів означає, що всі програмні об'єкти, такі як порти вводу/виводу, комірки пам'яті і таймер, являють собою фізично реалізовані апаратні регістри. Використання Гарвардської архітектури дозволяє досягти високої швидкості виконання бітових, байтових і регістрових операцій. Крім того, Гарвардська архітектура припускає конвеєрне виконання інструкцій, коли одночасно виконується поточна інструкція і зчитується наступна.

Периферія включає в себе восьмибітний таймер/лічильник з восьмибітним програмуємим попереднім дільником (фактично шістнадцятибітний таймер) і тринадцять ліній двонаправленого вводу/виводу.

До складу пристрою входить датчик положення валу встановлений на об'єкті керування, який перетворює значення температури у величину напруги; логічний, керуючий і сигнальний пристрої, вузол індикації та клавіатури, а також джерела живлення.

За допомогою логічного пристрою відбувається перетворення напруги, яка поступає від датчику положення, і за допомогою логічних операцій по спеціальному алгоритму відбувається формування сигналів для керуючого та сигнального пристроїв, а також для вузла індикації та клавіатури.

Назви виводів мікросхеми та їхнє функціональне призначення приведені в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Назви виводів мікросхеми та їхнє функціональне призначення.

<i>Назва виводу</i>	<i>Призначення виводу</i>
OSC1/CLKIN	Кварцовий резонатор/вхід зовнішнього генератора
OSC2/CLKOUT	Кварцовий резонатор/вихідCLOCKOUT в режимі RC, $\frac{1}{4}$ частоти OCS1
MCLR/V _{pp}	Вхід зовнішнього скиду (активний низький) /вхід напруги програмування
	Двонаправлений порт A
RA0/AN0	Вивід RA0/аналоговий вхід 0
RA1/AN1	Вивід RA1/аналоговий вхід 1
RA2/AN2/V _{REF-}	Вивід RA2/ аналоговий вхід 2/ опорна напруга низького рівня
RA3/AN3/V _{REF+}	Вивід RA3/ аналоговий вхід 3/ опорна напруга високого рівня
RA4/TOCK1	Вивід RA4/ вхід синхронізації модуля нульового таймера, вихід з відкритим стоком
RA5/SS/AN4	Вивід RA5/аналоговий вхід 4/ керування виходом послідовного порту
	Двонаправлений порт B
RB0/INT	Вивід RB0/ вхід зовнішнього переривання
RB1	Вивід RB1
RB2	Вивід RB2
RB3	Вивід RB3
RB4	Вивід RB4/переривання від зміни на контакті
RB5	Вивід RB5/ переривання від зміни на контакті
RB6/PGC	Вивід RB6/ переривання від зміни на контакті
RB7/PGD	Вивід RB7/ переривання від зміни на контакті
RC0/TIOSO/TICK1	Вивід RC0/вихід кварцового резонатора або вхід зовнішнього генератора таймера 1
RC1/TIOSO/CCP2	Вивід RC1/вхід кварцового резонатора таймера 1 або вхід модуля CAPTURE/ вихід COMPARE2/ PWM2
RC2/CCP1	Вивід RC2/вхід CCP1 в режимі порівняння і ШІМ
RC3/SCK/SCL	Вивід RC3/вхід/вихід синхронізації SSP
RC4/SDI/SDA	Вивід RC4/вхід (режим SPI) або вихід (режим I2C) даних модуля SSP
RC5/SD0	Вивід RC5/вихід (режим SPI) даних SSP
RC6/TX/CK	Вивід RC6/ вихід передавача (асинхронний режим) або синхронізація (синхронний режим) USART
RC7/RX/DT	Вивід RC7/ вхід приймача (асинхронний режим) або дані(синхронний режим) USART

Мікроконтролер має наступну структуру: пам'ять програм EEPROM, регістр команд, восьмирівневий стек, мультиплексор адреси, програмний лічильник, декодер команд, три модулі таймерів TMR0, TMR1, TMR2, регістр спеціальних функцій FSR, STATUS, модуль аналого-цифрового перетворювача, арифметично-логічний пристрій АЛП, акумулятор W, сторожовий таймер WDT, таймер запуску генератора PWRT, порти вводу/ виводу A, B, C, мультиплексор.

Даний мікропроцесор має два блоки пам'яті: пам'ять програм та пам'ять даних. Пам'ять програм та пам'ять даних мають окремі шини, які дозволяють організувати послідовний доступ до обох типів пам'яті впродовж одного машинного циклу. PIC16F873 має тринадцяти бітний програмний лічильник, який може адресувати 8×14 пам'яті програм. Вектор скиду знаходиться за адресою 000H, а вектор переривань за адресою 0004H. Пам'ять даних розділена на банки, які містять регістри загального призначення GPR, а також регістри спеціальних функцій FSR. Біти RP1(STATUS<6>) і RP0 є бітами вибору банку. Кожний банк розширений до 128 байтів. Регістри спеціальних функцій розміщені внизу кожного банку. Над регістрами спеціальних функцій розміщені регістри загального призначення виконані як статична ОЗУ. Всі виконані банки містять регістри спеціальних функцій. Крім цього, деякі використовуючі регістри спеціальних функцій одного банку можуть відображатись в інших банках для спрощення програмного забезпечення і швидкого доступу до них.

Сторожовий таймер призначений для запобігання катастрофічних наслідків від випадкових збоїв програми. Він також може бути використаний в додатках, які пов'язані з відліком часу. Ідея використання сторожового таймера полягає у регулярному його скиданні під дією програми або зовнішнього впливу до того, як закінчиться його витримка часу і не відбудеться скид процесора. Якщо програма працює нормально, то команда скиду сторожового таймера повинна регулярно виконуватись, запобігаючи скиду процесора.

Регістри спеціальних функцій є регістрами, які використовує центральний процесор та периферійні модулі для контролю виконання необхідних дій. Ці регістри виконані як статична пам'ять. Регістри спеціальних функцій класифікуються на два види : ті, що відносяться до безпосередньо центрального процесора і периферійні. Регістр STATUS містить інформацію про стан арифметично-логічного пристрою, а також біти вибору банку регістрів пам'яті даних. Регістр STATUS може бути адресований будь-якою командою як будь-який інший регістр.

Якщо регістр STATUS є адресатом для команди, яка модифікує біти z , dc , s , то запис в ці біти не можливий. Вони встановлюються відповідно до результату операції. Крім того, результат операції з регістром STATUS може бути відмінним від вихідного операнду.

Розглянемо принцип функціонування регулятора. Перетворювач опору в напругу виконано на мікросхемі LM324AN . Він складається з генератора стабільного струму (ГСС) на операційному підсилювачі DA1.1 і компенсатора лінії зв'язку на операційному підсилювачі DA1.2, масштабного підсилювача сигналу (МПС) DA1.3 і формувача віртуальної землі (ФВЗ) DA1.4.

Генератор стабільного струму створює вимірюємий струм, який протікає через датчик і викликає падіння напруги пропорційне його опору. Значення вимірюємого струму вибирається, враховуючи наступне. Оскільки перетворювач опору в напругу в цілому представляє собою підсилювач постійного струму (ППС), то для того, щоб знизити вплив дрейфу напруги зміщення операційного підсилювача на результат вимірювання, струм необхідно вибирати якомога більший. Однак цей струм, в свою чергу, обмежений типом чутливого елемента та навантажувальною здатністю операційного підсилювача. За основу генератору стабільного струму обрано прилад, який являє собою підсилювач постійного струму з додатнім зворотним зв'язком і від'ємним зворотним зв'язком. Падіння напруги, створене на датчику струмом генератору стабільного струму поступає на компенсатор лінії зв'язку.

Він являє собою інвертуючий підсилювач. Слід мати на увазі, що провода ліній зв'язку повинні мати однаковий переріз і бути виконаними з однакового матеріалу. Обов'язково, повинні бути однаковими опори резисторів R9 або R13. Значення опору резистора отримують діленням на два опору резистора R9 або R13.

Резистор R11 виконує функцію елемента, підтягуючого до нуля неінвертуючий вхід DA1.2 при обриві лінії зв'язку. Його опір повинен бути в 1000-разів більше опору датчика при максимальному значенні положення вала.

Напруга з виходу компенсатора лінії зв'язку поступає на масштабний підсилювач сигналів DA1.3. Він виконаний за класичною схемою неінвертуючого підсилювача і підсилює сигнал до рівня, необхідного для нормальної роботи аналого-цифрового перетворювача, вбудованого в PIC-контролер. Резистор R21 необхідний для усунення перенавантаження входу аналого-цифрового перетворювача при переході операційного підсилювача в режим насичення, коли напруга на його виході

$$U_{\text{КТЗ}} = U_{\text{жив}} - 1,5\text{В}$$

Апаратно і Інтерфейс користувача складається з шістнадцяти кнопок :

- „0 – 9, * ” – цифри для вводу числової інформації ;
- „Coef” – перехід в режим вводу коефіцієнтів різницевого рівняння;
- „Set” – перехід в режим зміни параметрів;
- „Options” – перехід в режим зміни налаштувань;

Для скорочення числа ліній і спрощення конструкції застосовується динамічна індикація. Регістр зсуву і дешифратор призначені для здійснення динамічної індикації. Принцип якої полягає в наступному. Спочатку на дешифратор подається код 1111. В результаті чого, на всіх його виходах встановлюється рівні логічної одиниці, тому жоден з розрядів індикатора не світиться.

Після цього в регістр заноситься код необхідного символу, після чого на дешифратор подається код, який відповідає потрібному розряду індикатора.

Одночасно з оновленням даних індикатора відбувається сканування клавіатури, шістнадцять кнопок якої розділено на дві групи – по вісім в кожній. Загальні виводи кнопок цих груп підключені до виводів RB6, RB7 мікроконтролера. При натисканні будь – якої клавіші на один з входів подається сигнал логічного нуля з відповідного виходу дешифратора, тим самим визначаючи її код. Тривалість оцінки стану кнопки не перевищує декількох мікросекунд .

Комутація катодів індикаторів забезпечується транзисторами VT1 – VT4. Для подачі сигналу при виході з ладу датчика температури застосовується активний п'єзоелектричний випромінювач. Крім випромінювача він містить підсилювач і генератор сигналу з нормованою частотою. Такий випромінювач не перенавантажує порт мікроконтролера і дає достатньо високий звук.

Формування аналогового сигналу управління порошковою муфтою здійснюється за допомогою модулятора ширини імпульсу, вбудованого в мікроконтролер. Мікроконтролер PIC16F873 має два виходи модулятора ширини імпульсу RC1, RC2. Модулятор ширини імпульсу забезпечує формування серії імпульсів з фіксованою частотою та періодом. Формування форми сигналу здійснюється зміною ширини кожного імпульсу. Широтно–імпульсна модуляція в даному випадку полягає в генеруванні сигналу з програмуємою частотою та шпаруватістю.

Порядок програмування режиму широтно – імпульсного модулятора :

1. установити період широтно – імпульсного модулятора;
2. установити ширину імпульсу;
3. контакти RC1, RC2 сконфігурувати як виходи;
4. установити коефіцієнт попереднього дільника;
5. перевести модуль ССР в режим широтно – імпульсного модулятора

Для формування вихідної напруги пропорційної середньому часу високого рівня використано фільтр низьких частот. Для підсилення цієї напруги до рівня необхідного для формування сигналу керування транзисторними перетворювачами частоти застосовано буферні підсилювачі DA9, DA10.

Джерело живлення включає в себе трансформатор, випрямляючий міст, мікросхемні стабілізатори і фільтруючі конденсатори. Прецизійний термокомпенсований стабілізатор формує зразкову напругу, яка поступає на вивід мікроконтролера, на генератор стабільного струму і формувач віртуальної землі.

Ініціалізація мікроконтролера здійснюється при включенні живлення зовнішнім сигналом по входу MCLR. Після запуску мікроконтролер виконує підпрограми ініціалізації портів A, B, C. Причому контакти порту A RA1, RA3 конфігуруються як входи, а контакти RA4, RA5 конфігуруються як виходи для забезпечення зв'язку мікроконтролера з персональним комп'ютером шляхом встановлення відповідних розрядів в регістрі TRISA; контакти портів B, C конфігуруються як виходи, за допомогою занесення відповідних комбінацій до регістрів TRISB, TRISC відповідно.

Порт A є двонаправленим портом вводу/виводу і має ширину шість бітів. При опитуванні стану виводів порту, відбувається зчитування стану виводів, тоді як запис до порту спричинить запис до регістру-защипки. Вивід RA4 мультиплексований з виводом модуля таймера TMR0 (вивід RA4/TOSC1). Контакт RA4/TOSC на вході має тригер Шмідта, а на виході відкритий сток вихідного транзистора. Всі інші виводи порту мають вхідні буфери TTL, і повні вихідні драйвери КМОП. Після запису даних до регістру порту вводу/виводу вони автоматично з'являються на контактах I/O, звідки ведеться зчитування їх стану. Всі операції запису представляють собою операції читання-модифікація-запис. Тобто запис в порт передбачає, що дані зчитуються з контактів порту, це значення змінюється, а потім записується в регістр даних порту.

Порт B восьми бітний двонаправленим портом вводу/виводу. Встановлення бітів регістру TRISB в одиницю переводить виводи порту в режим високого імпеданса, а запис нуля відкриває вихідні драйвери на обраних контактах. Кожний вивід порту B має слабе внутрішнє підтягування за

допомогою внутрішніх ключів. Вмикання ключів виконується записом “0” в розряд RBPU (OPTION_REG <7>). Ключі автоматично вимикаються, коли контакт порту конфігурується як вивід. Порт C є двонаправленим восьми розрядний порт вводу/виводу. Будь –який розряд можна конфігурувати як вхід або вихід програмуванням регістра TRISC. Контакти порту C мультиплексовані з функціями периферійних пристроїв. На входах порту C встановлені буфери з тригерами Шмідта.

До пам’яті мікроконтролера заносяться з клавіатури значення коефіцієнтів різницевого рівняння.

Процес регулювання температури починається після отримання сигналу від системи дозування про завершення процесу завантаження шоколадної маси до темперуючого циліндру. При цьому на контакті RA4 порту A встановлюється одиниця, а на контакті RA5 встановлюється нуль, одночасно відбувається зміна стану контакту RB7, тобто сигнал на контакті RB7=”1”, якщо відбулось завантаження, і RB7=”0”, якщо процес завантаження ще не завершився. Стан контакту RB7 постійно опитується програмою. Після того, як на контакті RB7 з’явився сигнал логічної одиниці відбувається запуск таймера Timer 0, яким контролюється час операцій охолодження та нагрівання. Модуль таймера 0 – це таймер/ лічильник, який має наступні можливості:

- восьмирозрядний таймер/ лічильник;
- читання і запис лічильника;
- восьмирозрядний програмуємий попередній лічильник;
- вибір зовнішньої або внутрішньої синхронізації;
- переривання по переповненню, перехід від FFH до 00H;
- вибір фронту при зовнішній синхронізації.

Час всього технологічного циклу контролюється таймером Timer 1. Якщо було натиснуто яку-небудь клавішу на клавіатурі, то генерується сигнал переривання по зміні стану на контактах порту B, виконується підпрограма обробки натиснутої клавіші. Крім вказаного вище виду переривання, даний

мікроконтролер має 14 джерел переривання. Регістр контролю переривання (INTCON) містить біти загального і локального переривання. Біт загального переривання GIE містить (INTCON<7>) дозволяє всі (якщо попередньо були встановлені) немасковані переривання. Коли встановлений біт GIE, встановлені ознака і маска переривання, переривання відбувається миттєво. Локальні переривання можуть бути заборонені через встановлення відповідних бітів в регістрах. Локальні переривання встановлюються за допомогою біта GIE. Біт GIE очищується при скиді. Повернення із переривання виконується за допомогою команди RETFIE. Вихід з підпрограми обслуговування переривання встановлює біт GIE при повторному перериванні.

Регістр INTCON містить прапорці, які відповідають за переривання по входах RB0/INT порту В, а також по закінченню циклу таймера TMR0.

Прапорці периферійного переривання містяться в регістрах спеціальних функцій PIR1, PIR2. Відповідні біти встановлення даного виду переривань містяться в регістрах спеціальних функцій PIE1, PIE2. На початку переривання біт GIE скидається і тим самим забороняється будь-яке подальше переривання. Адреса повернення із переривання заноситься в стек, програмний лічильник заноситься адреса 0004H. В підпрограмі обслуговування переривань джерело переривань визначається за допомогою поліngu прапорців бітів. Прапорець переривання бітів повинен бути скинутий перед наступним перериванням.

При зовнішньому перериванні, як наприклад, по виходу INT порту В тривалість стану переривання 3-4 командні цикли.

Після цього відбувається формування керуючих діянь. Починається опитування датчика. Сигнал з датчика через перетворювач опору в напругу, масштабний підсилювач та формувач віртуальної землі поступає на аналого – цифрового перетворювача, вбудованого в контролер. Мікроконтролер має восьмирозрядний модуль аналого – цифрового перетворювача.

Після здійснення перетворення пристрій генерує цифровий результат, який відповідає аналоговому рівневі шляхом виконання послідовної

апроксимації. Результату перетворення відповідає десяти бітна цифрова комбінація. Модуль аналого-цифрового перетворювача має еталонну напругу високого і низького рівня.

Модуль аналого-цифрового перетворювача має можливість працювати навіть тоді, коли процесор перебуває в режимі „SLEEP”. Для роботи в даному режимі лічильник повинен бути встановлений RC-генератором. З модулем аналого-цифрового перетворювача працюють чотири регістри:

- регістри результату ADRESH I ADRESL;
- регістри управління ADCON1 і ADCON0.

Керування роботою модуля аналого-цифрового перетворювача здійснюється регістром ADCON0. За допомогою регістру ADCON1 здійснюється настройка конфігурації виводів порту. Виводи порту можуть бути настроєні як аналогові входи.

Регістри ADRESH I ADRESL вміщують десяти бітний результат аналого-цифрового перетворення. По закінченню аналого-цифрового перетворення результат виконання операції завантажується до даної регістрової пари. При цьому біти GO/DONE регістру ADCON0<2> скидаються і встановлюється прапорець переривання по аналого-цифровому перетворенню, біт ADIF. Перед початком перетворення необхідно обрати потрібний канал, по якому буде здійснюватись аналого-цифрове перетворення. Канали аналогових входів повинні мати відповідно сконфігуровані біти регістру TRISA. Порядок програмування модуля:

1. Установити аналогові входи і джерело (регістр ADCON1)

- вибрати канал, по якому буде здійснюватись аналого-цифрове перетворення (ADCON0)
- джерело синхронізації (регістр ADCON0)
- виконати запуск модуля аналого-цифрового перетворення (ADCON0)

2. Виконати настройку переривання від аналого-цифрового перетворювача, якщо необхідно:

- скинути біт ADIF
- встановити біт ADIE
- встановити біт GIE

3. Витримати час для пристрою вибірки/зберігання.

4. Для початку перетворення встановлюємо біти GO/DONE регістру ADCON0.

5. По закінченні часу потрібного для виконання аналого-цифрового перетворення скинути біт GO/DONE або після переривання по входам аналого-цифрового перетворення.

6. Результат виконання аналого-цифрового перетворення знаходиться в регістровій ADRESH I ADRESL, при необхідності виконати скид біту ADIF.

Скид біту GO/DONE впродовж перетворення викликає переривання поточного перетворення. Вміст регістрів результату не поновлюється при недовиконаному перетворенні, таким чином регістри ADRESH I ADRESL продовжують зберігати значення результату останнього перетворення (або останнього записаного в ці регістри значення). Якщо до регістрової пари ADRESH I ADRESL не записаний результат аналого-цифрового перетворення, то дана регістрова пара може використовуватись як регістри загального призначення.

Час виконання перетворення по кожному біту визначається як T_{AD} . Для десяти бітного перетворення необхідно мінімум $12T_{AD}$. Для правильного виконання аналого-цифрового перетворення необхідно, щоб T_{AD} дорівнювало $1.16\mu s$. Регістри ADCON1 I TRIS контролюють настройку виводів аналого-цифрового перетворення порту. Виводи порту, які визначаються як аналогові, повинні мати встановлені відповідні біти регістру TRIS настроєні на ввід. При скиді біту в регістрі TRIS відбувається зміна рівня на протилежний. Для забезпечення точності перетворення необхідно повністю зарядити конденсатор зберігання C_{HOLD} напругою вхідного сигналу. Час аналого-цифрового перетворення одного розряду T_{AD} . Повне восьмирозрядне аналого-цифрове перетворення виконується за $9,5 T_{AD}$.

Висновки

1. Під час виконання магістерської роботи було проаналізовано об'єкт регулювання та визначена його передаточна функція.
2. З проведених експериментальних досліджень була визначена спектральна щільність експлуатаційних впливів на натяг полотна.
3. Була визначена структура системи автоматичного регулювання натягу полотна, в якості датчика було обрано магнітний датчик лінійних переміщень, в якості виконавчого механізму обрано електромагнітну порошкову муфту.
4. Проведений синтез оптимального регулятора, на основі якого одержано набір регуляторів для різних типів полотна та різних значень вагового коефіцієнту.
5. Проведений аналіз якості регулювання, в результаті встановлення регулятора середньоквадратичне відхилення коливного вала зменшилось в 16 разів. Також визначено необхідність розробки системи з можливістю вибору закону регулювання в залежності від типу полотна.
6. За допомогою моделювання роботи системи автоматичного регулювання натягу полотна було визначено вплив зміни радіуса вала розмотки на середньоквадратичне відхилення коливного валу, в результаті середньоквадратичне відхилення не перевищує 0.3 мм.
7. Економічна ефективність складає 2129 грн., а термін окупності становить менше двох років.

Список літератури

1. Дж. Пейдж Крауч. Основы флексографии. – М.: Московский государственный университет печати, 2004. – 180 с.
2. Флексографские краски: комплексный подход / Пер. с англ. — Киев: Украинская Флексографская Техническая Ассоциация, 2000. — 156 с.
3. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: Підручник. – К.: Либідь, 1997. – 544 с
4. Бородин И.Ф., Недилько Н.М. Автоматизация технологических процессов.- М.:Агропромиздат,1991.-396 с.
5. Бородин И.Ф. Технические средства автоматики.-М.:Колос,1982.-303 с.
6. Горшков Б.И. Радиоэлектронные устройства: Справочник.-М.:Радио и связь,1984.-400 с.
7. Губський А.І. Цивільна оборона.-К.:Міністерство освіти, 1995.-231 с.
8. Защита объектов народного хозяйства от оружия массового поражения: Справочник/Г.П.Демиденко, Е.П.Кузьменко, П.П.Орлов и др.; Под ред. Г.П.Демиденко.-К.:Выща школа, 1989.-287 с.
9. Довідник по автоматизації с/г виробництва //За ред. І.І. Мартиненка.- К.:Урожай,1985.-212 с.
10. Мартыненко И.И. Автоматика и автоматизация производственных процессов.-М.:Агропромиздат,1985.-208 с.
11. Мартыненко И.И., Лысенко В.Ф. Проектирование систем автоматики.- 2е изд., перераб. и доп.-М.:Агропромиздат,1991.-243с.
12. Мартыненко И.И., Тищенко Л.П. Курсовое и дипломное проектирование по комплексной электрификации и автоматизации.- М.:Колос, 1978.-224 с.
13. Монтаж приборов и средств автоматизации: Справочник / К.А. Алексеев, В.С. Антипин, Г.С. Борисова и др./Под ред. А.С. Ключева.- М.:Энергия,1979.-213 с.

14. Проектирование систем автоматики технологических процессов: Справочное пособие /А.С. Ключев,Б.В. Глазов, А.Х. Дубровский, А.А. Ключев; Под ред. А.С. Ключева. 2-е изд.,перераб. и доп.-М: Энергоатомиздат,1990.-464 с.
15. Романенко В.Д. Методи автоматизації прогресивних технологій.-К.:Вища школа,1995.-519 с.
16. Стеклов В.К. Проектування систем автоматичного керування.-К.:Вища школа,1995.-231 с.
17. Щербаков В.И., Грездов Г.И. Электронные схемы на операционных усилителях: Справочник.-К.:Техніка,1983.-213 с,
18. Быстров Ю.А. и др. Сто схем с индикаторами /Ю.А. Быстров, А.П.Гапунов, Г.М. Персианов.-М.:Радио и связь,1990.-112 с.
19. Иванов В.И. и др. Полупроводниковые оптоэлектронные приборы: Справочник.-М.:Радио и связь, 1989.-259 с.
20. Шило В.Л. Популярныe цифровые микросхемы: Справочник.- 2-е изд., исправленное.-М.:Радио и связь, 1989.-352 с.
21. Дьяконов В., Круглов В. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2002. – 448 с.:ил.
22. Ф.А. Алиев, В.Б. Ларин, К.И. Науменко, В.Н. Сунцев. Оптимизация линейных инвариантных во времени систем управления. К., «Наук. думка», 1978 327 с.
23. В.С. Поляков, И.Д. Барбаш, О.А. Ряховский. Справочник по муфтам / Под ред. В.С. Полякова. 2–е изд., искр.и доп. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1979. – 344 с., ил.

Додаток А. Охорона праці

А.1 Законодавчі та нормативні акти з питань охорони праці.

Сучасний розвиток науки та техніки привносить принципові нововведення у всі сфери матеріального виробництва, суттєво змінюючи технологічні процеси та використовувані матеріали, предмети та знаряддя праці. В свою чергу зміни технології та устаткування призводять до трансформації умов праці та трудового процесу в цілому. Тому при розробці нової техніки, технологічних процесів, організації виробництва необхідно провести науковий аналіз можливих небезпечних та шкідливих виробничих факторів та розробити заходи і засоби, спрямовані на мінімізацію їх несприятливого впливу на працюючу людину.

Правовою основою законодавства щодо охорони праці є Конституція України, Закони України: „Про охорону праці”, „Про охорону здоров'я”, „Про пожежну безпеку”, „Про використання ядерної енергії та радіаційний захист”, „Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення”, „Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності”, а також Кодекс законів про працю України (КЗпП).

В ст. 43 Конституції України записано: „Кожен має право на працю, що включає можливість заробляти собі на життя працею, яку він вільно обирає, або на яку вільно погоджується”, „Кожен має право на належні, безпечні і здорові умови праці, на заробітну плату, не нижчу від визначеної законом”, „Використання праці жінок і неповнолітніх на небезпечних для їхнього здоров'я роботах забороняється”.

Кожен, хто працює, має право на відпочинок (ст. 45 Конституції України). Це право забезпечується наданням днів щотижневого відпочинку, а також оплачуваної щорічної відпустки, встановленням скороченого робочого

дня щодо окремих професій і виробництв, скороченої тривалості роботи у нічний час.

У тексті ст. 46 Конституції України вказано на те, що громадяни мають право на соціальний захист, що включає право на забезпечення їх у разі повної, часткової або тимчасової втрати працездатності, втрати годувальника, безробіття з незалежних від них обставин, а також у старості та в інших випадках, передбачених законом.

Основоположним законодавчим документом в галузі охорони праці є Закон України „Про охорону праці”, дія якого поширюється на всі підприємства, установи і організації незалежно від форм власності та видів їх діяльності, на усіх громадян, які працюють, а також залучені до праці на цих підприємствах.

Верховна Рада України 14 жовтня 1992 року прийняла Закон України “Про охорону праці”. Цей Закон визначає основні положення щодо реалізації конституційного права громадян про охорону їх життя і здоров’я в процесі трудової діяльності, регулює за участю відповідних державних органів відносини між власником підприємства, установи і організації або уповноваженим ним органом і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

До позитивних моментів Закону України „Про охорону праці” безперечно належить закріплення за державою функції управління охороною праці. У колишньому СРСР ця функція була покладена на громадську організацію в особі профспілок.

В умовах роздержавлення, приватизації, утворення великої кількості суб’єктів підприємницької діяльності з різними формами недержавної власності роль держави у вирішенні завдань охорони праці суттєво зростає. Держава виступає гарантом створення безпечних та нешкідливих умов праці для працівників підприємств, установ, організацій усіх форм власності.

Закон України “Про пожежну безпеку” визначає загальні правові,

економічні та соціальні основи забезпечення пожежної безпеки на території України, регулює відносини державних органів, юридичних і фізичних осіб у цій галузі незалежно від виду їх діяльності та форм власності.

У Законі України “Про використання атомної енергії та радіаційну безпеку” основні принципи державної політики, права і обов’язки громадян у галузі використання атомної енергії та радіаційної безпеки.

В системі законодавства щодо охорони здоров’я та гігієни праці ключове місце займає Закон України “Про охорону здоров’я”. Він передбачає розробку та здійснення адміністрацією підприємств санітарних та протиепідемічних заходів; здійснення в необхідних випадках лабораторного контролю за дотриманням вимог санітарних норм стосовно рівнів шкідливих факторів виробничого середовища; формування органів та установ державної санепідеміологічної служби при надзвичайній події та ситуації, що становлять небезпеку для здоров’я населення; відшкодування в установленому порядку працівникам громадянам збитків, яких завдано їх здоров’ю в результаті порушення санітарного законодавства.

У Законі України “Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення” описані основні санітарно-епідеміологічні норми, правила дії у випадках епідемій.

Складовою частиною права в галузі гігієни праці є постанови та положення (норми) затверджені Міністерством охорони здоров'я України (наприклад “Положення про медичний огляд працівників певних категорій”, “Перелік важких робіт і робіт з шкідливими і небезпечними умовами праці, на яких забороняється застосування праці неповнолітніх”), санітарні правила і норми (Сан ПіН) стосовно окремих факторів виробничого середовища, певних технологічних процесів і конкретних виробництв та інші нормативні документи.

Враховуючи міжнародний досвід був розроблений та набув чинності з 1 січня 2001 року Закон України “Про загальнообов’язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного

захворювання, які спричинили втрату працездатності”. Цей Закон гарантує право громадян на соціальний захист, яке проголошується Конституцією України (ст. 46), зокрема в разі повної, часткової або тимчасової втрати працездатності. Окрім того, він створює правове поле, фінансові й організаційні механізми для успішного розв’язання триєдиного завдання: запобігання нещасним випадкам і професійним захворюванням, відновлення здоров’я та працездатності потерпілих на виробництві, компенсації потерпілим матеріальних збитків внаслідок ушкодження здоров’я.

Державні нормативні акти про охорону праці (ДНАОП) - це правила, стандарти, норми, положення, інструкції та інші документи, яким надано чинність правових норм, обов’язкових для виконання. Законодавством передбачено, що залежно від сфери дії ДНАОП можуть бути міжгалузевими або галузевими.

Державний міжгалузевий нормативний акт про охорону праці - це ДНАОП загальнодержавного користування, дія якого поширюється на всі підприємства, установи, організації народного господарства України незалежно від їх відомчої (галузевої) належності та форм власності.

Державний галузевий нормативний акт про охорону праці - це ДНАОП, дія якого поширюється на підприємства, установи і організації незалежно від форм власності, що відносяться до певної галузі.

ДНАОП необхідно відрізняти від відомчих документів про охорону праці (ВДОП), які можуть розроблятися на їх основі і затверджуватися міністерствами, відомствами України або асоціаціями, концернами та іншими об’єднаннями підприємств з метою конкретизації вимог ДНАОП залежно від специфіки галузі.

Державні стандарти Системи стандартів безпеки праці (ТОСТ ССБТ) колишнього СРСР застосовуються на території України до їх заміни іншими нормативними документами, якщо вони не протирічать чинному законодавству України.

Вимоги щодо охорони праці регламентуються також державними стандартами України з питань безпеки праці, будівельними та санітарними нормами і правилами, правилами улаштування електроустановок (ПУЕ), нормами технічного проектування та іншими нормативними актами, виходячи із сфери їх дії.

А.2 Шкідливі та небезпечні фактори виробництва

В даний час аналізу і вивченню небезпечних і шкідливих виробничих факторів приділяється велика увага, тому що вони в значній мірі впливають на людину і отже, від поліпшення умов праці і підвищення безпеки, буде багато в чому залежати ефективність трудової діяльності, що, в свою чергу, відображається на:

- продуктивності праці;
- собівартості продукції, що випускається;
- якості виробів;
- науково-технічних і лабораторних результатів.

Абсолютно безпечних і нешкідливих пристроїв не існує. Задача безпеки життєдіяльності – звести до мінімуму ймовірність ураження чи захворювання працівників з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці.

Небезпечним виробничим фактором називається такий фактор, вплив якого на працюючого у визначених умовах, приведе до травматизму чи іншого раптового погіршення здоров'я.

Шкідливим виробничим фактором називається такий фактор, вплив якого на працюючого у визначених умовах, приведе до професійного захворювання або зниження працездатності.

Між небезпечним і шкідливим фактором часто не можна провести границі. Той самий фактор може привести до випадку, результатом якого є травма, ушкодження тканин організму чи професійного захворювання.

Відповідно до ДСТ 12.1.007-76 небезпечні і шкідливі фактори підрозділяються по своїй дії на наступні групи:

- а) фізичні;
- б) хімічні;
- в) біологічні;
- г) психофізіологічні.

Відзначимо ті виробничі фактори, що можуть стати причиною нещасного випадку, травми або спричинити зниження працездатності, чи професійне захворювання працівника.

Фізично-небезпечні фактори можна підрозділити на такі групи:

- рухомі машини і механізми;
- незахищені рухомі елементи виробничого обладнання;
- вироби, що пересуваються;
- підвищене значення напруги в електричному колі, замикання якого може відбутися через тіло людини.

Фізично-шкідливі фактори можна підрозділити на наступні групи:

- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень електромагнітних випромінювань;
- відсутність чи недостатність природного світла;
- недостатня освітленість робочого місця;
- знижена контрастність.

Також велике значення мають природні фактори, які залежать від місцевості, у якій знаходяться виробничі приміщення, пори року, часу доби і метеорологічних умов.

Захист від цих факторів повинен бути закладений у проекті і коректуватися в процесі експлуатації.

Уникнути нещасних випадків, причиною яких можуть стати вищеперераховані фактори, можливо використовуючи спеціальні кожухи, що встановлюються на робочі органи машин і механізмів, а також загородження, що перешкоджають проникненню людини в небезпечну зону.

А.3 Заходи по зменшенню та усуненню впливу шкідливих та небезпечних факторів

Безпечність виробничого устаткування – це властивість виробничого устаткування відповідати вимогам безпеки праці під час монтажу (демонтажу) і експлуатації в умовах, установлених нормативною документацією.

Загальні вимоги виробничого устаткування визначені ГОСТ 12.2.00-91. Відповідно до цього нормативного документа безпечність виробничого устаткування забезпечується правильним вибором принципів дії, конструктивних схем, елементів конструкції; використанням засобів механізації, автоматизації та дистанційного керування; застосуванням у конструкції засобів захисту; дотриманням ергономічних вимог; включенням вимог безпеки в технічну документацію з монтажу, експлуатації; ремонту; транспортування та зберігання устаткування; використанням у конструкції устаткування безпечних та нешкідливих матеріалів.

Заходи по оптимізації параметрів мікроклімату та складу повітря робочої зони. Одним з основних заходів по оптимізації параметрів мікроклімату та складу повітря в виробничих приміщеннях являється забезпечення належного обміну повітря.

Загальнообмінна вентиляція повинна розроблятися таким чином, щоб виключалася можливість надходження повітря із приміщення з більшими пилоутвореннями в приміщення з меншим виділенням пилу.

Заходи по раціональному розрахунку освітлення. Для запобігання шкідливих результатів недостатнього освітлення необхідна наявність раціонального освітлення приміщень та робочих місць. При проектуванні природного та штучного освітлення в виробничих та допоміжних будівлях та приміщеннях, а також штучного освітлення на території підприємства необхідно враховувати вимоги будівельних норм та правила по проектуванню природного та штучного освітлення, а також вимоги галузевих норм проектування освітлення, розроблених та затверджених у відповідності із встановленим порядком.

Захист від впливу електромагнітних полів. Для захисту персоналу від впливу електромагнітних полів використовують різноманітні способи та засоби. Зменшують напруженість та густину потоку електромагнітного випромінювання; екранують робочі місця; віддаляють робочі місця від джерела електромагнітного поля; раціонально розміщують в робочому приміщенні обладнання, що випромінює електромагнітну енергію; встановлюють раціональні режими роботи обладнання та обслуговуючого персоналу; застосовують засоби попереджувальної сигналізації, засоби індивідуального захисту.

Заходи по захисту від електротравматизму. Заходи по захисту забезпечують недоступність струмоведучих частин для випадкового дотику; понижена напруга; заземлення та занулення установок; автоматичне відключення; індивідуальний захист та інше [17].

При проектуванні устаткування необхідно враховувати умови його експлуатації з тим, щоб при дії на нього вологи, сонячної радіації, механічних коливань, високих та низьких тисків і температур, агресивних речовин і т. п. Устаткування не ставало небезпечним.

Для того, щоб запобігти виникненню небезпеки при раптовому вимкненні джерел енергії всі робочі органи, а також пристрої, які використовуються для захоплення, затискування та підймання заготовок, деталей виробів, тощо, повинні оснащуватись спеціальними захисними пристосуваннями. Причому необхідно унеможливити самовільне вмикання робочих органів при відновленні подачі енергії.

Конструкції устаткування повинна забезпечувати захист людини від ураження електричним струмом, запобігати накопиченню статичної електрики в небезпечних кількостях. Устаткування повинно бути оснащене засобами сигналізації про порушення нормального режиму роботи, а в необхідних випадках (аваріях, небезпечних пошкодженнях, режимах близьких до небезпечних) – засобами автоматичної зупинки, гальмуванні та вимкненні від джерела енергії.

Боротьба із шумом і вібраціями повинна починатися з раціонального конструювання верстатів і устаткування. До конструктивних і технологічних заходів відносяться:

Зменшення вібрацій і шуму в джерелі їх утворення шляхом зрівноважування обертових мас; застосування матеріалів, що володіють здатністю поглинати коливальну енергію тощо.

Зменшення вібрацій і шуму по шляху поширення засобами віброізоляції і вібропоглинання шляхом застосування гумових амортизаторів, прокладок, а також шумо- і віброгасителів.

Сумарний час контакту з вібруючими поверхнями не повинен перевищувати $2/3$ тривалості робочого дня.

Для захисту персоналу від шуму необхідно провести розрахунок звукопоглинальних засобів у виробничому приміщенні.

А.4 Розрахунок звукопоглинальних засобів у виробничому приміщенні, де встановлена друкарська флексографічна машина

Розрахунок звукопоглинальних засобів у приміщеннях. Необхідність акустичної обробки приміщень виникає на діючих підприємствах та в процесі проектування підприємств і цехів.

У виробничому приміщенні довжиною 55 м, шириною 20 м та висотою 3,5 м встановлено 20 верстатів на $1/3$ площі цеху. Об'єм цеху — 3850 м^3 , площа стін — 525 м^2 , стелі — 1100 м^2 , підлоги — 1100 м^2 . Загальна площа огорожувальних поверхонь — 2725 м^2 .

В розрахунковій точці, віддаленій від найближчих верстатів на 10 м, відомо спектр звукового тиску (табл. А.1 [1]).

Таблиця А.1 – Спектр звукового тиску в розрахунковій точці

Середньгеометрична частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Рівень звукового тиску, дБ	78	78	84	82	86	81	77	73

Розрахункова точка знаходиться на віддалі $r > r_{гр}$ від найближчого верстата ($r_{гр} = 9,2$ м).

Необхідно вибрати конструкцію звукопоглинального личкування та визначити ілічину зниження рівнів звукового тиску.

Нижче наводиться послідовність розрахунку.

1. Визначається значення необхідного зниження РЗТ ALH в розрахункових точках приміщення.

Необхідне зниження рівнів звукового тиску в розрахунковій точці від одного джерела шуму визначається як різниця очікуваного рівня звукового тиску в розрахунковій точці до реалізації заходів щод зменшення шуму L та $L_{доп}$

$$\Delta L_H = L - L_{доп}, \text{ дБ} \quad (\text{A.1})$$

Акустична ефективність використання засобів звукопоглинання досягається, коли ΔL_H не перевищує 5—8 дБ в середньо- та високочастотному діапазонах частот. В протилежному випадку вдаються до використання засобів звукоізоляції та глушників шуму.

2. Для експлуатованого приміщення, що має об'єм V , м^3 , експериментально визначається еквівалентна площа звукопоглинання цього приміщення A , м^2 , за результатами вимірювання часу реверберації T , сек.

$A = 0.161 \frac{V}{T}$. Визначають середній коефіцієнт звукопоглинання $\alpha = \frac{A}{S_{огор}}$ та

постійну приміщення $B = \frac{A}{1 - \alpha}$. Менш точно цю величину можна визначити розрахунковим методом.

3. Визначається можлива площа звукопоглинального личкування $S_{плт}$. Звукопоглинальні плити переважно розташовують на стелі та на частині стін приміщення. Площа личкування повинна складати не менше 30—50% загальна площі огорожувальних поверхонь $S_{огор}$. В низьких приміщеннях (висотою менше 5—6 м), але великої площі, личкування звукопоглиначами передбачається лише на

стелі, а у вузьких та високих приміщеннях — на стінах. Нижня частина стін (до 2 м) залишається вільною. Використання звукопоглинального личкування дозволяє досягти акустичного ефекту лише за малого значення вихідної величини A .

Конструкція звукопоглинального личкування повинна мати високий коефіцієнт звукопоглинання в діапазоні частот 250—8000 Гц. Тому [для личкування цеху вибираємо конструкцію, наведену в табл. 4.22 — плити ПАНераловатяні плоскі самонесучі офактурені. Знаходимо значення постійної B для приміщення об'ємом 3850 м^3 і за формулою (*) визначаємо величину очікуваного зниження рівнів звукового тиску в цій точці після личкування звукопоглиначем стелі ($S_{\text{лич}} - 1100 \text{ м}^2$). Розрахунок зводимо в табл. А.2

4. З врахуванням гігієнічних вимог, умов пожежної безпеки та залежне від призначення приміщення і умов експлуатації вибирають конструкції личкування.

Звукопоглинальні личкування, виконані у вигляді підвісних стель, поряд з виконанням функції звукопоглинання, можуть бути використані для розташування світильників, повітророзподільних вентиляційних пристроїв та інженери комунікацій.

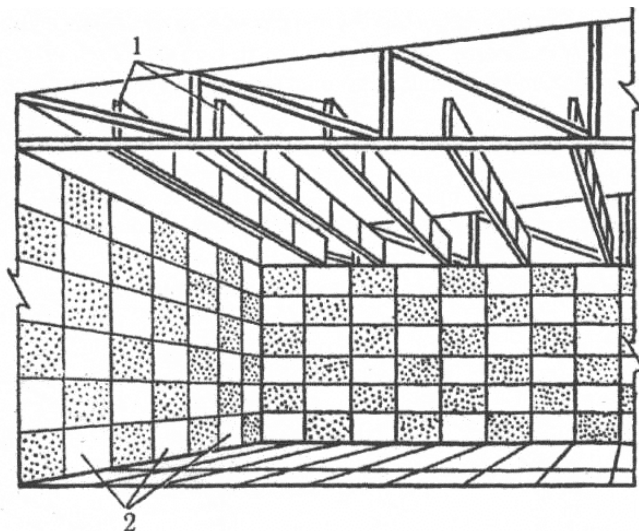


Рисунок А.1 – Звукоізоляція цеху личкуванням різного типу:

1 - акустичні балки в міжфермному просторі; 2 - звукопоглинальні щити,
3 - розташовані в шаховому порядку

Частотна характеристика коефіцієнта звукопоглинання личкування алич повинна бути близькою до частотної характеристики необхідного зниження шуму і мати максимальне значення для найбільших значень ΔA_H .

5. Визначають необхідну площу личкування $S_{\text{лич}}$. Якщо її величина виявиться більшою, ніж площа, можлива для личкування в даному приміщенні, то в якості проектної необхідно прийняти максимально можливу. Нестачу звукопоглинання можна компенсувати використанням штучних звукопоглиначів. Кількість штучних звукопоглиначів для кожної октавної смуги частот визначається за

формулою
$$n_{\text{шт}} = \frac{\Delta A_H - \alpha_{\text{лич}} S_{\text{лич}}}{A_{\text{шт}}}.$$

Таблиця А.2 – Результати розрахунку зниження звукового тиску

Величина, що визначається	одиниця вимірювання	Середньгеометрична частота октавної смуги, Гц							
		63	125	250	500	1000	200	4000	8000
1. $L_{\text{доп}}$ (з табл. 4.6 [17])	дБ	94	87	82	78	75	73	71	70
2. L (табл. 4.25 [17])	дБ	78	78	84	82	83	81	11	73
3. ΔL ((2)-(1))	дБ	—	—	2	4	8	8	6	3
4. B_{1000} (рис. 4.3)	м ²	—	—	—	—	350	—	—	—
5. μ (табл. 4.4)	—	0,5	0,5	0,55	0,7	1	1,6	3	6
6. $B = \mu B_{1000}$	м ²	175	175	192	254	350	560	1050	210
7. S	м ²	2725	2725	2725	2725	2725	2725	2725	2725
$S \cdot B / S$	—	0,06	0,06	0,07	0,09	0,13	0,2	0,39	0,7
9. $B / S + 1$	—	1,06	1,06	1,07	1,09	1,13	1,2	1,39	1,771
10. $A = BS / (B + S)$	м ²	165	165	180	233	310	466	757	1190 ;
11. $\alpha = A / S$	—	0,06	0,06	0,066	0,085	0,118	0,171	0,278	0,4
12. $\alpha_{\text{лич}}$ (табл. 4.22)	—	0,5	0,7	0,85	0,93	0,98	0,95	0,84	0,81
13. $\Delta A = \alpha_{\text{лич}} S_{\text{лич}}$	м ²	550	770	935	1023	1078	1045	924	867
14. $A_1 = \alpha (S - S_{\text{лич}})$	м ²	98	98	107	138	192	278	452	710
15. $A_1 + \Delta A$	м ²	648	868	1042	1161	1278	1323	1376	1597
16. $\alpha_1 = (A_1 + \Delta A) / S$	—	0,24	0,31	0,39	0,43	0,47	0,49	0,5	0,55
17. $1 - \alpha_1$	—	0,76	0,69	0,62	0,57	0,53	0,51	0,5	0,4
18. $B_1 = (A_1 + \Delta A) / (1 - \alpha_1)$	м ²	853	1258	1681	2037	2411	2594	2752	3786
19. B_1 / B	—	4,8	7,2	8,8	8,1	6,9	4,6	2,6	1,8
20. $\Delta L = 10 \lg B_1 / B$	дБ	6,8	8,6	9,4	9,1	8,4	7,9	7,2	2,6

Найбільше зі значень $n_{шт}$ отриманих за результатами розрахунку для кожної октавної смуги частот, приймається в якості проектного. Якщо штучні звукопоглиначі застосовуються замість звукопоглинального лічкування, то їх

кількість визначається формулою
$$n_{шт} = \frac{\Delta A_H}{A_{шт}}$$
 При влаштуванні лише лічкування можна також задатись величиною $S_{лич}$ визначити зниження РЗТ за формулою (5.1), - яке повинне відповідати умові $\Delta L \geq \Delta L_H$

Використання для акустичної обробки цеху звукопоглинальних плит забезпечує зниження рівнів відбитого звуку, а рівні звукового тиску в контрольній точці не перевищують допустимих величин.

Додаток Б Техніко – економічне обґрунтування

Б.1 Характеристика виробу

В ході розробки магістерської роботи була розроблена система регулювання натягу полотна флексографічної машини ПФО-45. В базовому варіанті натяг полотна регулювався вручну друкарями. Це значно впливало на якість продукції. Система регулювання складалася з магніточутливого датчика переміщення, регулятора побудованого на мікроконтролері, та в якості виконавчого механізму було обрано електромагнітну порошкову муфту. Використання даної системи регулювання дозволяє зменшити відсоток браку при виготовленні продукції, підвищити надійність роботи друкарської машини та підвищити якість продукції, що грає досить важливу роль в сучасних умовах ринкової економіки. Також впровадження даної системи звільнить друкаря від слідкування за натягом полотна і дасть можливість контролювати інші процеси під час роботи флексографічної машини.

Таблиця Б.1 – Технічні характеристики виробу

Показники, їх одиниці вимірювання	Позначення	Величина за вартостями	
		базовим	новим
Річний об'єм випуску, шт.	N_H	10	10
Нормативний строк служби, років	$T_{сл}$	10	10
Кількість відмов за рік	n_B	8	5
Кількість годин відновлення після однієї відмови	t_B	2	1
Процент технологічного браку матеріалів	Б	5	2
Споживана потужність, кВт	М	0,5	0,4

Б.2 Витрати на виконання науково–дослідних та дослідно–конструкторських робіт

Витрати на проведення науково–дослідних та дослідно–конструкторських робіт є складовою частиною капітальних вкладень, які передбачаються для виготовлення або модернізації систем.

Таблиця Б.2 – Трудомісткість виконання науково–дослідних та дослідно–конструкторських робіт

Статті витрат та зміст робіт	Трудомісткість в людино-днях
Постановка задачі, збір інформації, формулювання технічного завдання	1
Аналіз діючої системи, виявлення недоліків, розробка заходів по її модернізації.	1
Розробка ескізного проекту та блок – схем	0,5
Розробка принципових електричних схем, виконання розрахунків.	2
Розробка друкованих плат та монтажних схем	1,5
Складання специфікацій та розробка робочої документації	1,5
Всього витрат часу	7,5

На основі трудомісткості робіт розраховуємо плановий фонд заробітної плати для проведення наукових досліджень :

$$З_{нд} = T_{нд} \cdot O_{нд} \cdot (1 + 0,01 \cdot H_{д})(1 + 0,01 \cdot H_{с}),$$

де $O_{нд}$ – середньоденний оклад конструктора ($O_{нд} = 300$ грн.);

$H_{д}$ – відсоток додаткової зарплати (15%);

$H_{с}$ – норматив відрахувань у соціальні фонди (22%)

$$З_{нд} = 7,5 \cdot 300 \cdot (1 + 0,01 \cdot 15) \cdot (1 + 0,01 \cdot 22) = 3157 \text{ грн.}$$

Витрати на наукові відрядження становлять 40 % від заробітної плати:

$$В_{нд} = 3157 \times 0,4 = 1263 \text{ грн.}$$

Загальногосподарські витрати становлять 20 % від заробітної плати:

$$Н_{ак} = 3157 \times 0,2 = 631 \text{ грн.}$$

Величина витрат по кожній статті кошторису НДДКР визначається методом прямого розрахунку і заноситься до таблиці Б.3.

Таблиця Б.3 – Кошторис витрат на виконання НДДКР

Найменування статей	Позначення	Величина, грн.
Матеріали, купівельні вироби та напівфабрикати	Мнд	2400
Спеціальне обладнання	Онд	300
Заробітна плата науково-виробничого персоналу	Знд	3157
Витрати на наукові відрядження	Внд	1263
Послуги сторонніх організацій	Пнд	1000
Загальногосподарські витрати	Нак	631
Всього	Кнд	8751

Б.3 Розрахунок матеріальних витрат

Матеріальні витрати (основні і допоміжні матеріали, покупні і комплектуючі вироби) розраховуються в залежності від застосування і норм витрат на один прилад з урахуванням додаткових витрат на транспортно-заготівельні операції.

Результат зводимо в таблицю Б.4.

Таблиця Б.4 – Матеріальні витрати

Найменування витрат	Позначення	Норма витрат	Вартість одиниці	Затрати на один виріб
1. Основні матеріали				
Склотекстоліт	Мо	1	15	15
Сентетичні матеріали		1	5	5
Кабельні матеріали		5	15	75
Всього				95
2. Покупні матеріали				
Радіодеталі, мікросхеми	Мп	26	40	1040
датчик ММТ		1	380	380
муфта МПБ-40-2		1	1200	1200
Всього				2620
3. Допоміжні матеріали				
припій	Мд	2	13	26
каніфоль		1	14	14
розчинник		5	8	40
Всього				80
4. Зворотні відходи				
Всього				67

Розрахуємо витрати на матеріали з урахуванням ТЗВ:

$$M_o = \sum_1^n M_{oi} \cdot K_{mз} = 95 \cdot 1,2 = 114 \text{ грн.},$$

де M_{oi} – витрати на матеріали по i -позиції;

$K_{тз}$ – коефіцієнт транспортно-заготівельних витрат.

Витрати на покупні вироби розраховуються за формулою:

$$M_n = \sum_1^n M_{ni} \cdot K_{mз} = 2620 \cdot 1,2 = 3144 \text{ грн.}$$

Визначаємо витрати на допоміжні матеріали за формулою:

$$M_{\epsilon} = \sum_1^n M_{\epsilon i} \cdot K_{mз} = 80 \cdot 1,2 = 96 \text{ грн.}$$

Величини зворотних відходів складають 2% матеріальних витрат

$$B_{зв} = (M_o + M_{\epsilon} + M_n) \cdot 2 \div 100 = 3354 \cdot 2 \div 100 = 67 \text{ грн.}$$

Витрати на паливо і енергію для технологічних цілей визначаються з урахуванням витрачання електроенергії для регулювання і випробовування приладу під навантаженням

$$T_{ел} = (M \div 1000) (T_{ісп} + T_{рег}) \cdot C_{ел} = 400 \div 1000 \cdot (0,6 + 0,45) \cdot 2,2 = 0,9 \text{ грн.,}$$

де М – потужність системи, Вт;

$T_{рег}$, $T_{ісп}$ – норма часу для регулювання і випробовування приладу під навантаженням;

$C_{ел}$ – ціна 1кВт·год електроенергії.

Б.4 Планування заробітної плати

Розрахунок зарплати по виготовленню приладу виконується з урахуванням трудомісткості робіт, часових тарифних ставок, а також нормативів доплат до заробітної плати. Основні дані по заробітній платі наведені в таблиці Б.5.

Таблиця Б.5 – Основні дані по основній заробітній платі

Види робіт	Годинна тарифна ставка, Чтс	Норма трудомісткості годин	Оплата по тарифу
1. Заготівельні	26	1	26
2. Механообробні	32	2	64
3. Складальні	33	2	66
4. Регулювальні	35	4	140
Всього по виробу		9	296

Витрати на основну заробітну плату за виконання даного виду робіт

$$O_3 = \Gamma_3 \cdot T_3,$$

де O_3 – основна заробітна плата (оплата по тарифу) робітників заготівельної стадії;

Γ_3 – часова тарифна ставка робочого заготівельної стадії;

T_3 – трудомісткість робіт заготівельної стадії, годин.

Основна заробітна плата за виконання одного виробу по всіх стадіях виробництва:

$$Z_o = \sum_1^4 O_i = 296$$

де O_i – основна заробітна плата за виконання даного виду робіт.

Додаткова заробітна плата за виготовлення одного виробу:

$$Z_d = Z_o \cdot H_d \div 100 = 296 \cdot 25 \div 100 = 74 \text{ грн.}$$

де H_d – норматив (у відсотках) додаткової заробітної плати по даному підприємству (цеху) за відпрацьований час.

Відрахування у соціальні фонди:

$$O_c = (Z_o + Z_d) H_c \div 100 = (296 + 74) \cdot 22 \div 100 = 81 \text{ грн.}$$

де H_c – норматив (у відсотках) відрахування у соціальні фонди.

Б.5 Визначення непрямих витрат

Витрати на підготовку і освоєння виробництва нових виробів розраховуються по нормативу (H_n) у відсотках від основної заробітної плати:

$$P_{no} = Z_o \cdot H_n \div 100 = 296 \cdot 3 \div 100 = 9 \text{ грн.}$$

Витрати на утримання і експлуатацію устаткування цеху розраховується по нормативу (H_{ye}) у відсотках від основної заробітної плати за виготовлення одного виробу:

$$P_y = Z_o \cdot H_{ye} \div 100 = 296 \cdot 12 \div 100 = 36 \text{ грн.}$$

Цехові витрати визначаються по нормативу $H_{ц}$ (у відсотках) від основної заробітної плати за один виріб:

$$P_{ц} = Z_o \cdot H_{ц} \div 100 = 296 \cdot 60 \div 100 = 178 \text{ грн.}$$

Цехова собівартість одного виробу

$$C_{ц} = M_o + M_n + M_{с} - O_{с} + T_{ел} + Z_o + Z_{д} + P_{но} + P_y + P_{ц} + O_c = \\ 114 + 3144 + 96 - 67 + 0,9 + 296 + 74 + 9 + 36 + 178 + 81 = 3962 \text{ грн.}$$

Загальнозаводські витрати в собівартості одного виробу визначаються по нормативу H_z у відсотках від основної заробітної плати:

$$P_z = Z_o \cdot H_z \div 100 = 296 \cdot 30 \div 100 = 89 \text{ грн.}$$

Виробнича собівартість одного виробу:

$$C_{с} = C_{ц} + P_z = 3962 + 89 = 4051 \text{ грн.}$$

Позавиробничі витрати на один виріб визначаються по нормативу $H_{поз}$

$$Z_n = C_{с} \cdot H_{поз} \div 100 = 4051 \cdot 6 \div 100 = 243 \text{ грн.}$$

Повна собівартість виготовлення одного виробу:

$$C_n = C_{с} + Z_n = 4051 + 243 = 4294 \text{ грн.}$$

Б.6 Розробка калькуляції собівартості виробу

За результатами проведених розрахунків складаємо нормативну калькуляцію собівартості виготовлення модернізованого виробу і представимо в таблиці 6.Б.

Таблиця Б.6 – Нормативна калькуляція собівартості виробу

Статті витрат	Позначення	Величина витрат
1.Сировина та основні матеріали	Мс	114
2.Покупні вироби	Мп	3144
3.Допоміжні матеріали	Мв	96
4.Зворотні відходи	Ов	67
5.Паливо і енергія для технологічних цілей	Те	0,9
6.Основна заробітна плата основних робітників	Зо	296
7.Додаткова заробітна плата	Зд	74
8.Відрахування в соціальні фонди	Ос	81
9.Затрати на підготовку і освоєння виробництва нових виробів	Рпо	9
10.Затрати на утримання і експлуатацію устаткування, транспортних засобів та дорогого оснащення	Ру	36
11.Цехові витрати	Рц	178
Всього цехова вартість	Сц	3962
12.Загальнозаводські витрати	Рз	89
Виробнича собівартість	Св	4051
13.Позавиробничі витрати	Зп	243
Всього повна собівартість	Сп	4294

За даними нормативної калькуляції виробу його повна собівартість складає 4294 грн.

Б.7 Визначення ціни системи

Проектна ціна нової системи автоматичного регулювання (C_n) визначається по договору із замовником або з урахуванням попиту на продукцію. При державному регулюванні ціну можна розрахувати за допомогою граничного рівня рентабельності ($P_n = 30\%$)

$$C_n = C_p (1 + 0,01 \cdot P_n) = 4294 (1 + 0,01 \cdot 30) = 5582 \text{ грн.}$$

При цьому ціна системи регулювання повинна сприяти одержанню загального прибутку об'ємом не менше, ніж при реалізації базових виробів.

Балансова вартість системи визначається з урахуванням витрат на транспортування і підготовку до експлуатації.

$$K_{tp} = 1,1$$

$$Bal_n = C_n \cdot K_{tp} = 5582 \cdot 1,1 = 6140 \text{ грн.}$$

Б.8 Визначення економічної ефективності у виробника системи

Величина економічного ефекту при виготовленні системи регулювання визначається за формулою:

$$E_{\text{виг}} = (C_n - C_p) \cdot N - E_n \cdot K$$

де $N = 10$ – кількість систем, які виготовляються за рік;

$E_n = 0,25$ – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень;

K – капітальні вкладення.

$$K = K_{нд} + C_n + K_{суп} = 8751 + 5582 + 800 = 15133 \text{ грн.}$$

$K_{суп}$ – супутні капітальні вкладення;

$$K_{суп} = 800 \text{ грн.}$$

Тоді отримаємо:

$$E_{\text{виг}} = (5582 - 4294)10 - 0,25 \cdot 15133 = 9097 \text{ грн.}$$

Період окупності капітальних вкладень у виробника розраховується за формулою:

$$T_{\text{вир}} = \frac{K}{(\Pi_{\text{н}} - C_{\text{п}}) \cdot N}$$

$$T_{\text{вир}} = \frac{15133}{(5582 - 4294) \cdot 10} \approx 1,2 \text{ рік.}$$

Б.9. Визначення економічного ефекту від підвищення надійності роботи системи

Встановлення системи управління технологічним процесом, як правило, підвищує надійність її функціонування. Результуючим показником надійності є кількість можливих відмов у роботі системи за період експлуатації.

Головною умовою для оцінки економічного ефекту від підвищення надійності є зменшення кількості відмов.

За результатами порівняльного аналізу нової техніки з базовим варіантом визначається розбіжність параметрів надійності. Потім виявляються складові ефекту від підвищення надійності, основними з яких можуть бути:

- економія від зменшення кількості запасних частин (комплектуючих виробів);

- зниження витрат на відновлення працездатності технічної системи після відмови;

- скорочення матеріальних витрат на виробництво при використанні високонадійної техніки;

- зменшення часу незапланованого простою устаткування внаслідок відмов.

Економія від зменшення кількості запасних частин визначається методом прямого розрахунку, як різниця

$$E_{\text{зч}} = Z_{\text{б}}^{\text{Б}} - Z_{\text{н}}^{\text{Н}}$$

$$E_{зч} = 1200 - 800 = 400 \text{ грн.}$$

$З_б^B, З_н^H$ - вартість запасних частин за базовим і новим варіантами відповідно, грн.

Економічний ефект від зниження витрат на відновлення роботоздатності системи після відмови:

$$E_{відм} = n_B^{\bar{o}} \times s_B^{\bar{o}} - n_B^n \times s_B^n$$

де $n_B^{\bar{o}}, n_B^n$ - кількість відмов за рік відповідно базової і нової систем;

$s_B^{\bar{o}}, s_B^n$ - середні витрати на усунення однієї відмови, за порівняльними варіантами, грн.;

$$S_B = Ц_B + l_{ч} \times t_B (1 + K_{дс} / 100)$$

де $Ц_B$ - балансова вартість заміненних елементів, грн;

$l_{ч}$ - середня годинна ставка робітника по усуненню несправності, грн.;

(27,5)

t_B - кількість годин відновлення системи після однієї відмови (включає час виходу системи на нормальний режим роботи);

$K_{дс}$ - процент додаткової зарплати та відрахування на соціальні заходи.

$$S_B^{\bar{o}} = 500 + 27,5 \times 2 (1 + 22/100) = 567 \text{ грн}$$

$$S_B^n = 200 + 27,5 \times 1 (1 + 22/100) = 234 \text{ грн}$$

$$E_{відм} = 8 \times 567 - 5 \times 234 = 3366 \text{ грн}$$

Економія від скорочення матеріальних витрат при виготовленні продукції

$$E_M = M \times (B^{\bar{o}} - B^n),$$

де M - вартість матеріалів на виготовлення продукції за рік, грн;

$B^{\bar{o}}, B^n$ - відсоток матеріалів, які списуються на брак, за порівнюваними варіантами.

$$E_M = 42500 \times (5 - 2) / 100 = 1275$$

$$E_{над} = (E_{зч} + E_{відм} + E_M)$$

$$E_{над} = 400 + 3366 + 1275 = 5041 \text{ грн.}$$

Б.10 Визначення витрат на експлуатацію виробу

Для визначення витрат у споживача виробу розробляється кошторис витрат (табл.Б.7). Розрахунки виконуються для базового проектного варіантів.

Таблиця Б.7 – Експлуатаційні витрати

Статті витрат	Позначення	Сума витрат за варіантами, грн	
		базовий	новий
1. Електроенергія	Зел	792	634
2. Амортизація	Зам	0	1535
Всього витрат на експлуатацію	Зек	792	2169

Витрати за електроенергію визначаються з урахуванням спожитої системою потужності ($M_{\text{баз}}=0,5$) ($M_{\text{нов}}=0,4$) в кВт та річного фонду роботи ($\Phi_r=720$) в годинах:

$$Z_{\text{ел}} = M \cdot \Phi_r \cdot C_{\text{ел}}$$

де $C_{\text{ел}}$ - ціна кіловат-години енергії.

$$Z_{\text{ел}}^{\text{б}} = 0,5 \cdot 720 \cdot 2,2 = 792 \text{ грн.},$$

$$Z_{\text{ел}}^{\text{н}} = 0,4 \cdot 720 \cdot 2,2 = 634 \text{ грн.}$$

Витрати по амортизації виробу визначаються за нормою амортизації ($H_{\text{ам}}$) та додатковими капітальними вкладеннями в модернізацію ($B_{\text{ал}}$):

$$Z_{\text{ам}} = H_{\text{ам}} \cdot \frac{B_{\text{ал}}}{100}$$

В балансову вартість (додаткові капітальні вкладення в модернізацію) включають ціну виробу, витрати на транспортування та підготовку до промислової експлуатації.

$$З_{ам}^H = 25 \cdot \frac{6140}{100} = 1535 \text{ грн.}$$

Б.11 Визначення економічної ефективності у сфері експлуатації виробу

При експлуатації виробу сукупний економічний ефект складають:

$$Е_{екс} = (З_{ек}^{\bar{}} - З_{ек}^H) + E_{над} - E_H * B_{нал}$$

де $З_{ек}^{\bar{}}$, $З_{ек}^H$ - величина експлуатаційних витрат в порівнюваних варіантах (із табл.6.7) відповідно базового і модернізованого виробів, грн.

$$Е_{екс} = (792 - 2169) + 5041 - 0,25 \cdot 6140 = 2129 \text{ грн.}$$

Період окупності додаткових капітальних витрат при експлуатації виробу визначається як:

$$T_{екс} = \frac{B_{ал}^H}{(З_{ек}^{\bar{}} - З_{ек}^H) + E_{над}}$$

де $B_{ал}^H$ - балансова вартість модернізованої системи, грн.

$$T_{екс} = \frac{6140}{(792 - 2169) + 5041} = 1,7 \text{ років}$$

Б.12 Зведені техніко-економічні показники

Зведені техніко-економічні показники представлені в таблиці Б.8.

Таблиця Б.8 – Зведені ТЕП системи

№	Найменування показників	Одиниці виміру	Величина по варіантах	
			базовий	новий
1	Кількість відмов системи за рік	раз	8	5
2	Процент технологічного браку	%	5	2
3	Витрати на експлуатацію	грн.	792	2169
4	Собівартість приладу	грн.	—	4294
5	Ціна приладу	грн.	—	5582
6	Економічний ефект у виробника	грн.	—	9097
7	Період окупності у виробника	років	—	1,2
8	Економічний ефект від підвищення надійності системи	грн.	—	5041
9	Економічний ефект у споживача	грн.	—	2129
10	Період окупності у споживача	років	—	1,7

Під час розрахунків економічної ефективності системи, розробленої в ході виконання магістерської роботи, були визначені витрати на виконання НДДКР, матеріальні витрати на виготовлення виробу, заробітна плата основних робочих за виготовлення виробу, непрямі витрати, розроблена калькуляція собівартості виробу, ціна виробу. Розрахунки показали, що введення виробу в існуючу систему призведе до економічного ефекту 2129 грн., а всі витрати на проведення модернізації окупаються менше ніж за два роки.