

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

Приладів і контрольовано-вимірювальних систем

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Інформаційно-вимірювальна система для забезпечення
роботи апарату контролю герметичності поплавків бензобаків

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи РІмз
спеціальності 152 Метрологія та інформаційно-

вимірювальна техніка

(шифр і назва спеціальності)

Головатий В.М.
(прізвище та ініціали)

Керівник Дубиняк Т.С.
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Наконечний Ю.І.
(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Паламар М.І.
(прізвище та ініціали)

Рецензент (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра Приладів і контрольно-вимірювальних систем
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ПВ

Паламар М.І.

(підпис)

(прізвище та ініціал)

« » 20__ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
(шифр і назва спеціальності)

студента Головатий Володимир Михайлович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Інформаційно-вимірювальна система для забезпечення роботи апарату контролю герметичності поплавків бензобаків

Керівник роботи Дубиняк Тарас Степанович к.т.н., доц. каф. ПВ
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «__» _____ 20__ року № _____

2. Термін подання студентом завершеної роботи _____

3. Вихідні дані до роботи _____

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналітична частина			
Основна частина			
Науково-дослідна частина			
Охорона праці			
Безпека в надзвичайних ситуаціях			

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
	Аналітична частина		
	Основна частина		
	Визначення економічної ефективності		
	Науково-дослідна частина		
	Охорона праці		
	Безпека в надзвичайних ситуаціях		
	Загальні висновки до кваліфікаційної роботи		
	Графічний матеріал до кваліфікаційної роботи		

Студент

_____ (підпис)

Головатий В.М.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Дубиняк Т.С.

_____ (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Вступ.....	
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	
1.1 Огляд існуючих засобів контролю герметичності замкнутих об'єктів.....	
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	
2.1 Опис конструкції розробленого автомату	
2.2 Розрахунок пневмоциліндра	
2.3 Розрахунок датчика рівня.....	
2.4 Розрахунок редуктора повороту диску з касетами.....	
2.5 Вибір електродвигуна	
2.6 Розрахунок запобіжної муфти	
2.7 Повірка контрольної системи	
2.8 Обґрунтування економічної доцільності.....	
3 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	
3.1 Математична модель ємнісного датчика	
4 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	
4.1 Розробка електричного блоку керування і обробки вимірювальної інформації	
4.2 Розрахунок похибок.....	
4.3 Блок-схема програми управління блоком керування.....	
4.4 Опис роботи програмного керування	
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	
5.1 Заходи з техніки безпеки при експлуатації пневмоелектромеханічної установки	
5.1.1 Умови експлуатації автомата.....	
5.1.2 Заходи по техніці безпеки	

5.2 Розрахунок запобіжного клапана для захисту технологічного
обладнання від руйнування.....

5.3 Заходи по забезпеченню санітарно-технічних вимог на ділянці
випробувань

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

ДОДАТКИ.....

ВСТУП

Ефективність виробництва, його технічний прогрес та якість продукції залежать від передвиробничої розробки нового обладнання, машин, машин та обладнання, впровадження методів технічного та економічного аналізу, що забезпечують вирішення технічних проблем, економічної ефективності технологічної та конструкторської розробки.

Важливо вирішити всі ці питання під час підготовки кваліфікованого фахівця, який добре розбирається в інженерному процесі проектування виробничого процесу.

У залежності від методу вимірювання засоби активного контролю розділяються на пристрої, основані на прямому методі вимірювання і пристрої основані на посередньому методі вимірювання.

При прямому методі контролюються безпосередньо розмір виготовлюваної деталі шляхом включення його в розмірний ланцюг приладу. База вимірювання при цьому співпадає з поверхнею контрольованої деталі.

При посередньому методі контролюється не розмір деталі, а положення поверхні деталі або положення ріжучої кромки інструменту чи виконавчих органів верстату по відношенню до бази приладу.

Важливою ланкою забезпечення високої надійності проектного обладнання є попередні випробування комплектуючих, зокрема двигунів приводів, з метою встановлення оптимального співвідношення між їх точністними характеристиками і режимами експлуатації і функціональними можливостями. Крім того, наявність даних про реальні вібраційні характеристики приводу дає можливість вже на стадії проектування створити найбільш сприятливі умови для функціонування, наприклад, вимірювальної позиції.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Огляд існуючих засобів контролю герметичності замкнутих об'єктів

Найпоширеніший метод контролю герметичності об'єктів полягає у створенні надлишкового тиску в цьому об'ємі від зовнішнього джерела і послідуєчому контролю його зміни за певний проміжок часу.

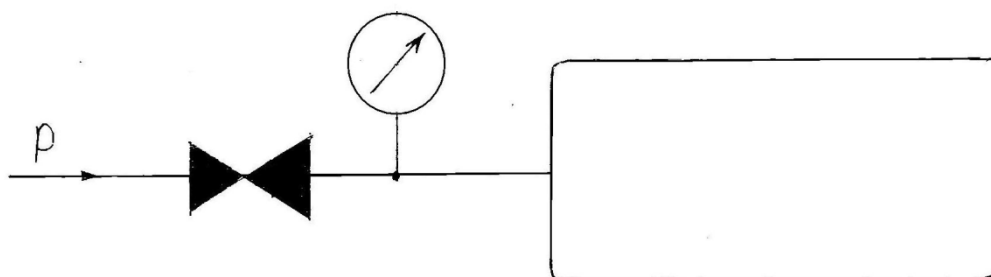


Рисунок 1.1 - Метод контролю герметичності об'єктів за допомогою надлишкового тиску

Цей метод контролю використовують при контролі герметичності газових балонів, баків і тому подібних, що мають різьбовий штуцер. Його також використовують для контролю замкнутих об'єктів, наприклад систем теплообміну, холодильних агрегатів. Для цього отвір, через який проводилось контрольне накачування, в разі позитивного результату контролю – герметизується. Герметизацію здійснюють обжимом з послідуєчою запайкою. Такий метод контролю малопродуктивний і використовується із застосуванням ручної праці. Час контролю може тривати декілька годин. А на сучасному етапі розвитку науки і техніки такий метод контролю використовувати недоцільно.

Для підвищення оперативності і відповідно продуктивності контрольований об'єкт занурюють у воду. За виявленими бульбашками газу визначають місце розгерметизації. У випадку контролю об'єктів великих

розмірів можливі місця розгерметизації ,наприклад зварні шви, які для контролю герметичності змочують мильною водою.

Про наявність дефектів судять по мильних бульбашках.

Описані засоби не придатні для контролю таких об'єктів здійснюють занурення ї у воду і витримкою в такому положенні протягом певного проміжку часу. Часто при цьому здійснюють перемішування об'єктів і створюється надлишковий тиск води. Про придатність герметичних виробів, судять по їх спливанні, або по їх зважуванні.

Для точних досліджень герметичності виробів використовують ультразвукові методи контролю.

Цей метод полягає в контролі резонансної частоти ультразвуку в об'ємі балона. Балон виконує роль замкнутого резонатора.

До протилежних (боків) стінок балона (Рис.1.2) притискаються пластини 1 і 3, які виконують роль генератора і приймача ультразвукових коливань.

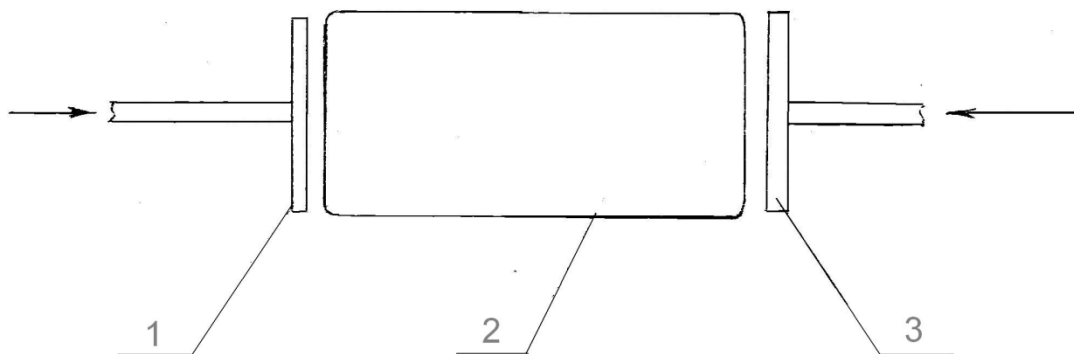


Рисунок 1.2 – Балон-резонатор

У випадку герметичності об'єкту в такому резонаторі встановлюється певна частота ультразвукових коливань ,яка не змінюється або змінюється мало при зміні зовнішнього тиску.

Цей метод можливий при контролі металевих балонів, постільки стінки пластикових балонів сильно послаблюють ультразвукові коливання.

А також тому, що металеві балони мало деформуються при зміні зовнішнього тиску.

Існує метод контролю герметичності що базується на використанні явища ядерного магнітного резонансу.

Явище магнітного резонансу притаманне 2/3 стабільних атомних ядер. Ці ядра одночасно мають механічний момент кількості руху і магнітний момент. Якщо таке ядро помістити в постійне магнітне поле, то магнітний момент ядра старається орієнтуватись в напрямку магнітного поля.

Однак внаслідок гіроскопічних властивостей ядра, повної орієнтації не проходять, і магнітний момент ядра – M , починає процесувати кругом напрямку магнітного поля B .

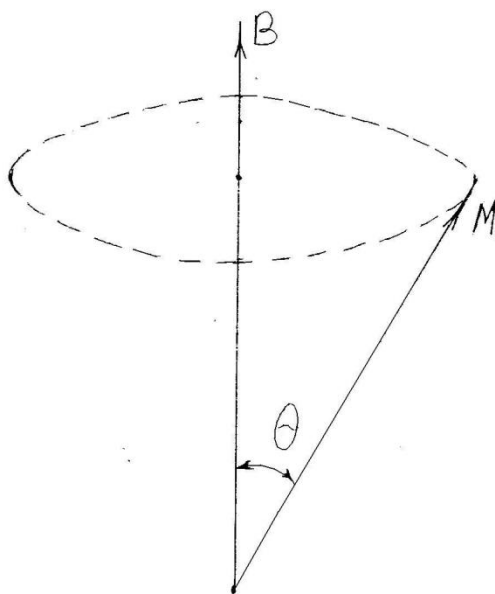


Рисунок 1.3 - Явище магнітного резонансу

Частота обертання ядра зв'язана з індукцією зовнішнього магнітного поля рівнянням.

$$\omega = \gamma \cdot \beta \text{ або } f = \frac{\gamma}{2\pi} \beta \quad (1.1)$$

де γ - гіромагнітне відношення, рівне відношенню магнітного моменту ядра до його механічного моменту.

Гіромагнітне відношення є постійною фізичною константою ядра і відоме для багатьох типів ядер з великою точністю.

Прилад для контролю герметичності невеликих балончиків з використанням явища ядерного магнітного резонансу має таку схему:

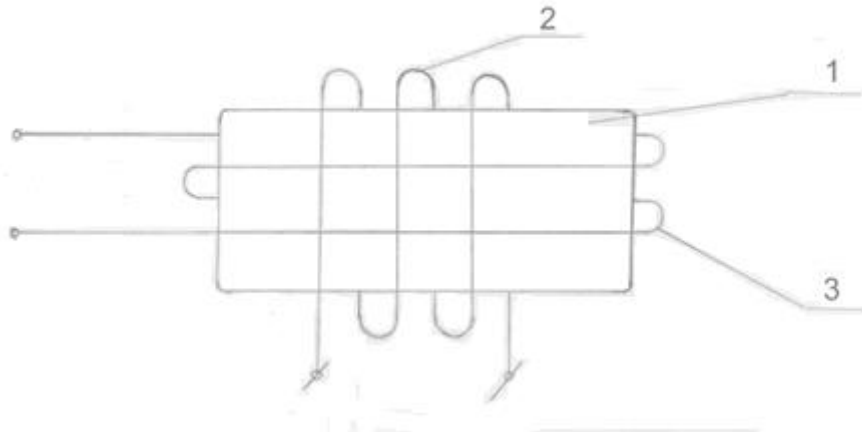


Рисунок 1.4 - Прилад для контролю герметичності

Перпендикулярно вектору магнітної індукції за допомогою котушки 3 створюється сильне магнітне поле, яке орієнтує ядра в балоні під прямим кутом до вектора B . При швидкому вимкненні допоміжного поля ядра речовини, що знаходиться в балоні почнуть синфазно процесувати кругом напрямку вектора магнітної індукції B . При цьому в котушці 2 наводиться ЕРС з частотою f :

$$f = \frac{\gamma}{2\pi} \beta \quad (1.2)$$

Наведена ЕРС поступово згасає як і в інших резонансних контурах. Якщо досліджуваний балон помістити в барокамеру, заповнену, наприклад, воднем, або іншим газом з відомим гіромагнітним відношенням і створити невеликий надлишковий тиск, то через деякий час при наявності розгерметизації в балон попаде деяка кількість цього газу. Цей газ в балоні можна виявити по наведеній електрорушійній силі в котушці 2.

Резонанс буде спостерігатись по частоті, що визначає гіромагнітне відношення даного газу.

Даний метод відзначається високою точністю, а частотний вихідний сигнал дозволяє використовувати цифрову обчислювальну техніку. Недоліком такого методу контролю герметичності виробів є технічна складність подібної установки, а отже і велика вартість.

Як бачимо із всіх розглянутих попередньо методів контролю герметичності найбільш продуктивний і достатньо точним є метод контролю шляхом їх занурення у рідину, так званий “бульбашковий метод”.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Опис конструкції розробленого автомату

В розробленому автоматі за основу взято бульбашковий метод контролю герметичності виробів. Для збільшення продуктивності, а також можливості контролю всього процесу за допомогою ЕОМ візуальне спостереження замінено фотодатчиком.

Автомат складається з диска з чотирма касетами. В кожній касеті одночасно кріпиться по 8 балончиків розміром 20x50 мм.

Завантаження касет здійснюється від завантажувального пристрою, що живиться від бункера. Також автомат має в конструкції барокамеру. Призначення барокамери-створити надлишковий тиск у внутрішній частині балончиків у випадку їх розгерметизації.

Контроль відбувається у ванній заповненій рідиною. Ванна з рідиною має підігрів для забезпечування постійної температури рідини і повітря в середині поплавків. Надлишковий тиск повітря в розгерметизованих поплавках створюється у вигляді бульбашок повітря. Бульбашки вловлюються бульбашко вловлювачем у вигляді конуса. Бульбашковловлювачі є над кожним поплавком, а отже контролюється кожен із восьми поплавків, що заправлені в касету.

Зібрані бульбашки утримуються електромагнітним клапаном до закінчення часу витримки поплавків у рідині, після чого клапан відкривається і бульбашки по вертикальному каналу проходять через фотоелементи вгору.

Фотоелементи утворені світло діодами і фото резисторами, що знаходяться діаметрально у нижній частині вертикального каналу, нижче рівня рідини.

Гнізда кріплення світло діодів і фото резисторів загерметизовані герметиком.

Після вистою у рідині касета з поплавками переміщується на позицію розбраковки. Сортування відбувається за принципом добре – не добре. Кожна (касета) позиція касети має свій електромагніт, який керується по сигналу від фотодатчика.

Механізм завантаження, барокамера та щітковий очищувач переміщуються разом на каретці, по направляючих. Привід каретки від пневмоциліндра. Щітковий очищувач рухається у воді і призначений для того, щоб зігнати бульбашки які прикріпилися до поверхні поплавка при їх зануренні у рідину.

Чотири касети кріпляться до диска, що здійснює повороти на 90 градусів від крокового двигуна через черв'ячний редуктор.

2.2 Розрахунок пневмоциліндра

Для розрахунку пневмоциліндра необхідно визначити загальну масу каретки.

Загальна маса каретки складає 8,6 кг. При виконанні повзунів з капролону і сталєних направляючих коефіцієнт тертя становить 0,18.

Сила тертя становитиме:

$$F_m = f \cdot Q = 0,18 \cdot 8,6 \cdot 9,8 = 15,2H$$

Загальне зусилля на штоку поршня складається з сили тертя, сили замикання барокамери, сили гідравлічного опору переміщення щіток та сили пружин механізму захвату касети. Зусилля замикання барокамери визначимо через площину кришки та тиск накачування.

Тиск у барокамері визначимо:

$$P_o = 0,2MPa$$

Площа кришки:

$$S_{кр} = \frac{\pi d_{кр}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (66 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 3,14 \cdot 10^{-3} m^2$$

Отже, зусилля замикаання камери:

$$F_k = P_b \cdot S_{кр} = 0,2 \cdot 10^6 \cdot 3,4 \cdot 10^{-3} = 6,8 \cdot 10^2 H$$

Гідравлічний опір переміщення щіток залежить від швидкості переміщення їх у рідині і при теж буде рівний 0. Отже, щітки виконують роль гідравлічного демпфера.

Зусилля від пружини касеткою завантажувача задано величиною:

Отже, загальне зусилля в штокові пневмоциліндра :

$$F_u = F_m + F_k + F_{щ} + F_{пр} \quad (2.1)$$

де $F_m = 15,2H$ - сила тертя у направляючих каретки

$F_k = 0,68кH$ - сила замикаання барокамери

$F_{щ} = 0$ - сила переміщення щіток

$F_{пр} = 5H$ - сила пружин касети

$$F_u = 15,2 + 0,68 \cdot 10^3 + 5 \approx 700H$$

Визначимо необхідний діаметр пневмоциліндра, виходячи з тиску повітря у пневмосистемі : $P_g = 0,4MPa$

$$F_u = P_g \cdot S_u = P_g \cdot \frac{\pi d_u^2}{4} \quad (2.2)$$

$$d_u \geq 2 \cdot \sqrt{\frac{F_u}{P_g \cdot \pi}} \geq \sqrt{\frac{700}{0,4 \cdot 10^6 \cdot 3,14}} = 4,72 \cdot 10^{-2} м = 47,2 мм$$

Прийmemo діаметр пневмоциліндра $- d_u = 50 мм$

2.3 Розрахунок датчика рівня

Для контролю рівня рідини в бакові доцільно використати ємність датчика рівня. Переваги такого рівнеміра в тому ,що він не має рухомих механічних деталей, а також немає рухомих електричних контактів.

Для контролю електропровідних рідин електроди повинні бути ізольованими.

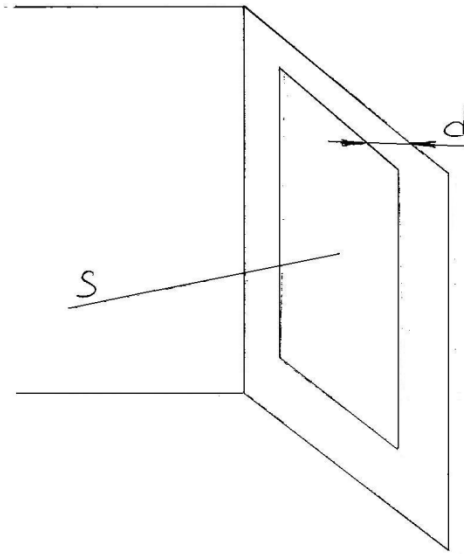


Рисунок 2.1 - Датчик рівня

Конструктивно такий датчик складається з ізольованої пластини площею S , що закріплена на відстані d від металевої стінки корпусу баку. Ізоляція пластини виконується у вигляді оксидного покриття і тонкого шару лаку.

Діалектичну проникність такої ізоляції можна не враховувати через її малу товщину.

Отже, ємність датчика з плоско-паралельними пластинами можна надати у вигляді:

$$C = \frac{E_0 \cdot (E_r \cdot S_1 + E_c \cdot S_1)}{d} \quad (2.3)$$

де $E_0 = 8,87 \cdot 10^{-12} \frac{\phi}{м}$ - електрична постійна

$E_r = 1$ - діелектрична провідність повітря

$E_c = 81$ - діелектрична проникність рідини

При проектуванні ємнісних датчиків стараються, що початкова ємність становила менше 10пФ. Для цього збільшують розмір пластин (збільшують площу обкладок) і зменшують віддаль між ними.

Виберемо ширину пластин рівною ширині задньої стінки баку – 200 мм і висота $h=25$ мм.

$$\text{Отже, } S = 25 \cdot 200 = 5 \cdot 10^3 \text{ мм}^2 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Віддаль між пластинами задамо виходячи з технологічних можливостей:

$$d = 0,5 \text{ мм}$$

При повному заповненні баку рідиною ємність визначається за виразом:

$$C = \frac{E_0 \cdot E_c \cdot S}{d} = \frac{8,87 \cdot 10^{-12} \cdot 81 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{0,5 \cdot 10^{-3}} = 7 \cdot 10^{-9} \text{ Ф} = 7 \cdot 10^3 \text{ пФ}$$

Максимальне зниження рівня води складає $a=15$ мм. Максимальний рівень визначається розміщенням фотодатчиків.

Площа пластин датчика, зайнятих повітрям:

$$S_1 = 15 \cdot 200 = 3 \cdot 10^3 \text{ мм}^2 = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Площина пластин датчика, занурених у рідину :

$$S_2 = 10 \cdot 200 = 2 \cdot 10^3 \text{ мм}^2 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Ємність датчика при мінімальному рівні рідини:

$$C_\kappa = \frac{E_0 \cdot (E_r \cdot S_1 + E_c \cdot S_2)}{d} = \frac{8,87 \cdot (1 \cdot 3 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-3} \cdot 81)}{0,5 \cdot 10^{-3}} \approx 2,9 \cdot 10^{-9} \text{ Ф} \approx 2,9 \cdot 10^3 \text{ пФ}$$

Відносна зміна ємності:

$$E_0 = \frac{C - C_\kappa}{C} \cdot 100\% = \frac{7 \cdot 10^3 + 2,9 \cdot 10^3}{7 \cdot 10^3} = 58\%$$

2.4 Розрахунок редуктора повороту диску з касетами

Оскільки привід чисто кліматичний, то розрахунок проводять провірочний по геометричних розмірах, що визначаються конструктивними елементами.

Попередньо задалось передаточним відношенням редуктора на рівні максимального можливого для даного типу редукторів. Приблизно $i = 40$. Діаметр черв'ячного колеса $d_2=100\text{mm}$. Прийmemo модуль зачеплення $m=1,5\text{mm}$.

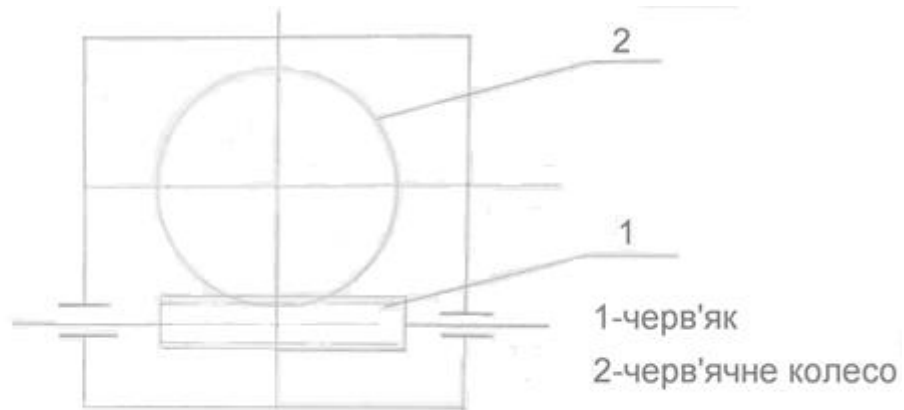


Рисунок 2.2 – Редуктор повороту диску

Визначимо число зубів:

$$Z_2 = \frac{d_z}{m} = \frac{100}{1,6} = 66,6$$

Прийmemo $z_2 = 68$

Тоді $d_z = Z_2 \cdot m = 68 \cdot 1,5 = 102\text{ мм}$

Діаметр вершин зубів колеса черв'ячного:

$$da_z = d_z + 2m = 102 + 2 \cdot 1,5 = 105\text{ мм}$$

Діаметр впадин зубів колеса черв'ячного:

$$df_z = d_z - 2,4m = 102 - 2,4 \cdot 1,5 = 98,4\text{ мм}$$

Приймаємо черв'як однозахідний. Задамося значенням, тоді ділительний діаметр черв'яка:

$$d_1 = q \cdot m = 8 \cdot 1,5 = 12 \text{ мм}$$

Діаметр вершин черв'яка витків:

$$da_1 = d_1 - 2m = 12 - 2 \cdot 1,5 = 9 \text{ мм}$$

Діаметр впадин черв'яка витків:

$$df_1 = d_1 - 2,4m = 12 - 2,4 \cdot 1,5 = 8,4 \text{ мм}$$

Довжина нарізної частини черв'яка витків:

$$b_1 \geq (11 + 0,06Z_2)m + 10 = (11 + 0,06 \cdot 68) \cdot 1,5 + 10 = 32,6 \text{ мм}$$

Прийmemo $b_1 = 34 \text{ мм}$

Ділительний кут підйому витка γ :

При $z_1 = 1$ і $g = 8$ становить $\gamma = 5^\circ 30'$

Ширина вінців черв'ячного колеса:

$$b_2 \leq 0,75da_1 = 0,75 \cdot 15 = 11,25$$

Прийmemo $b_2 = 10 \text{ мм}$

Задамо швидкість обертання диска:

$$n_d = 1 \text{ об/хв}$$

тоді швидкість обертання черв'яка:

$$n_1 = n_d \cdot i = 1 \cdot 40 = 40 \text{ об/хв}$$

Колова швидкість черв'яка:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot n_1}{60} = \frac{3,14 \cdot 12 \cdot 40}{60} = 25 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$$

Швидкість ковзання:

$$V_s = \frac{V_1}{\cos \gamma} = \frac{25 \cdot 10^{-3}}{\cos 5^\circ 30'} = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}$$

При такій швидкості $[\sigma] \approx 182 \text{ МПа}$, при бронзовому вінцю і сталюму черв'яку. Визначимо ККД редуктора:

$$\eta = 0,95 \cdot \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg}(\gamma + \rho')} = 0,95 \cdot \frac{\operatorname{tg} 5^\circ 30'}{\operatorname{tg}(5^\circ 30' + 1^\circ 30')} = 0,74$$

де ρ' - приведений кут тертя.

Для пари бронза сталь $\rho = 1^\circ 30'$. При такій колівій швидкості вибираємо 8-му степiнь точності. При переривчастій роботі приймемо коефіцієнт динамічності $k_v = 1,5$

Коефіцієнт нерівномірності розподілу навантаження:

$$k_\beta = 1 + \left(\frac{Z_2}{\theta} \right)^3 (1 - x)$$

при $z_1 = 1$ і $g = 8$ коефіцієнт деформації черв'яка $\theta = 80$. Допоміжний коефіцієнт x при значних коливаннях навантаження $x = 0,3$.

$$k_\beta = 1 + \left(\frac{68}{80} \right)^3 (1 - 0,3) = 1,43$$

Коефіцієнт навантаження:

$$k = k_\beta \cdot k_v = 1,43 \cdot 1,5 = 2,14$$

Заданося моментами на валу черв'ячного колеса $T_2 = 5H \cdot \text{м}$

Цей момент утворений гiдралічним опором переміщування рідини та парою підшипників. Перевіряємо контактні напруження за формулами:

$$\sigma_n = \frac{170}{Z_2} \cdot g \sqrt{\frac{T_2 \cdot k \left(\frac{Z_2}{g} + 1 \right)^3}{a_\omega^3}} \quad (2.4)$$

де a_ω - міжцентрова віддаль:

$$a_\omega = \frac{m(g + Z_2)}{2} = \frac{1,5(8 + 68)}{2} = 57 \text{ мм}$$

$$\sigma_n = \frac{170}{68} \cdot 8 \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot 10^3 \cdot 2,14 \cdot \left(\frac{68}{8} + 1 \right)^3}{57^3}} = 80,5 \text{ МПа} < [\sigma_n]$$

$$[\sigma_n] = 182 \text{ МПа}$$

Запас міцності достатній. Перевіримо міцність зуба на згин.

Еквівалентне число зубів:

$$Z_v = \frac{Z_2}{\cos^3 \gamma} = \frac{68}{\cos^3 5^\circ 30'} = 69$$

Коефіцієнт форми зуба при цьому :

$$\gamma_F = 2,84$$

Напруження згину:

$$\sigma_F = \frac{1,2 \cdot T_2 \cdot k \cdot \gamma_F}{Z_2 \cdot b_2 \cdot m^2} = \frac{1,2 \cdot 5 \cdot 10^3 \cdot 2,14 \cdot 2,84}{68 \cdot 10 \cdot 1,5^2} = 23,8 \text{ МПа}$$

Що менше допустимого: $[\sigma_{oF}] = 50 \text{ МПа}$

Крутий момент на черв'яку:

$$T_1 = \frac{T_2 \cdot k \cdot \gamma_F}{i \cdot n} = \frac{5}{40 \cdot 0,74} = 1,68 \cdot 10^{-1} \text{ Нм} = 168 \text{ Нмм}$$

2.5 Вибір електродвигуна

Для визначення електродвигуна необхідно визначити приведений момент інерції механізму приводу.

Приведений момент інерції визначимо для диску, черв'ячного колеса, черв'яка, вихідного валу і муфти.

$$I_{пр} = I_{муф.} + I_{черв} + \frac{I_{к} + I_{валу} + I_{диску}}{i} \quad (2.5)$$

де $i = 40$ – передаточне відношення редуктора.

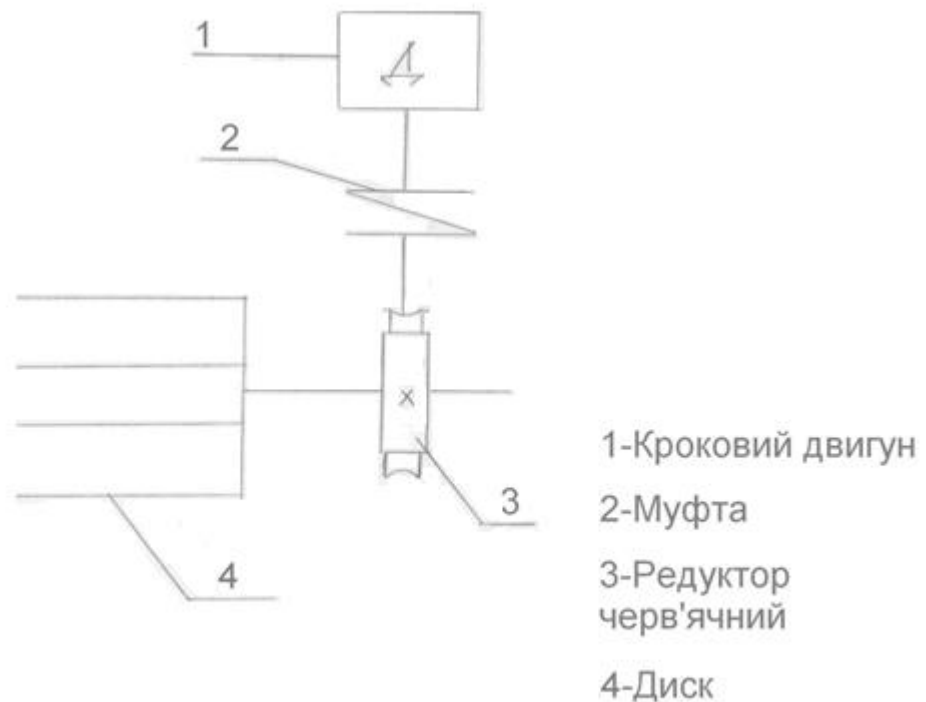


Рисунок 2.3 – Кінематична схема роботи приводу

Момент інерції диску:

$$I_{диску} = m_{д} \cdot R_{д}^2 \quad (2.6)$$

де m – маса диска;

$R_{д}$ - радіус диска

Маса диска визначається за геометричними розмірами диску:

$$m = V \cdot \rho = h \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \rho = 0,8 \cdot 3,14 \cdot 15^2 \cdot 7,8 = 4,4 \cdot 10^3 \text{ г}$$

де $h = 0,8 \text{ см} = 8 \text{ мм}$ - товщина диску

$R = 150 \text{ мм}$ - радіус диску

$\rho = 7,8 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ - густина сталі

$$I_{\text{диск}} = 0,5 \cdot 4,4 \cdot 10^3 \cdot 150^2 = 49,5 \cdot 10^8 \text{ г} \cdot \text{мм}^2$$

Момент інерції черв'ячного колеса:

$$I_{\kappa} = \frac{1}{2} m_{\kappa} \cdot R_{\kappa}^2 \quad (2.7)$$

Визначаємо аналогічно:

$$m_{\kappa} = V \cdot \rho = b_2 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \rho = 10 \cdot 3,14 \cdot 5^2 \cdot 8,6 = 780 \text{ г}$$

де $b_2 = 10 \text{ мм} = 1 \text{ см}$ - ширина зубчастого вінця

$\rho = 8,6 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ - густина бронзи

$R_{\kappa} = 51 \text{ мм} \approx 5 \text{ см}$ - радіус черв'ячного колеса

$$I_{\kappa} = 0,5 \cdot 780 \cdot 51^2 = 3,85 \cdot 10^6 \frac{\text{г}}{\text{мм}^2}$$

Визначимо моменти інерції вихідного валу:

Розміри валу: діаметр $\varnothing = 40 \text{ мм}$;

довжина $l = 100 \text{ мм}$.

Маса:

$$m_6 = V_6 \cdot \rho = l \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \rho = 10 \cdot \frac{3,14 \cdot 4^2}{4} \cdot 7,8 = 980 \text{ г}$$

Момент інерції валу:

$$I_6 = \frac{1}{2} m_6 \cdot R_6^2 = \frac{1}{2} 980 \cdot 20^2 = 1,96 \cdot 10^5 \text{ г} \cdot \text{мм}^2$$

Момент інерції черв'яка:

$$I_{\text{черв}} = \frac{1}{2} m_{\text{черв}} \cdot R_{\text{черв}}^2 \quad (2.8)$$

Масу червяка визначимо усереднено по ділильному діаметру:

$$m_{\text{черв}} = V \cdot \rho = l \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \rho = 6 \cdot 3,14 \cdot 0,6^2 \cdot 7,8 = 60 \text{ г}$$

де $l = 60 \text{ мм}$ - довжина черв'яка

$R = 6 \text{ мм}$ - ділильний діаметр черв'яка

Момент інерції:

$$I_{\text{черв}} = 0,5 \cdot m_{\text{черв}} \cdot R_{\text{черв}}^2 = 0,5 \cdot 60 \cdot 6^2 = 180 \text{ г} \cdot \text{мм}^2$$

Момент інерції муфти прийемо по довідкових даних:

$$I_{\text{муф}} = 2,40 \cdot 10^4 \text{ г} \cdot \text{мм}^2$$

Отже,приведений момент інерції:

$$I_{\text{пр}} = I_{\text{муф}} + I_{\text{черв}} + \frac{I_{\text{к}} + I_{\text{валу}} + I_{\text{диску}}}{i} \quad (2.9)$$

$$I_{np} = 2,4 \cdot 10^4 + 180 + \frac{3,85 \cdot 10^6 + 1,96 \cdot 10^5 + 49,5 \cdot 10^6}{40} = 1,36 \cdot 10^6 \text{ г} \cdot \text{мм}^2 = 1,36 \cdot 10^4 \text{ Н} \cdot \text{мм}^2 = 1,36 \cdot 10^{-2} \text{ Нм}^2$$

При кутовій швидкості диску $n = 10 \text{ об/хв}$ кутове прискорення вчислюємо для часу розгону $t_p = \frac{1}{4} t_{оберт} = \frac{60}{4} = 25 \text{ сек}$

Час розгону при чотирьох касетах та при кутовій швидкості:

$$n = 10 \text{ об/хв}$$

Кутове прискорення:

$$E_{\kappa} = \frac{\omega \cdot \omega_0}{t_p} \quad (2.10)$$

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,14 \cdot 1}{30} = 0,105 \text{ с}^{-1}$$

$$\omega_0 = 0$$

$$t_p = 25 \text{ с}$$

$$\text{Отже, } E_{\kappa} = \frac{0,105}{25} = 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-2}$$

Пусковий момент на валу двигуна:

$$M_{\text{дв}} = M_{\text{он}} + \frac{M_i}{i} \quad (2.11)$$

$$M_{\text{он}} = E_{np} \cdot I_{np} = 4,2 \cdot 10^{-3} \cdot 1,36 \cdot 10^2 = 0,57 \text{ Нм}$$

$$M_{\text{дв}} = M_{\text{он}} + \frac{M_i}{i} = 0,57 + \frac{5}{40} = 0,59 \text{ Нм}$$

При такому пусковому моменті вибираємо двигун марки: ДШ-0,6-12, для якого:

$$\text{Пусковий момент: } M_{\text{пуск}} = 0,6 \text{ Нм}$$

$$\text{Момент інерції якоря: } I_{\text{я}} = 240 \text{ г} / \text{мм}^2$$

$$\text{Максимальна частота обертання: } n_{\text{max}} = 1000 \text{ об/хв}$$

Напруга живлення: $U=27\text{В}$

Число кроків на оберт $n=12$.

2.6 Розрахунок запобіжної муфти

Для захисту автомату від поломок при обертанні диску між валами двигуна і черв'яком встановимо запобіжну муфту із штифтом, що працює на зріз.

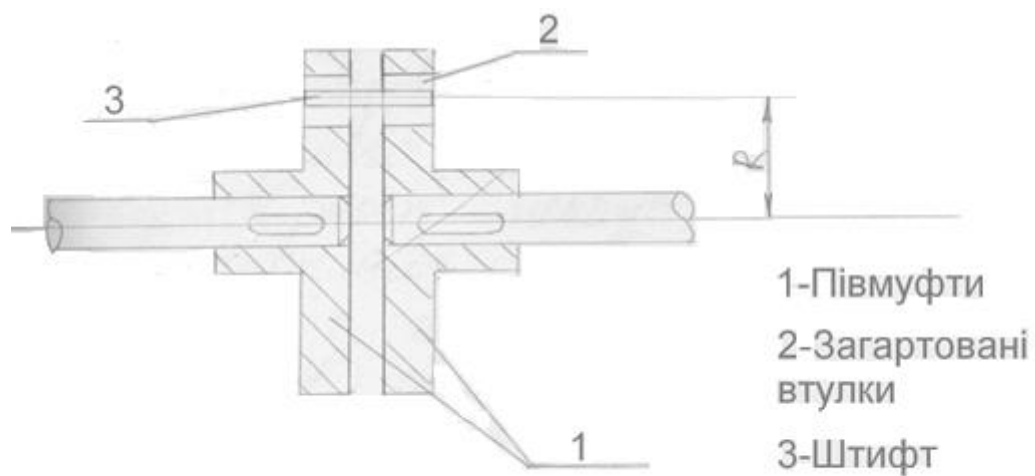


Рисунок 2.4 – Запобіжна муфта

Визначимо необхідний діаметр штифта:

На штифт діє тангенціальна сила зрізу:

$$F_m = \frac{M_{\text{дв}}}{R} \quad (2.12)$$

де $M_{\text{дв}}$ - максимальний крутий момент на валу двигуна

R - радіус розміщення штифта.

$$M_{\text{дв}} = 0,6\text{Нм}, R=12\text{мм}$$

Отже,

$$F_m = \frac{0,6}{0,012} = 50 \text{ Н}$$

При виготовленні штифта із Сталі 20, для якої $\left[r \right]$ або $\left[r_t \right] = 0,5 \cdot 68 = 34 \text{ МПа}$;

$[\sigma_t] = 68 \text{ МПа}$:

$$\text{Площа зрізу: } S_{зр} \frac{F_t}{\left[r_t \right]} = \frac{50}{68 \cdot 10^6} = 7,3 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2 = 7,3 \cdot 10^{-1} \text{ мм}^2$$

$$\text{Діаметр штифта: } d \geq 2 \cdot \sqrt{\frac{S}{\pi}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{7,3 \cdot 10^{-1}}{3,14}} = 0,96$$

2.7 Повірка контрольної системи

В даному приладі для контролю герметичності виробів, а саме поплавків бензобаків періодично проводять перевірку кожного з восьми фотодатчиків, а також їх герметичність. Таку перевірку проводять кожні 64 год. роботи приладу.

Повірка даного приладу полягає у перевірці достовірності показів фотодатчиків, тобто чи дійсно поплавков який виявив придатним фотодатчик є герметичним.

Для цього в одну з касет завантажують 8 бракованих поплавків і повторюють весь цикл контролю. Якщо фотодатчик покаже, що поплавков герметичний, а насправді він розгерметизований, то потрібно міняти даний фотодатчик.

Аналогічним чином перевіряється чи правильно працюють електромагніти на позиції розбракування.

3 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1 Математична модель ємнісного датчика

У цьому розділі розробляється математична модель датчика ємності та вивчається залежність ємності від руху з урахуванням незалежності статичного поля.

Чутливим елементом датчика передачі конденсатора є одна з пластин, яка рухається під впливом вимірювального штока. Вираз ємності для перетворювача з такою ємністю можна знайти з наступного співвідношення.

Ємність перетворювача змінюється дією вимірювального штока, міцно з'єднаного з однією оболонкою конденсатора, який потім рухається і змінює відстань між ними. Енергія цього конденсатора розраховується за наступною формулою.

$$W = \frac{q^2}{2c}; \quad (3.1)$$

де W – енергія даного зарядженого конденсатора, Дж;

q – заряд на обкладках конденсатора, Кн;

c – ємність конденсатора, Ф.

Як варіант, енергію цього конденсатора можна розрахувати за наступною формулою.

$$W = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2 V}{2}; \quad (3.2)$$

де ε - діелектрична проникність середовища між обкладинками;

ε_0 – електрична стала, $\varepsilon_0 = 8,86 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;

E – напруженість

V – об'єм простору між обкладинками, м³.

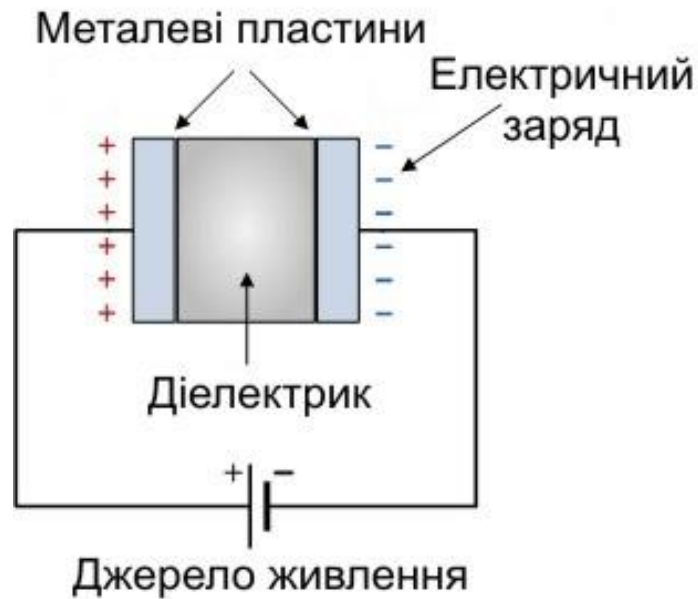


Рисунок 3.1 - Будова конденсатора

У всіх випадках електростатичний простір на краю конденсатора розсіюється, а це означає, що поле на краю не однорідне, а напруженість поля на краю пластин також зменшується в напрямку до краю.

Виходячи з цього, пишемо енергетичну формулу конденсатора з урахуванням розподілу площі по краях оболонок.

$$W = \frac{\varepsilon\varepsilon_0}{2} \left(\frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0} \cdot \frac{q}{x^2} \right)^2 \pi(R-x)^2 x + \frac{\varepsilon\varepsilon_0}{2} \int_{R-x}^R \left(\frac{qx}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r^3} \right)^2 x \cdot 2\pi r dr;$$

$$W = \frac{q^2}{32\pi\varepsilon\varepsilon_0} \cdot \frac{(R-x)^2}{x^3} + \frac{q^2}{32\pi\varepsilon\varepsilon_0} \int_{R-x}^R \frac{2x^3}{r^5} dr;$$

$$W = \frac{q^2}{32\pi\varepsilon\varepsilon_0} \left(\frac{(R-x)^2}{x^3} - \left(\frac{x^3}{2r^4} \Big|_{R-x}^R \right) \right);$$

$$W = \frac{q^2}{32\pi\varepsilon\varepsilon_0} \left(\frac{(R-x)^2}{x^3} + \frac{x^3}{2(R-x)^4} - \frac{x^3}{2R^4} \right); \quad (3.3)$$

де c – ємність конденсатора, Ф;

ε - діелектрична проникність середовища між обкладинками;

ε_0 – електрична стала, $\varepsilon_0 = 8,86 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;

R – радіус обкладок конденсатора, м;

x – відстань між обкладками, м.

Тепер, порівнюючи рівняння (3.1) та (3.3), зробимо певний зсув і отримуємо загальну формулу залежності датчика ємності від руху ємнісного стержня.

$$\frac{q^2}{2c} = \frac{q^2}{32\pi\varepsilon\varepsilon_0} \left(\frac{(R-x)^2}{x^3} + \frac{x^3}{2(R-x)^4} - \frac{x^3}{2R^4} \right);$$

$$C = \frac{16\pi\varepsilon\varepsilon_0}{\frac{(R-x)^2}{x^3} + \frac{x^3}{2(R-x)^4} - \frac{x^3}{2R^4}}; \quad (3.4)$$

Рівняння (3.4) є остаточною формулою для розрахунку ємності ємнісного перетворювача з урахуванням нерівномірності статичного поля по краях пластин.

Висновок: з наведених формул очевидно, що нерівномірність статичного поля на краях прокладки конденсатора незначна $\pm 1\%$.

Програма обрахунку результатів.

```

Program alosha;

Uses graph, crt;

Var I,j:integer; w,t,p2,d,s,c,k5,k2,k3:real;

Begin

    W:=0.5;

    For j:=1 to 4 do begin

        Writeln(' E      x      Ci      Cp      dC ');

        T:=0 p2:=0; d:=0.99437;

        For i:=1 to 10 do begin

            T:=(t+0.1)*d;

            P2:=p2+0.1;

            S:=1.9625;

            C:=w*8.86*s/t;

            K5:=w*8.86*s/p2;

            K2:=2.5*c;

            K3:=2.5*k5;

            Writeln(w:13:2,p2:13:1,k2:13:4,k3:13:4);

            D:=d-0.00563

        End;

        W:=w+0.25;

        Readln;

    End;

```

Програма побудови графіків.

```
Program alosha;  
  
Uses graph, crt;  
  
Type tarr=array[1..5] of real;  
  
Var Driver, Mode, k,m,l,x,j,E:integer;  
  
    k1,n,d,k2,w,t,l,s,c,e:real;  
  
    ch:char;  
  
    text, text1:string;  
  
    point:array[1..563] of PointType;  
  
Begin  
  
    Driver:=Detect;  
  
    InitGraph(Driver, Mode, '');  
  
    If GraphResult<>0 then halt(0);  
  
    Line(37,20,37,335);  
  
    Line(37,335,600,335);
```

```

Line(34,27,37,20);

Line(37,20,40,27);

Line(598,333,605,335);

Line(605,335,598,337);

Line(476,195,468,218);

Line(466,165,435,200);

Outtextxy(589,325,'x, mm');

Outtextxy(0,21,'C,F');

Outtextxy(170,15,'Графік залежності ємності C від переміщення');

Outtextxy(180,25,'          вимірювального штоку X. ');

Outtextxy(260,268,'E=0.5');

Outtextxy(260,210,'E=0.75');

Outtextxy(260,153,'E=1');

Outtextxy(260,210,'E=1.25');

Outtextxy(480,190,'Реальний графік');

Outtextxy(470,160,'Ідеальний графік');

Repeat

    W:=0.5;

    For j:=1 to 4 do begin

        T:=0.0017762;

        For i:=1 to 563 do begin

            Point[I].x:=37+1;

```



```
S:=1.9625;  
C:=w*8.86*s/t;  
T:=t+0.0017762;  
K1:=3.55*c;  
Point[I].y:=335-k  
End;  
Drawpoly(563, point);  
W:=w+0.5;  
End;  
W:=0.5;  
For j:=1 to 4 do begin  
T:=0.0017762;  
D:=1;  
For i:=1 to 563 do begin  
Point[I].x:=37+i;  
S:=1.9625;  
C:=w*8.86*s/t;  
T:=(t+0.0017762)*d;  
D:=d-0.000001;  
K1:=2.55*c;  
K:=trunc(k1);  
Point[I].y:=335-k;
```

```
End;

Drawpoly(563, point);

W:=w+0.5;

End;

X:=155; k:=64; m:=100; e:=0.0;

For I:=0 to 3 do begin

    Line(x,338,x,332);

    Str(m:4;text1);

    Outtextxy(0,331-k,text1);

    Line(34,335-k,41,335-k);

    K:=k+64

    E:=e+0.25

    Str(e:4:2;text);

    Outtextxy(x-15,340,text);

    X:=x+120

    M:=m+100;

End;

Ch:=readkey;

Until ch=#27;

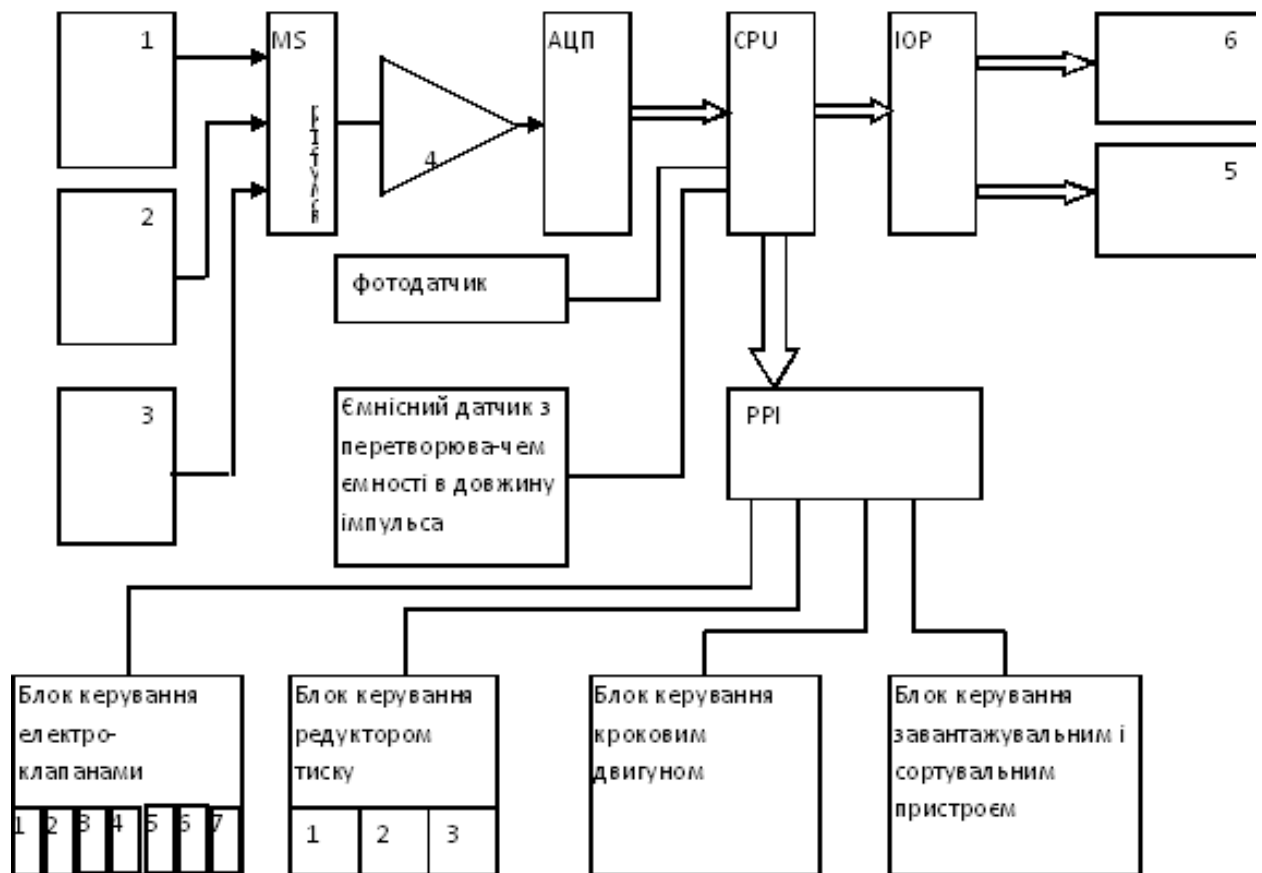
CloseGraph;

End.
```

4 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

4.1 Розробка електричного блоку керування і обробки вимірювальної інформації

Електричний блок управління призначений для прийому, обробки та управління сигналами від датчиків та подачі сигналів.



1, 2, 3 – датчики тиску; 4 – підсилювач; 5 – матриця клавіатури; 6 – блок індикації;

Рисунок 4.1 – Структурна схема пристрою

На схемі показані наступні символи.

ЦП - мікрокомп'ютер;

IOR - клавіатура та контролер індикатора;

РРІ - паралельний послідовний інтерфейс.

Ядром пристрою є ОМЕОМ 1816VE51, що дозволяє пристрою виконувати необхідні операції з даними та моніторинг. ОМЕОМ має перевагу над мікропроцесорами, і ОМЕОМ є повноцінним структурним підрозділом. Сюди входять таймери, пам'ять, порти вводу-виводу, системи обробки переривань та генератори.

Характеристики ОМЕОМ 1816VE51 наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Характеристика ОМЕОМ 1816BE51

Параметр	Значення
Кількість каналів вводу/виводу	4x8
Кількість ліній переривань	2
Тактова частота, МГц	12
Пам'ять даних, байт	128
Пам'ять програм, кбайт	4
Таймер/розрядність	2/16
Напруга живлення, В	5

Ємнісний датчик підключений до ємнісного перетворювача на час змінного імпульсу. Отримавши вхідний сигнал Qing (2-контактний KR1006VN1), зарядить ємність датчика до певної напруги.

$$T=1.1RC_x.$$

В результаті цього формується імпульс тривалість якого і визначається формулою:

$$T=1.1 \cdot R \cdot C_x.$$

Зміна ємності C_x зумовлена зміною положення внутрішнього кільця, яке передається на датчик ємності вимірювальним штоком. Вихідний імпульс подається на вхід таймера T0 1816VE51, який підраховує кількість імпульсів протягом періоду, рівного довжині вхідного імпульсу.

Окрім датчика конденсатора, використовуються також три стандартні датчики тиску МП22518 точний код - 0,6 ОКП421211074705 зі значенням опору вихідного сигналу 2000м - 1,0В при струмі 5,0 мА. У нашому випадку три датчики тиску в залежності від коду на вході комутатора (A0-A1). Ми можемо підключатися по черзі до АЦП та через комутатор 590КН6 залежно від коду введення ключа (A0-A1)..

При допустимому вхідному сигналі для АЦП 1008ПВ2 $\pm 2,5$ В коефіцієнт підсилення по напрузі операційного підсилювача має бути рівним $K_u=2,5$.

Коли вхідний сигнал дозволений для АЦП 1008PV2 $\pm 2,5$ В, збільшення робочого струму має дорівнювати $K_u = 2,5$.

На рисунку 4.2 приведено схеми підсилювача.

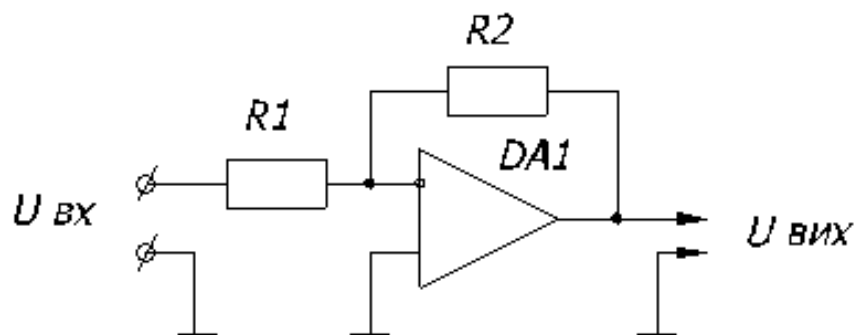


Рисунок 4.2 - Схема операційного підсилювача

$$K_u = \frac{R2}{R1} = 2.5 = \frac{25\text{кОм}}{10\text{кОм}}.$$

Аналого-цифровий перетворювач використовується для перетворення аналогового сигналу з датчика тиску в цифровий з допомогою 1108ПВ2.

Таблиця 4.2 - Характеристика АЦП 1108

Параметри	Значення
Розрядність	12
Час перетворення, мкс	2
Нелінійність δ_2 , МР	± 1
Диф. нелінійність δ_{20} , МР	± 1
Напруга живлення, В	
U_{cc1}	+5
U_{cc2}	-6

Фотосенсор або фотодатчик, який підключений та під'єднано до зовнішнього переривання int1 дозволяє і дає змогу швидко реагувати на наявність тиску.

Управління кроковим двигуном здійснюється за допомогою чотирьох вимикачів живлення під контролем ОМЕОМ через РРІ 580ВВ55

Тиск регулюється за допомогою електродвигунів постійного струму, керованих ОМЕОМ за допомогою РРІ і зворотних перемикачів.

Елементи керування клавіатурою та дисплеєм дозволяють відобразити інформацію про індикатори та запитувати матрицю клавіатури.

Він побудований на мікросхемі К580ВВ79, яка запрограмована на вихідний режим на 16 - бітному дисплеї та опитує матрицю клавіатури, перевіряє їх одночасне натискання та усуває вібрацію контактів. Вихідна частота індикаторів дуже висока, тому для людського ока існує невидимий

момент переходу індикаторів, які працюють в динамічному режимі режиму відображення.

4.2 Розрахунок похибок

Автоматичний пристрій для контролю герметичності поплавків бензобака належить до приладів управління, похибка пристрою повинна бути дуже невеликою. Отже, похибка вимірювання значень буде полягати в точності перетворення в електричний сигнал, що, в свою чергу, буде суворо вимагати від трансформатора вимірювання потужності тривалості імпульсу.

Для ємнісного датчика з чутливістю

$$\frac{\Delta C}{\Delta L} = 0.455 \frac{n\Phi}{\text{мкМ}}$$

похибка вимірювання буде:

$$\delta_c = \frac{\Delta C}{C_N} 100\% = \frac{0.455}{455} 100\% = 0.1\% ;$$

де ΔC – поріг чутливості;

$C_N = C_{\max} - C_{\min} = 505 - 50 = 455$ пФ – діапазон вимірювання.

Похибка перетворення буде:

$$\delta_T = \frac{\Delta T_T}{\Delta T} 100\% \quad (1.1)$$

де $\Delta T_T = \pm 5 \cdot 10^{-7}$ с – похибка таймера процесора;

$$\Delta T = 1,1 \cdot R \cdot r_N;$$

де $R = 20$ Мом;

$$\Delta T = 1,1 \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 455 \cdot 10^{-12} = 1,001 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

Похибка перетворення буде:

$$\delta_T = \frac{5 \cdot 10^{-7}}{1.001 \cdot 10^{-3}} 100\% = 0.005\%.$$

Похибка резистора:

$$\delta_R = \frac{\delta_T}{1.1\delta_c} = \frac{0.005}{1.1 \cdot 0.1} = 0.045\%.$$

Похибка вимірювального навантаження.

Поскілки вимірювальне зусилля створюється за рахунок енергії стиснутого повітря то необхідно з якою точністю задається необхідний тиск.

δ_{p1} – похибка тиску прижимного циліндра.

Тиск в цьому циліндрі на результати контролю фактично не має ніякого впливу і служить для утримання зовнішнього кільця підшипника в нерухомому стані при контролі. Похибка автоматично враховується в коефіцієнті запасу тиску який підводиться до циліндра.

$\delta_{p2} = \delta_{p3}$ – похибка в вимірювальних циліндрах

$$\delta_{p2} = \sqrt{\delta_{sc}^2 + \delta_d^2 + \delta_{нн}^2} \quad (3.1)$$

де δ_d – похибка датчика тиску, з технічних характеристик датчика $\delta_d = 0,6\%$;

$\delta_{алп}$ – похибка АЦП;

$$\delta_{алп} = \delta_{кв} + \delta_n + \delta_{дн}; \quad (3.2)$$

де $\delta_{кв} = \pm 1/2 \text{ МР}$ – похибка квантування;

$\delta_n = \delta_{дн} = \pm 1/2^n * 100\%$ - похибка не лінійності та диф. нелінійності;

При $n=10$ $\delta_{\text{АЦП}}=\pm 0,24\%$

$n=12$ $\delta_{\text{АЦП}}=\pm 0,061\%$

$\delta_{\text{оп}}=\delta_k+\delta_n$ – похибка операційного підсилювача;

де $\delta_k = \frac{\delta_{\beta 1}}{\delta_{\beta 2}}$ – похибка коефіцієнта підсилення, можна значно скоротити

підібравши використані опора, опір яких підібрати з допомогою магазину опорів високої точності;

δ_n – похибка нестабільності підсилювача, $\delta_n = \frac{e_{\text{зм}}}{\Delta_e} 100\%$;

де $e_{\text{зм}}$ – напруга зміщення, $e_{\text{зм}}=\Delta e_{\text{зм}} * \Delta_t$;

$\Delta e_{\text{зм}}=1,3*10^{-6}$ В – температурний дрейф “0”

$\Delta_t=\pm 10^{\circ}\text{C}$ – похибка температури

$\delta_n = \frac{\Delta e_{\text{зм}} * \Delta_t}{\Delta U} 100\% = 0,0026\%$

$\delta_{\text{оп}}=0,01\%+0,0026\%=0,0126\%$.

Загальна похибка вимірювання тиску буде:

$\delta_{p,2} = \sqrt{0,0126^2 + 0,6^2 + 0,0061^2} = 0,603\%$.

Розглянемо вплив похибки тиску на вимірювальне зусилля, яке створює поршень.

Для прикладу візьмемо $p=194,92$ кПа; робоче зусилля від цього тиску $F=310$ Н.

$$p' = \frac{p * 0,603\%}{100\%} = 1,75 \text{ кПа};$$

$$F' = \frac{F * 0,603\%}{100\%} = 1,86 \text{ Н}.$$

4.3 Блок-схема програми управління блоком керування

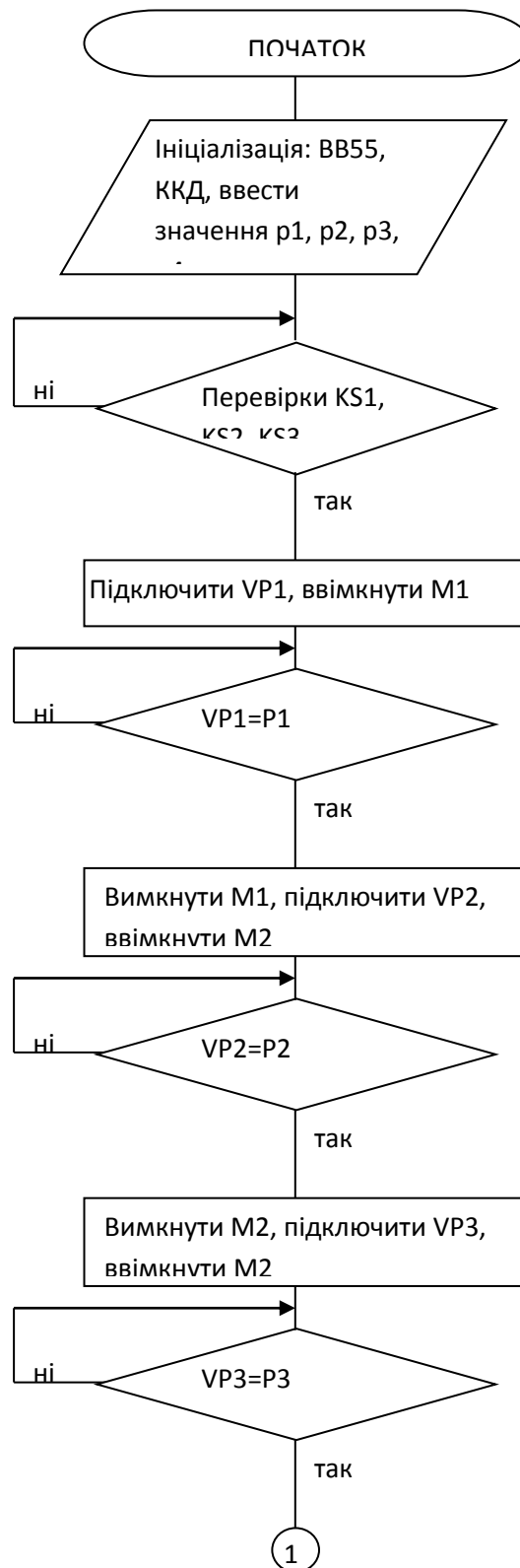
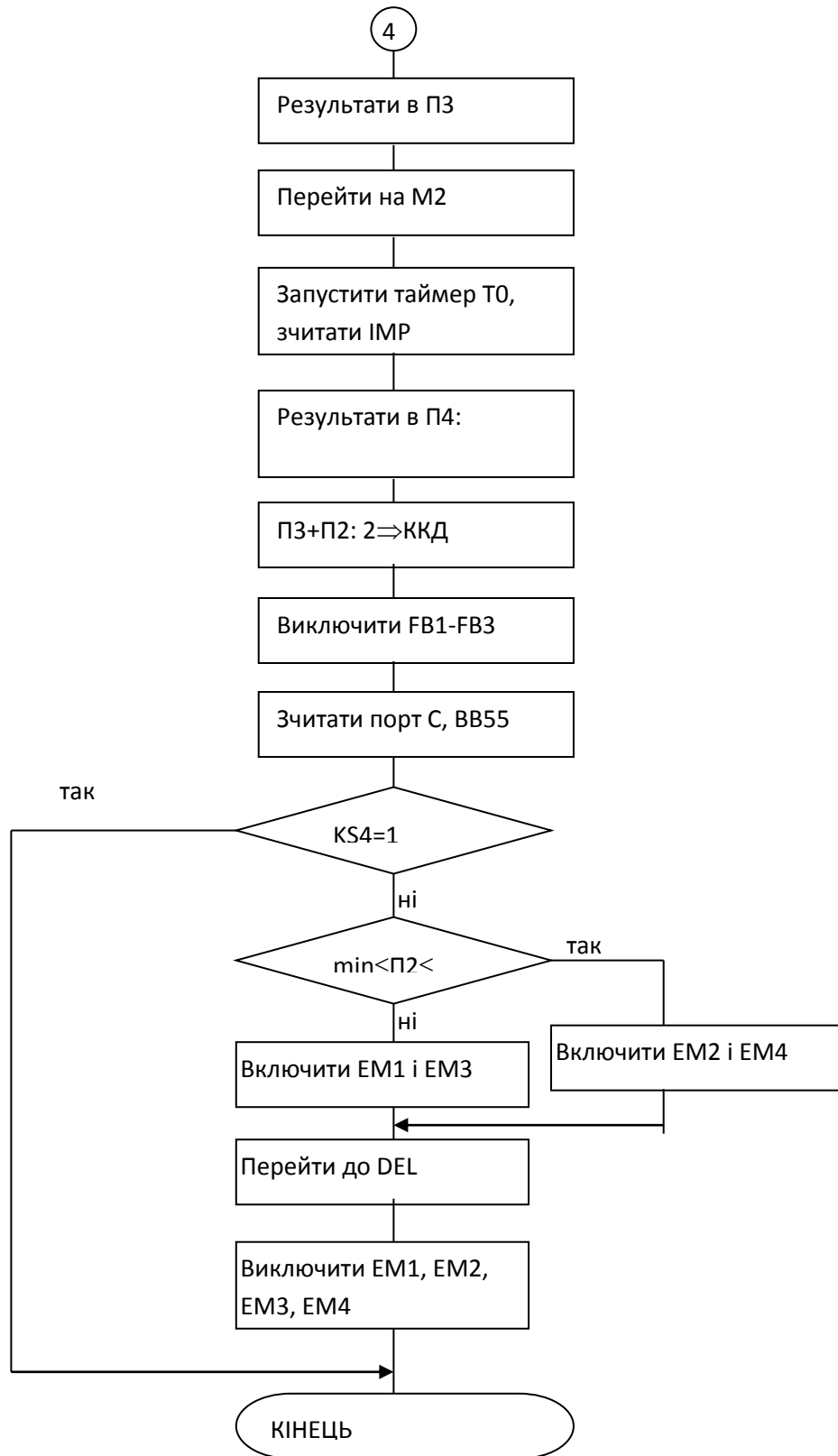


Рисунок 4.3 - Блок-схема програмного керування



Продовження рисунка 4.3

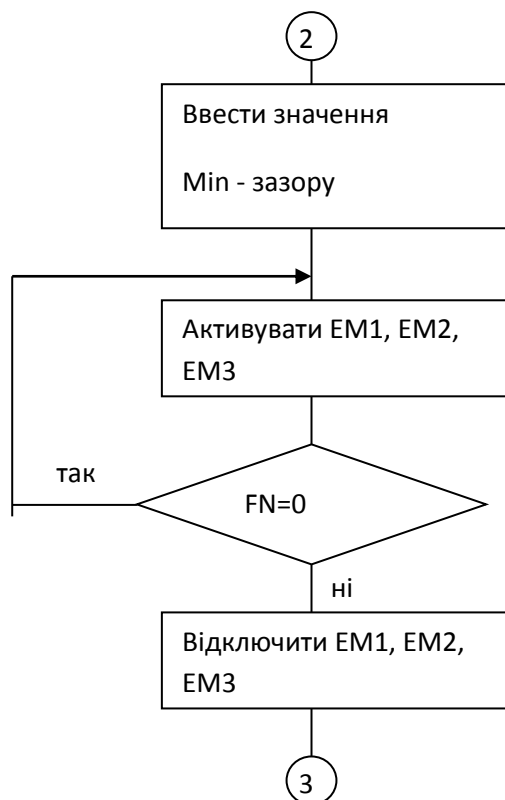


Рисунок 4.4 - Блок-схема програмного керування

4.4 Опис роботи програмного керування

Програма керування працює слідує таким чином. Після подачі живлення, з клавіатури вводять необхідні значення чотирьох тисків P1, P2, P№, P4. Програма циклічно виставляє без зовнішнього втручання по черзі три тиски, відповідно підключаючи вимірювальний перетворювач тиску до АЦП через комутатор, виставляючи потрібний код на виході P2.4 і P2.5 VE51. Встановивши необхідні тиски відбувається звернення до ВВ55 і перевіряються наявність одиничного сигналу на KS4. Наявність якого буде вказувати на режим роботи напівавтомата, тобто з клавіатури буде проводитись керування. Сигнал FN – який вказує на наявність підшипника на вимірювальній позиції і KS4 будуть в нульовому стані, то це буде

означати режим роботи автомата і необхідно автоматично встановити підшипник на вимірювальну позицію з допомогою циклу 2-3. Після цього зверненням до підпрограми WEIT перевіряється наявність підшипника і запуск програми вимірювання. Підпрограми N1 і N2 виконують керування електроклапанами, що під'єднані до двох циліндрів, що фіксують положення підшипника на вимірювальній позиції. Після цього видається сигнал IN і запускається таймер ВІ1, проводиться зчитування кількості імпульсів виданих внутрішнім генератором за тривалість одного імпульса ВІ1. Дані записуються в пам'ять і вмикається електроклапан по підпрограмі N3, який приводить в рух внутрішнє кільце підшипника в іншому напрямку. Запускається ВІ1 і проводиться зчитування кількості імпульсів. Потім знаходиться різниця і записується в пам'ять одночасно з виводом на індикацію по зверненні до підпрограми ККД. Далі іде звернення до підпрограми КД, яка керує кроковим двигуном, що повертає внутрішнє кільце на 90^0 і запускається ВІ1, зчитується кількість імпульсів і записується в пам'ять. Йде встановлення тиску Р4 по підпрограмі KS2. Після встановлення тиску проводиться вимірювання переміщення, знаходиться різниця і разом із записом в пам'ять запускається ККД, перевіряється KS4 і якщо в режимі напівавтомата то переходить на кінець, якщо в режимі автомата то перевіряється результат вимірювання на належність попередньо введеним значенням зазору. Якщо належить то ввімкнути EM2 і EM4 підпрограми N2 і N4, якщо ні то N1 і N3 і викликати затримку підпрограми DEL і вимкнути EM1 і EM3 чи EM2 і EM4 перейшовши після цього на кінець.

Non Nov 15 2020

2500 A.D. 8051 Macro Assembler – Version 4.02a

Input Filename: !Guz. asm

Output Filename: guz.obj

```

1      000F          ORG 15
2
3      ; ІНІЦІАЛІЗАЦІЯ
4      ;KP580 BB 55
5      000F  74 30    MOV A,#30H          ; вибір РУС
6      0011  F5 A0    MOV P2, A          ;BB 55
7      0013  74 88    MOV A, #88H       ;запис керуючого
8      0015  F5 80    MOV P0, A         ;слова
9
10     ;
11     ;ІНІЦІАЛІЗАЦІЯ ККД
12     ;
13     0017  74 00    MOV A, #00H
14     0019  F5 80    MOV P0, A
15     001B  74 34    MOV A, #(20H+20)
16     001D  F5 80    MOV P0, A
17     ;ЗАПУСК ПРОГАРМИ ПО
18     ;НАТИСКАННЮ КНОПКИ
19     ; “ПУСК”
20     001F  30 B4 FD    WAIT: JNB P3.4, WAIT
21     0022  74 40          MOV A, #40H
22     0024  F5 80          MOV P0, A
23     0026  C2 B2          CLR P3.2
24     0028  E5 80          MOV A, P0          ; код кнопки

```

25	002A	B4 0F F2	CJNE A, #0FH, WAIT	; перевірка коду кнопки
26			;	
27			;Ядро програми	
28			;	
29	002D	12 009C	CALL KS1	
30	0030	12 00 B1	CALL KS2	
31	0033	12 00 C6	CALL KS3	
32	0036	75 A0 80	MOV P2, #08H	;вибір к.А ВВ55
33	0039	75 80 00	MOV P0, #00H	;вкл. VP1
34	003C	D2 A0	M1: SETB P2.0	;вкл. АЦП
35	003E	20 A1 FB	JB P2.1, M1	;перев. гот. АЦП
36	0041	E5 90	MOV A, P1	;зчитати код
37	0043	B4 07 0B	CJNE A, #07H, N1	;порівн. з еталон.
38	0046	75 A0 00	MOV P2, #00H	;вкл.М1
39	0049	75 80 04	MOV P0, #04H	
40	004C	12 00 E0	CALL DEL1	;затримка
41	004F	01 3C	JMP M1	
42	0051	75 A0 80	N1: MOV P2, #80H	
43	0054	75 80 01	MOV P0, #01H	
44	0057	D2 A0	M2: SETB P2.0	
45	0059	20 A1 FB	JB P2.1, M2	
46	005C	E5 90	MOV A,P1	
47	005E	B4 07 0B	CJNE A, #07H, N2	
48	0061	75 A0 00	MOV P2, #00H	
49	0064	75 80 10	MOV P0, #10H	
50	0067	12 00 E0	CALL DEL1	
51	006A	01 57	JMP M2	

52	006C	75 A0 80	N2: MOV P2, #80H	
53	006F	75 80 02	MOV P0, #02H	
54	0072	D2 A0	M3: SETB P2.0	
55	0074	20 A1 FB	JB P2.1, M3	
56	0077	E5 90	MOV A, P1	
57	0079	B4 07 0B	CJNE A, #07H, N3	
58	007C	75 A0 00	MOV P2, #00H	
59	007F	75 80 40	MOV P0,#40H	
60	0082	12 00 E0	CALL DEL1	
61	0085	01 72	JMP M3	
62	0087	75 A0 90	N3: MOV P2, #90H	; канал В
63	008A	75 80 10	MOV P0, #10H	;вкл. FB1
64	008D	12 00 DB	CALL DEL	
65	0090	75 80 20	MOV P0, #20H	;вкл. FB2
66	0093	12 00 DB	CALL DEL	
67	0096	12 00 E9	CALL KD	
68	0099	02 00 FD	JMP END	
69				
70	009C		KS1:	
71	009C	75 A0 A0	M10: MOV P2, #0A0H	
72	009F	E5 80	MOV A, P0	
73	00A1	54 80	ANL A, #80H	
74	00A3	70 0B	JNZ M11	
75	00A5	75 A0 00	MOV P2, #00H	
76	00A8	75 80 04	MOV P0, #04H	
77	00AB	12 00 E0	CALL DEL1	
78	00AE	01 9C	JMP M10	
79	00B0	22	M11: RET	


```

80
81      00B1      KS2:
82      00B1  75 A0 A0  M20: MOV P2, #0A0H
83      00B4  E5 80      MOV A, P0
84      00B6  54 40      ANL A, #40H
85      00B8  70 0B      JNZ M21
86      00BA  75 A0 00      MOV P2, #00H
87      00BD  75 80 10      MOV P0, #10H
88      00C0  12 00 E0      CALL DEL1
89      00C3  01 B1      JMPM20
90      00C5  22      M21: RET
91
92      00C6      KS3:
93      00C6  75 A0 A0  M30: MOV P2, #0A0H
94      00C9  E5 80      MOV A,P0
95      00CB  54 20      ANL A, #20H
96      00CD  70 0B      JNZ M31
97      00CF  75 A0 00      MOV P2, #00H
98      00D2  75 80 40      MOV P0, #40H
99      00D5  12 00 E0      CALL DEL1
100     00D8  01 C6      JMP M30
101     00DA  22      M31: RET
102
103     ;СТВОРЕННЯ ЧАСОВОЇ
104     ;ЗАТРИМКИ ДЛЯ
105     ;FB1, FB2
106     00DB  74 14      DEL: MOV R2, #20
107     00DD  DA FE      D1: DJNZ R2, D1

```

```

108  00DF  22                RET
109                ;СТВОРЕННЯ ЧАСОВОЇ
110                ;ЗАТРИМКА ДЛЯ
111                ;РОБОТИ ДВИГУНА
112  00E0  79 14          DEL1: MOV R1, #20
113  00E2  7B C8          D3: MOV R3, #200
114  00E4  DB FE          D2: DJNZ R3, D2
115  00E6  D9 FA                DJNZ R1, D3
116  00E8  22                RET
117
118                ;
119                ;УПРАВЛІННЯ КД
120                ;
121  00E9  75 A0 88        KD: MOV P2, 88H
122  00EC  79 14                MOV R1, #20
123  00EE  75 80 03        W1: MOV P0, #03H
124  00F1  75 80 06                MOV P0, #06H
125  00F4  75 80 0C                MOV P0,#0CH
126  00F7  75 80 09                MOV P0, #09H
127  00FA  D9 F2                DJNZ R1, W1
128  00FC  22                RET
129  00FD                END: END

```

LINEA ASSEMBLED: 129

ASSEMBLY ERRORS: 0

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Заходи з техніки безпеки при експлуатації пневмоелектромеханічної установки

Автомат для контролю роботи автомату контролю герметичності поплавків бензобаків є блочним напівпровідниковим комплексом з використанням засобів обчислювальної техніки. Тому експлуатацію автомата повинен виконувати спеціально навчений персонал, в розпорядженні якого будуть знаходитись: комплект виконавчої технічної документації, вимірювальні прилади, осцилограф. При умовах правильної експлуатації автомат забезпечує надійну роботу з дуже малим відказом.

5.1.1 Умови експлуатації автомата

а) автомат повинен експлуатуватися при нормальних метеорологічних і експлуатаційних умовах;

б) персонал, що забезпечує контроль за автоматом повинен бути ознайомлений з будовою, принципом роботи, електричними і функціональними схемами;

в) при роботі з установкою необхідно дотримуватись загальних правил техніки безпеки праці, що поширюються на механічні, електричні і пневмонічні прилади;

г) при експлуатації установки обслуговуючий персонал повинен бути в головному уборі і застібнутому спецодязі. Остерігатись захвату рухомими частинами установки.

5.1.2 Заходи по техніці безпеки

- роботи по огляду і профілактиці стану автомата забороняється проводити без вимикання напруги;
- при проведенні профілактичних і ремонтних робіт автомат повинен бути від'єднаним від магістралі, оскільки нульовий показ манометрів не може служити достовірною ознакою відсутності стиснутого повітря;
- підтягування накидних гайок датчиків, трубопроводів проводити тільки на непрацюючому автоматі, при відсутності надлишкового тиску;
- вся електроапаратура і проводка повинні мати конструкцію яка виключає дотик з струмопровідними частинами;
- корпуси автомата, електромагнітних клапанів, редукційних клапанів повинні бути заземлені;
- контроль опору заземлення проводити не менше одного разу в рік. $R_3 \leq 40 \text{ Ом}$ (ПУЭ);
- обслуговування електропроводів проводити у відповідності з встановленими правами експлуатації електричних установок;
- при експлуатації автомата з'єднувальні трубопроводи повинні бути розраховані на тиск більший ніж експлуатаційний;
- контрольні манометри повинні мати клейма ГОСТ повірки і повірятися не менше одного разу в рік;
- експлуатація манометрів з простроченим терміном забороняється;
- не допускається експлуатація установки при тиску більшому за верхнє граничне значення.

Виконання вище перерахованих заходів забезпечить надійну і безпечну експлуатацію автомата.

5.2 Розрахунок запобіжного клапана для захисту технологічного обладнання від руйнування

Запобіжний клапан проказаний на рисунку 1. будем розраховувати з слідуючих вихідних даних:

$P_{вх}=0,55$ МПа – вхідний максимальний тиск;

$P_{вих}=0,5$ МПа – вихідний максимальний тиск;

$D_{мем}=50$ мм – діаметр мембрани;

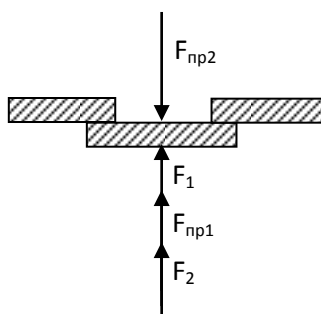
$d_{клап}=15$ мм – діаметр клапана;

$D_1=10$ мм – діаметр пружини клапана;

$d_1=1$ мм – діаметр дроту пружини клапана;

$D_2=30$ мм – діаметр пружини мембрани.

Розрахувати d_2 – діаметр дроту пружини мембрани і інші конструктивні параметри.



$F_{пр2}$ – сила пружини мембрани;

$F_{пр1}$ – сила пружини клапана;

F_1 – зусилля від вхідного тиску;

F_c – зусилля від вихідного тиску;

Рисунок 5.1 – розрахункова схема навантажень клапана.

$$F_1 = S_1 * P_{вх} = \frac{3,14 * (10 * 10^{-3})^2}{4} * 0,55 * 10^6 = 6,48 \text{ Н};$$

де $S_1 = \frac{\pi * d_{клап}^2}{4}$ - площа клапана;

$$F_{np1} = \frac{\lambda_1 * \sigma_1 * d_1^4}{8 * D^3 * n_1} = \frac{5 * 8 * 10^4 * 1^4}{8 * 10^3 * 4} = 12,5 \text{ Н};$$

де λ_1 – деформація пружини клапана, $\lambda_1 = 5$ мм;

$\sigma_1 = 8 * 10^4$ Н/мм² – для сталі модуль зсуву;

$d_1 = 1$ мм – діаметр дроту пружини;

$D_1 = 10$ мм – діаметр навивки пружини;

$n_1 = 4$ – число витків пружини.

Зусилля від вихідного тиску буде:

$$F_2 = S_2 * P_{вих} = \frac{3,14 * (50 * 10^{-3})^2}{4} * 0,5 * 10^6 = 981,7 \text{ Н};$$

Виходячи з умови рівноваги сил:

$$F_{np2} = F_{np1} + F_1 + F_2 = 12,5 + 6,48 + 981,7 = 1000,2 \text{ Н}.$$

Визначимо діаметр дроту пружини мембрани:

$$d_{2\min} = \sqrt[4]{\frac{8 * F_{np2} * D_2^3 * n_2}{\lambda_2 * \sigma_1}} = \sqrt[4]{\frac{8 * 1000,2 * 30^3 * 5}{15 * 8 * 10^4}} = 5,47 \text{ мм}.$$

Приймаємо $d_{2np} = 5,5$ мм:

де $F_{np2} = 1000,2$ Н – робоче зусилля пружинив кінці робочого ходу;

$\lambda_2 = 15$ мм – робочий хід пружини;

d_2 – діаметр дроту пружини;

$n_2 = 5$ – число витків пружини;

$D_2 = 30$ мм – діаметр навивки пружини.

Перевірка міцності пружини.

Індекси пружини:

$$\text{мембрани: } c_2 = \frac{D_2}{d_{2n}} = \frac{30}{5,5} = 5,45 ;$$

$$\text{клапана: } c_1 = \frac{D_1}{d_1} = \frac{10}{1} = 10 .$$

Перевірку міцності пружини проводимо по формулі:

$$\tau = \frac{8F * D * K}{\pi * d^3} \leq [\tau]$$

де F – робоче зусилля пружини;

D – діаметр навивки;

d – діаметр дроту пружини;

K – поправочний коефіцієнт, $K = 1 + \frac{1,4}{\varepsilon}$;

[τ] – допустиме напруження кручення,

$$[\tau] = 0,5 * \sigma_b * K_1 = 0,5 * 1600 * 10^6 * 0,83 = 660 \text{ МПа};$$

де $\sigma_b = 1600 \text{ МПа}$ – границя міцності;

$K_1 = 0,83$ при 10^5 циклах навантаження.

$$\tau_1 = \frac{8 * 12,5 * 10 * 1,14}{3,14 * 1^3} = 362,87 \text{ МПа.}$$

$$K_1 = 1 + \frac{1,4}{10} = 1,4 ;$$

$$\tau_1 = 363 \text{ МПа} \leq 650 \text{ МПа.}$$

$$\tau_2 = \frac{8 * 1000,2 * 30 * 1,28}{3,14 * 5,5^3} = 578 \text{ МПа}$$

$$K_2 = 1 + \frac{1,4}{5,45} = 1,28$$

$$\tau_2 = 578 \text{ МПа} \leq 650 \text{ МПа.}$$

Розрахунок конструктивних параметрів.

Кількість робочих витків:

$$\text{для } c = 10: n_1 = \frac{\zeta * d^4 * \lambda_1}{8F_1 * D_1^3} = \frac{8 * 10^4 * 1^3 * 5}{8 * 1.25 * 10^3} = 4;$$

$$\text{для } c = 5,45: n_2 = \frac{\zeta * d_2^4 * \lambda_2}{8F_2 * D_2^3} = \frac{8 * 10^4 * 5.5^4 * 15}{8 * 1000,2 * 30^3} = 5.$$

Загальна кількість витків:

$$n_{01} = n_1 + 2 = 4 + 2 = 6$$

$$n_{02} = n_2 + 2 = 5 + 2 = 7.$$

При максимальному осьовому навантаженні зазор між витками:

$$\Delta_1 = \frac{0,2 * \lambda_1}{n_1} = \frac{0,2 * 5}{4} = 0,25 \text{ мм};$$

$$\Delta_2 = \frac{0,2 * 15}{5} = 0,60 \text{ мм.}$$

Крок витків не навантаженої пружини:

$$h_1 = \frac{\lambda_1}{n_1} + \Delta_1 + d_1 = \frac{5}{4} + 0,25 + 1 = 2,50 \text{ мм};$$

$$h_2 = \frac{\lambda_2}{n_2} + \Delta_2 + d_2 = \frac{15}{45} + 0,60 + 5,50 = 9,10 \text{ мм.}$$

Довжина пружини стиснутої до дотику витків:

$$H_{сп1} = (n_{01} - 0,5) * d_1 = (6 - 0,5) * 1 = 5,50 \text{ мм};$$

$$H_{сп2} = (n_{02} - 0,5) * d_2 = (7 - 0,5) * 5,5 = 35,75 \text{ мм.}$$

Довжина не навантаженої пружини:

$$H_0 = H_{\text{сп1}} + n_1 * (h_1 - d_1) = 5.5 + 4 * (2.5 - 1) = 11.5 \text{ мм}$$

$$H_{02} = H_{\text{сп2}} + n_2 * (h_2 - d_2) = 35.75 + 5 * (9.10 - 5.5) = 53.75 \text{ мм.}$$

Довжина дроту для виготовлення пружини:

$$l_1 = \frac{\pi * D_1 * n_{01}}{\cos \alpha_1} = \frac{3.14 * 10 * 6}{\cos 4.55} = 189 \text{ мм};$$

$$L_1 = \arctg \left[\frac{h_1}{\pi * D_1} \right] = \arctg \left[\frac{2.5}{3.14 * 10} \right] = 4.5^\circ;$$

$$l_2 = \frac{\pi * D_2 * n_{02}}{\cos \alpha_2} = \frac{3.14 * 30 * 7}{\cos 5.52} = 663 \text{ мм};$$

$$L_2 = \arctg \left[\frac{h_2}{\pi * D_2} \right] = \arctg \left[\frac{9.12}{3.14 * 30} \right] = 5.52^\circ.$$

5.3 Заходи по забезпеченню санітарно-технічних вимог на дільниці випробувань

Дільниця випробувань автомата контролю роботи автомату контролю герметичності поплавків бензобаків створена згідно вимог санітарних норм СН 245-712 санитарные нормы проектирования промышленных предприятий. При цьому особливу увагу звернено на слідуєчі заходи по забезпеченню санітарних вимог:

- об'єм виробничого приміщення на кожного працівника забезпечується не менше 15 м³, площа не менше 4,5 м²;
- для безпеки руху працівників і зручності транспортування вантажів передбачені проходи і проїзди, які відмічені білою фарбою;
- товщина стін цеху виключає можливість конденсації вологи на внутрішніх поверхнях, що задовольняє умовами ГОСТ 12,1,005-88

“Общие обще санитарные требования к воздуху в санитарной зоне” і забезпечує дотримання необхідної вологості повітря;

➤ згідно ГОСТ 12,1,005-88 “Общие обще санитарные требования к воздуху в санитарной зоне” в приміщенні цеху створені нормальні метеорологічні умови для виконання робіт категорії середньої важкості:

а) температура повітря $+20 \pm 2^{\circ}\text{C}$;

б) вологість повітря $-30 - 60\%$;

в) швидкість руху повітря $-0,2 - 0,3 \text{ м/с}$;

➤ в цеху передбачена природня загальнообмінна вентиляція повітря;

➤ нормування виробничого освітлення здійснена згідно СНиП II – 4-79 “Естественная и искусственное освещение. Нормы проектирования.” Освітлення на робочому місці в межах 200-300 лк.

➤ шум у відповідності норм ГОСТ 12,1,003-83 “Шум” і не перевищує на робочому місці 80 дБл;

➤ вібрація у відповідності санітарних норм СН 245-71 “Санитарные нормы проектирование промышленных предприятий”;

➤ здійснюється прибирання приміщення цеху;

➤ на робочому місці є інструкція по безпеці праці на автоматі, дотримання якої забезпечує безпечну експлуатацію автомата для контролю роботи автомату контролю герметичності поплавків бензобаків.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО РОБОТИ

У даній роботі розроблено інформаційно-вимірювальну систему для забезпечення роботи автомату контролю герметичності поплавків бензобаків. В розробленому автоматі за основу взято бульбашковий метод контролю герметичності виробів. Для збільшення продуктивності, а також можливості контролю всього процесу за допомогою ЕОМ візуальне спостереження замінено фотодатчиком. Цей метод контролю використовують при контролі герметичності газових балонів, баків і тому подібних, що мають різьбовий штуцер. Його також використовують для контролю замкнутих об'єктів, наприклад систем теплообміну, холодильних агрегатів.

У частині математичного моделювання розглядається задача побудови математичної моделі датчика конденсатора та вивчається залежність ємності переміщення з урахуванням нерівномірності статичного поля зміщення, остаточною формулою розрахунку перетворювальної ємності конденсатора.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1 Ясь Д.С., Подмоков В.Б., Дяденко Н.С. Испытания на трение и износ. Киев: Техніка, 1971. – 90 с.
- 2 Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3-х т.Т.1.- М.: Машиностроение, 1980.-728 с.
- 3 Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3-х т.Т.2.- М.: Машиностроение, 1980.-559 с.
- 4 Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3-х т.Т.3.- М.: Машиностроение, 1980.-557 с.
- 5 Курсовое проектирование по технологии машиностроения / А.Ф. Горбачевич и др.-Минск:Вышэйшая школа, 1970.-286 с.
- 6 Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т.Т.1/Под ред. А.Г.Косиловой и Р.К. Мещерякова.-М.: Машиностроение, 1985.-656 с.
- 7 Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т.Т.2 /Под ред.А.Г.Косиловой и Р.К. Мещерякова.-М.: Машиностроение, 1985.-494 с.
- 8 Колкер Я.Д. Математический анализ точности механической обработки деталей. - Киев: Техніка, 1976. - 200 с.
- 9 Теория и проектирование контрольных автоматов. Учебное пособие для вузов / Л.Н. Воронцов, С.Ф.Корндорф, В.А. Трутень, А.В. Федотов.М.:Высшая школа,1980.-560 с.
- 10 Высоцкий А.В., Соболев М.П., Этнигоф М.И. Активный контроль в металлообработке.-М.:Изд-во стандартов, 1979.-175 с.
- 11 Технический контроль в машиностроении:Справочник проектировщика / Под общ.ред. В.Н. Чупырина, А.Д. Никифорова.- М.:Машиностроение, 1987.-512 с.

- 12 Защита объектов народного хозяйства от оружия массового поражения: Справочник / Под ред Г.П. Демиденко.- К.: Вища шк., 1987.- 256 с.
- 13 Закалик Л.І., Ткачук Р.А. Основы мікроелектроніки: Навчальний посібник.-Тернопіль: ТДТУ ім. І. Пулюя, 1998.- 352 с.
- 14 Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах.- Л.: Энергоатомиздат, 1988.-304 с.
- 15 Вуколов Н.И., Михайлов А.Н. Знакосинтезирующие индикаторы : Справочник / Под ред. В.В. Балашова.- М.: Радио и связь, 1985.-576 с.
- 16 Шилов В.Л. Популярныe цифровые микросхемы.-М.: Металлургия, 1988.- 352 с.
- 17 Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры : Справочник / Под ред. Э.Т. Романычевой .- М.: Радио и связь, 1989.- 448 с.
- 18 Самофалов К.Г. Микропроцессоры.- К.: Техніка, 1988. 252 с.
- 19 Богомолов Г.Н. Численные методы анализа. - М.: МВТУ им. Баумана, 1985. - 60 с.
- 20 Технология технического контроля в машиностроении / Под ред. В.Н. Чупырина.-М.:Изд-во стандартов,1990.-400 с.
- 21 Измерение электрических и неэлектрических величин:Учебное пособие для вузов/Н.Н. Евтихийев,Я.А.Купершмидт,В. Ф.Папуловский, В.Н.Скугоров; Под общ. ред. Н.Н. Евтихьева.-М.: Энергоатомиздат, 1990.- 352 с.
- 22 Електричні вимірювання електричних та неелектричних величин / Під ред. Е.С. Поліщука.-К.:Вища школа,1978.-352 с.
- 23 Лаврова А.Т. Элементы автоматических приборных устройств. М.: Машиностроение,1975.-456 с.

- 24 Зайцев Д.А. Математичні моделі дискретних систем: Навчальний посібник // Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2004. – 40 с.
- 25 Математичні основи теорії телекомунікаційних систем / Підручник за загальною редакцією В.В. Поповського. – Харків, ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 564 с.
- 26 Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. – М. Мир, 1984. – 264 с.
- 27 Котов В.Е. Сети Петри. – М.: Наука, 1984. – 160 с.
- 28 Ачасова С.М., Бандман О.Л. Корректность параллельных вычислительных процессов. – Н.: Наука, 1990. – 253 с.
- 29 Слепцов А.И., Юрасов А.А. Автоматизация проектирования управляющих систем гибких автоматизированных производств / Под ред. Б.Н.Малиновского. – К.: Техніка, 1986. – 160 с.
- 30 Динамическое управление потоками информации в сетях связи [Text] / В. Г. Лазарев, Ю. В. Лазарев. - М. : Радио и связь, 1983. - 216 с. : ил. - 2.60 р
- 31 Системы автоматизированного проектирования в 9-ти кн. Учеб. пособие/ Под ред. И. П. Норенцова.-М. Высшая школа. 1986.
- 32 Петренко А. И. Основы автоматизации проектирования.-Киев: Техника, 1983.-295 с.
- 33 Русак И. М., Луговский В. П. Технические средства ПЭВМ. Мн. Вышэйшая школа, 1996.

ДОДАТКИ

Таблиця 3.1 - Результати обрахунків

Е	х	Ci	Cp	DC
0.50	0.010	1.01E-10	1.01E-10	2.32E-20
0.50	0.109	3.59E-11	3.59E-11	5.22E-19
0.50	0.208	2.18E-11	2.18E-11	2.34E-18
0.50	0.307	1.57E-11	1.57E-11	6.34E-18
0.50	0.406	1.22E-11	1.22E-11	1.34E-17
0.50	0.505	1.00E-11	1.00E-11	2.45E-17
0.50	0.604	8.49E-12	8.49E-12	4.04E-17
0.50	0.703	7.37E-12	7.37E-12	6.22E-17
0.50	0.802	6.51E-12	6.51E-12	9.08E-17
0.50	0.901	6.15E-12	6.15E-12	1.08E-16
0.50	1.000	5.54E-12	5.54E-12	1.49E-16
0.75	0.010	1.52E-10	1.52E-10	3.48E-20
0.75	0.109	5.38E-11	5.38E-11	7.83E-19
0.75	0.208	3.27E-11	3.27E-11	3.51E-18
0.75	0.307	2.35E-11	2.35E-11	9.51E-18
0.75	0.406	1.83E-11	1.83E-11	2.01E-17
0.75	0.505	1.50E-11	1.50E-11	3.67E-17
0.75	0.604	1.27E-11	1.27E-11	6.06E-17

0.75	0.703	1.11E-11	1.11E-11	9.33E-17
0.75	0.802	9.76E-12	9.76E-12	1.36E-16
0.75	0.901	9.22E-12	9.22E-12	1.62E-16
0.75	1.000	8.30E-12	8.30E-12	2.23E-16
1.00	0.010	2.02E-10	2.02E-10	4.64E-20
1.00	0.109	7.18E-11	7.18E-11	1.04E-18
1.00	0.208	4.36E-11	4.36E-11	4.67E-18
1.00	0.307	3.13E-11	3.13E-11	1.27E-17
1.00	0.406	2.45E-11	2.45E-11	2.68E-17
1.00	0.505	2.01E-11	2.01E-11	4.89E-17
1.00	0.604	1.70E-11	1.70E-11	8.08E-17
1.00	0.703	1.47E-11	1.47E-11	1.24E-16
1.00	0.802	1.30E-11	1.30E-11	1.82E-16
1.00	0.901	1.23E-11	1.23E-11	2.16E-16
1.00	1.000	1.11E-11	1.11E-11	2.97E-16
1.25	0.010	2.53E-10	2.53E-10	5.80E-20
1.25	0.109	8.97E-11	8.97E-11	1.31E-18
1.25	0.208	5.45E-11	5.45E-11	5.84E-18
1.25	0.307	3.92E-11	3.92E-11	1.58E-17

1.25	0.406	3.06E-11	3.06E-11	3.35E-17
1.25	0.505	2.51E-11	2.51E-11	6.12E-17
1.25	0.604	2.12E-11	2.12E-11	1.01E-16
1.25	0.703	1.84E-11	1.84E-11	1.56E-16
1.25	0.802	1.63E-11	1.63E-11	2.27E-16
1.25	0.901	1.54E-11	1.54E-11	2.70E-16
1.25	1.000	1.38E-11	1.38E-11	3.72E-16