

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(назва факультету)

Приладів та контрольно-вимірювальних систем  
(повна назва кафедри)

# ПОЯСНОВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту (роботи)

## Магістр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему:

**«Інформаційно-вимірювальна система пристрою для  
комплексного контролю зовнішнього діаметра та величини  
замка поршневих кілець»**

Виконав: студент (ка) 6 курсу, групи РНм-61  
спеціальності (напряму підготовки) 153

**«Мікро- та наносистемна техніка»**

(шифр і назва спеціальності (напряму підготовки))

Липак А.А.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Чайковський А.В.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Апостол Ю.О.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент   
(підпис) (прізвище та ініціали)

## ВСТУП

Згідно поставленої задачі спроектована установка для дослідження характеристик кільцевих пружин повинна проводити вимірювання деформації кільця при прикладанні відповідної сили. При дії прикладеної сили досліджуваний елемент деформується і величина його деформації є прямо пропорційна прикладеному зусиллю.

Спроекований пристрій для дослідження пружних характеристик стопорних кільць призначений для вимірювання деформації кільця при прикладанні до нього осьової сили. Також розроблений автоматичний вузол завдяки якому, проводиться автоматична подача кільць на вимірювальну позицію і подальше їх розсортування.

Установка володіє високою швидкістю завдяки спроектованій функціональній схемі керування з використанням мікропроцесорної техніки. Передбачено керування установкою як в ручному режимі, так і в автоматичному, з допомогою кнопок керування або за допомогою персонального комп'ютера.

## ЗМІСТ

### Вступ

1	Дослідницько-конструкторська частина	10
1.1	Аналіз поставленої задачі	10
1.1.1	Результати патентного пошуку	10
1.2	Схема та методика випробування	13
1.2.1	Засоби для вимірювання сили	14
1.2.2	Перетворювачі для вимірювання переміщення	18
1.3	Принцип роботи установки	22
1.4	Розрахунок навантажувального пристрою	23
1.5	Розрахунок тензобалки	27
1.6	Циклограма роботи установки	30
1.7	Вибір датчика переміщення	32
1.8	Принципова схема підключення тензорезисторів	33
1.9	Похибка установки	35
1.9.1	Похибка при вимірюванні сили	35
1.9.2	Похибка при вимірюванні переміщення	36
2	Основи наукових досліджень та матмоделювання	38
2.1	Аналіз об'єкта дослідження	38
2.2	Кільце під дією осьової сили	41
3	Електроніка, мікропроцесорна техніка та САПР	43
3.1	Розробка функціональної схеми	43
3.1.1	Вимоги до функціональності та параметрів системи	43
3.1.2	Способи реалізації заданих функцій	44
3.1.3	Функціональна схема та опис принципу роботи	45
3.2	Розробка принципової схеми	47
3.2.1	Підрахунок мінімальної кількості виводів мікроконтролера	47
		48

3.2.2	Вибір мікроконтролера	50
3.2.3	Будова контролера	54
3.2.4	Вибір дисплея	59
3.2.5	Розрахунок номіналів елементів	
3.3	Метрологічний аналіз	61
3.3.1	Бюджет похибок вимірювального каналу	61
3.4	Опис алгоритму роботи	64
4	Обґрунтування економічної ефективності	65
5	Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	77
6	Екологія	94
7	Висновок	100
8	Перелік посилань	102
9	Додатки	

## 1 ДОСЛІДНИЦЬКО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 1.1 Аналіз поставленої задачі

#### 1.1.1 Результати патентного пошуку

Машина для випробовування пружин МІП-0,1 5053 ГОСТ 17086-70 (рисунок 1.1) застосовується для статичних випробувань гвинтових, циліндричних, кільцевих пружин на стиск і розтяг. Машина виконана як настільна установка і складається з корпусу, вимірювання навантаження і навантажувальної системи з вимірюванням висоти (довжини).

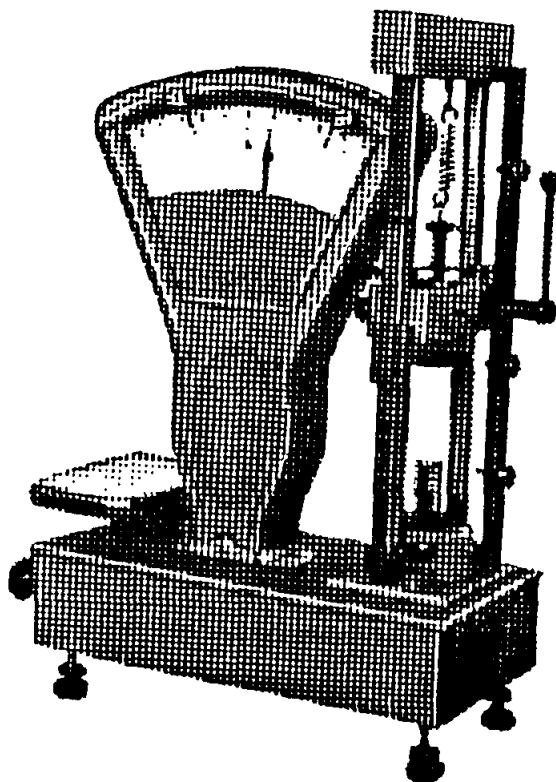
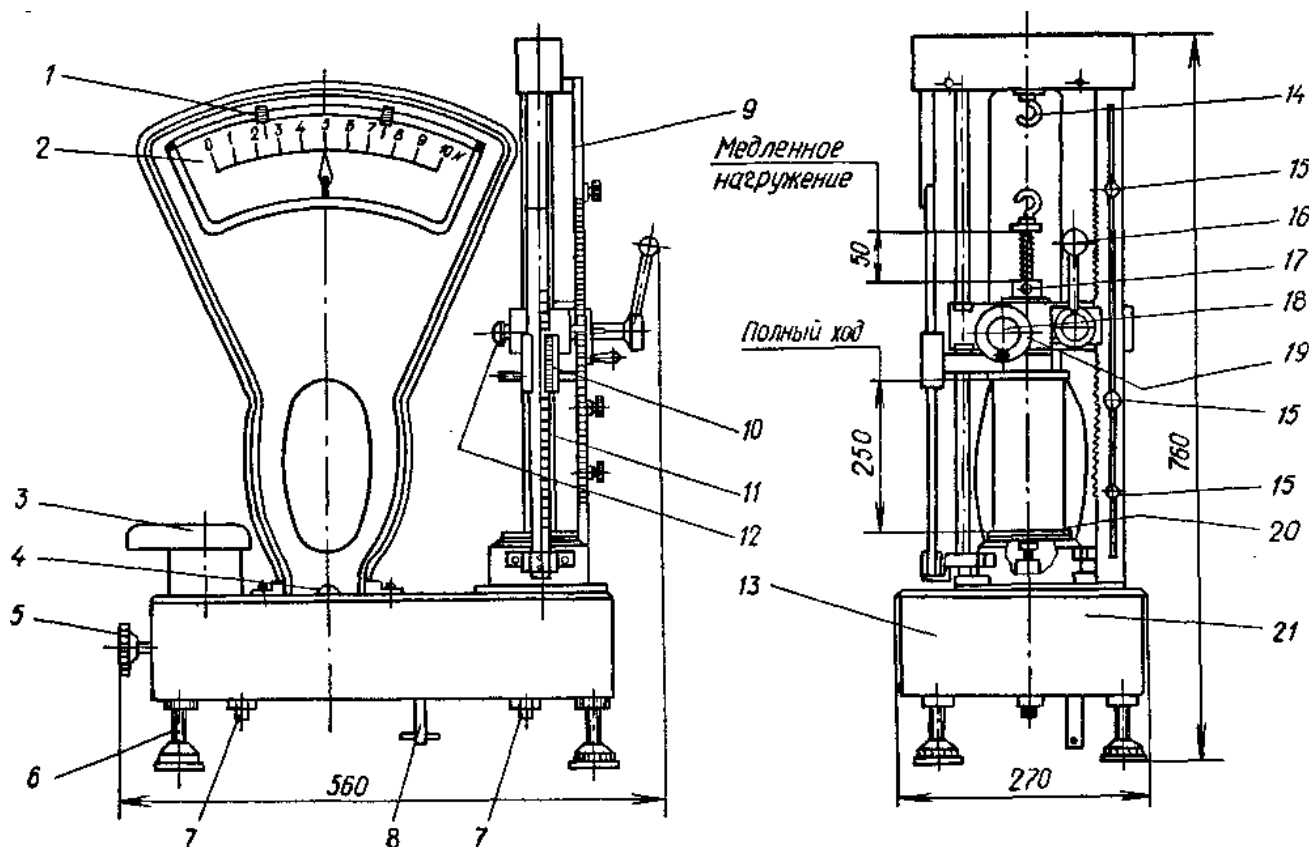


Рисунок 1.1 – Машина типу МІП-0,1 5053



1 - вказівник; 2 - шкала вимірювання навантаження; 3 - вантажний стакан; 4 - рівень; 5 - рукоятка; 6 - опорна ніжка; 7 - буфер; 8 - ізолятор; 9 - привод; 10 - конус; 11 - шкала вимірювання довжини; 12 - рукоятка стопоріння каретки; 13 - корпус; 14 - гак для підвішування пружини розтягу; 15 - обмежувач ходу; 16 - рукоятка швидкого навантаження; 17 - обмежувач руху; 18 - рукоятка повільного навантаження; 19 - каретка; 20 - опора для встановлення пружини стиску; 21 - гвинт регулювання демпфера

Рисунок 1.2 – Конструктивне креслення машини типу МІІІ-0,01 5053

#### Технічні характеристики:

Види досліджень: стиск, розтяг, згин.

Тип приводу - ручний, з прискореним і з сповільненим переміщенням активної опори (захвату). Діапазон вимірювання навантаження 1...100 Н.

Границі допустимого значення вимірювання при прямому ході:  $\pm 0,05$ .

Ціна поділу шкали вимірювача навантаження 0,05 Н

Діапазон вимірювання висоти стиснутої пружини 0... 250 мм.

Границі допустимого значення приведеної похибки вимірювання висоти (довжини) пружини  $\pm 0,1$  %. Ціна поділки ноніуса 0,05 мм. Маса машини не більше 29 кг.

Установка для дослідження пружин серії TLS-S-1 (рисунок 1.2), призначена для статичних випробувань гвинтових в циліндричних пружин на стиск і розтяг.



Рисунок 1.3 – Машина для дослідження пружин TLS-S-1

Принцип роботи установки полягає у деформації досліджуваної пружини до заданої висоти (для пружини стиску) і заданої довжини (для пружини розтягу) з зміною в даному положенні величини навантаження. Зміна навантаження прикладеного навантаження проводиться тензометричним датчиком сили, а для вимірювання деформації пружини серії TLS-S-1 використовується система вимірювання переміщення в складі фотоелектричного датчика переміщення.

## 1.2 Схема та методика випробування

Згідно поставленої задачі спроектована установка для дослідження характеристик кільцевих пружин повинна проводити вимірювання деформації кільця А50 ГОСТ 13940-68 при прикладанні відповідної сили.

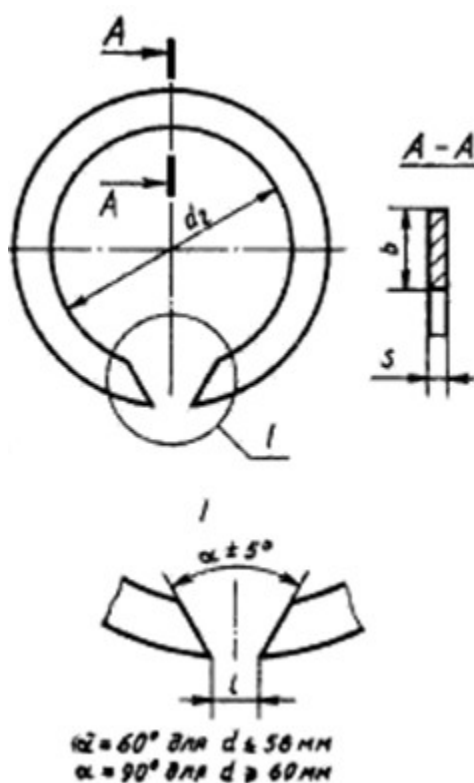


Рисунок 1.4 – Ескіз досліджуваного кільця А50 ГОСТ 13940-68

Суть роботи установки полягатиме у вимірюванні деформації досліджуваного об'єкта при прикладанні до нього прикладеної сили.

Дане вимірювання можна проводити по наступні методиці (рисунок 1.1)



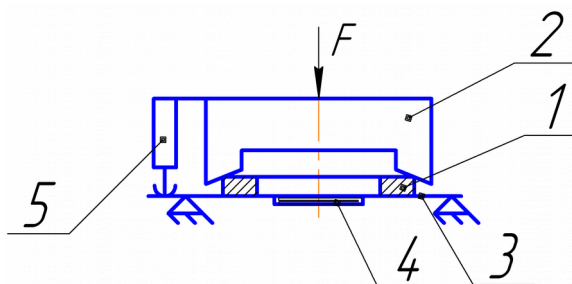


Рисунок 1.5 – Схема вимірювання пружних характеристик кільцевих пружин

Досліджувана кільцева пружина 1 встановлюється на столику 3, який також являється пружним перетворювачем для вимірювання прикладеної сили  $F$ , що передається до пружини через упор 2.

До нижньої частини пружного перетворювача прикріплюється тензодатчик 4, який приймає зусилля, що прикладається до досліджуваного об'єкта і перетворює його у зміну власного опору. Переміщення упора, яке і буде рівне деформації досліджуваної кільцевої пружини фіксується індуктивним датчиком переміщення 5.

Оскільки будемо проводити вимірювання переміщення сили, то розглянемо методи і засоби для вимірювання даних величин.

### 1.2.1 Засоби для вимірювання сили

Для вимірювання сили використовують механічні пружні перетворювачі, такі як: стержні, кільцеві перетворювачі, пружні балки на їх основі побудовані динамометри.

Динамометри є різних конструкцій, але в основному для визначення сили використовують пружини, які при дії сили деформуються і величина деформації є прямо пропорційна прикладеній силі.

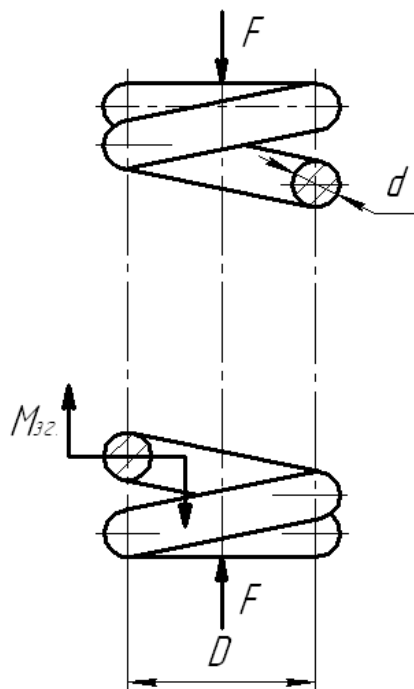


Рисунок 1.6 – Розрахункова схема гвинтової пружини, яка працює на стиск

При розрахунку пружини спочатку визначають максимальне допустиме навантаження з формули:

$$F_{\max}^p = \frac{\pi d^2}{8CK} [\tau], \quad (1.1)$$

де  $d$  – діаметр пружини;

$K = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0,615}{C}$  - поправочний коефіцієнт, що враховує кривину витків і визначається залежно від індексу пружини;

$C = \frac{D_0}{d}$  - індекс пружини;

$[\tau]$  - допустимі напруження кручення матеріалу витків пружини.

$[\tau] = 0,5\sigma_s$  - для статично навантажених пружин;

$[\tau] = 0,5\sigma_s K_L$  - для динамічних навантажень.

Максимально допустима деформація пружини  $\lambda_{\max}$  під дією максимального допустимого навантаження  $F_{\max}^p$  виражається з рівняння пружної характеристики циліндричної пружини стиску.

$$\lambda_{\max} = \frac{8C^3 \cdot n}{G \cdot d} \cdot F_{\max}^p, \quad (1.2)$$

де  $G = 8 \times 10^4$  МПа – модуль пружності при зсуву матеріалу сталевій пружини;

$n$  – число витків пружини.

Для вимірювання великих зусиль використовують суцільні стержні, які при прикладеній до них силі деформуються, а величину деформації вимірюють тензорезистивними перетворювачами, які кріпляться на самому стержні і зазнають деформацію від самого стержня. При зміні розмірів тензорезистора змінюється його внутрішній опір.

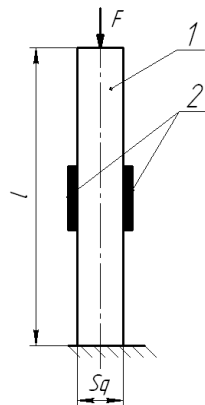


Рисунок 1.7 - Стержневий механічний перетворювач сили з тензорезисторами

Відносна поздовжня деформація стержня:

$$\varepsilon_l = \frac{\Delta l}{l} = \frac{F}{S_q \cdot E},$$

де  $\Delta l$  – абсолютна деформація;

$l$  – довжина стержня;

$F$  – прикладена сила;

$S_q$  – площа поперечного січення стержня.

Поздовжня відносна деформація стержня 1 фіксується тензорезистивним перетворювачем 2.

Певні переваги перед стержневими перетворювачами мають кільцеві механічні перетворювачі сили. Хоча їх суттєвий недолік – це нерівномірність напружень в зонах деформації.

Для більш рівномірного розподілу напружень застосовують кільця нерівномірного січення.

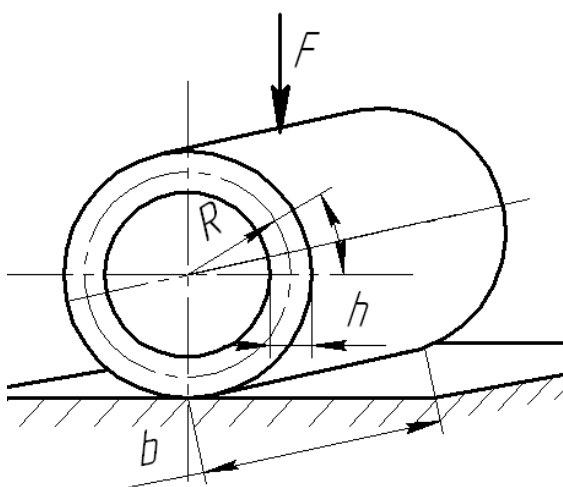


Рисунок 1.8 – Розрахункова схема деформація кільцевого перетворювача

Відносна деформація:

$$\varepsilon = \frac{R}{E \cdot h^2 \cdot b} \cdot (1,19 - 3 \cdot \cos \phi) \cdot F ,$$

де  $R$  – середній радіус кільця;

$h$  – товщина стінок кільця;

$b$  – довжина

$\cos \phi$  – кут, при якому вимірюється деформація;

$E$  – модуль пружності;

$F$  – прикладена сила.

Найбільш чутливі до дії сил є балочні пружні елементи, а саме: консольна балка рівномірного січення і консольна балка рівномірного опору прогину.

Відносна деформація:

$$\varepsilon_x = \frac{6 \cdot (l-x)}{E \cdot h^2 \cdot b} \cdot F ,$$

Де  $l$  – довжина пружної балки;

$x$  – відстань на якій вимірюємо деформацію;

$h$  – товщина балки;

$b$  – ширина балки;

$E$  – модуль пружності;

$F$  – прикладена сила.

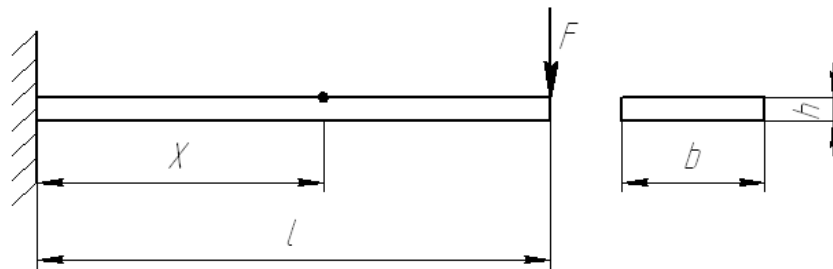


Рисунок 1.9 - Розрахункова схема деформація балочного пружного перетворювача

Для вимірювання деформації самих пружних перетворювачів використовують тензорезистивні перетворювачі, які змінюють свій опір при зміні геометричних параметрів.

### 1.2.2 Перетворювачі для вимірювання переміщення

Для вимірювання переміщення використовується ряд перетворювачів, найпростіші по конструктивному виконанні – це резистивні перетворювачі (рисунок 1.10).

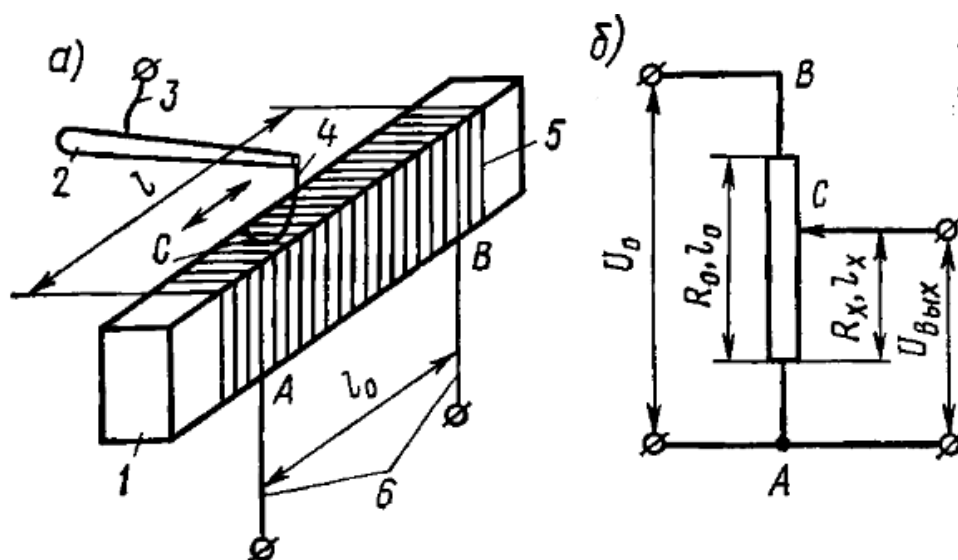


Рисунок 1.10 – Резистивний перетворювач (а), електрична схема перетворювача (б)

Резистивний перетворювач призначений для отримання сигналу, який функціонально залежить від поступального переміщення струмоznімного елемента (повзунка 2 з контактом 4). Даний перетворювач представляє собою регульований подільник напруги, виконаний на основі резистивного елемента.

При відповідному підключенні він використовується як резистор із змінним опором. Дротяний резистивний перетворювач являє собою жорстко закріплений каркас 1 з постійним поперечним січенням, виконаним з діелектрика. На каркас намотаний провідник 5 (резистивний елемент), від якого в точках А і В зроблені два виводи 6. По поверхні резистивного елемента переміщується рухомий контакт 4, який зв'язаний з движком 2. Від рухомого контакту 4 зроблений відвід 3.

Повна робоча довжина потенціометра  $l_0$  менша за довжину намотки  $l$ , це зроблено для того, щоб не відбувалося розмикання і пошкодження контакту 4 при виході движка за розраховані межі його переміщення.

$$U_{\text{вх}} = U_0 \frac{R_x}{R_0} = U_0 \frac{l_x}{l_0}, \quad (1.3)$$

де  $U_0$  – напруга, яка прикладена до ділянки А, Б;

$U_{\text{вих}}$  – вихідна напруга;

$l_0$  – робоча довжина резистивного елемента;

$l_x$  – величина переміщення.

Більшою точністю вимірювання ніж резистивні перетворювачі володіють індуктивні перетворювачі для вимірювання лінійних переміщень (рисунок 1.11).

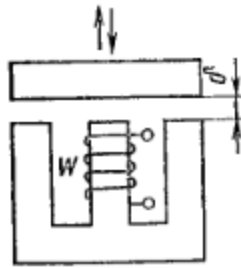


Рисунок 1.11 – Схематичне зображення індуктивного перетворювача

Індуктивні перетворювачі зі змінною довжини повітряного зазору знайшли застосування для перетворювачів малих переміщень.

Повний електричний опір перетворювача (рисунок 1.9) можна записати в наступному вигляді:

$$Z = R + j \cdot \omega \cdot \frac{\omega^2}{Z_M}, \quad (1.4)$$

де  $R$  – опір обмотки постійного струму.

Оскільки повний магнітний опір  $Z_M$  має комплексний характер, то:

$$Z = R + j \cdot \omega \cdot \omega^2 \frac{1}{R_M \cdot R_\delta + j \cdot x_M}, \quad (1.5)$$

де  $R_\delta$  – магнітний опір повітряного зазору.

Враховуючи, що:

$$R_{\delta} = \frac{\delta}{\mu_0 \cdot s}, \text{ то}$$

$$Z = R + j \cdot \omega \cdot \varpi^2 \frac{1}{R_M + \frac{\delta}{\mu_0 \cdot s} + j \cdot x_M}, \quad (1.6)$$

де  $\delta$  – величина повітряного зазору;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Г/м – магнітна проникність повітря;

$s$  – площа повітряного зазору.

З отриманої залежності випливає, що повний опір перетворювача нелінійно залежить від величини повітряного зазору  $\delta$ .

Нехтуючи опором обмотки постійного струму, для відносної зміни опору перетворювача, який виникає в наслідок зміни величини повітряного зазору, отримаємо формулу:

$$\varepsilon_Z = \frac{\Delta Z}{Z} = - \frac{\varepsilon_{\delta}}{\frac{R_M}{R_{\delta}} + (1 + \varepsilon_{\delta}) + j \cdot \frac{x_M}{R_{\delta}}}, \quad (1.7)$$

де  $\varepsilon_{\delta} = \frac{\Delta \delta}{\delta}$  – відносна зміна величини повітряного зазору;

$R_{\delta}$  – початковий магнітний опір повітряного зазору.



### 1.3 Принцип роботи установки

Функціональна схема установки приведена на рисунку 1.12.

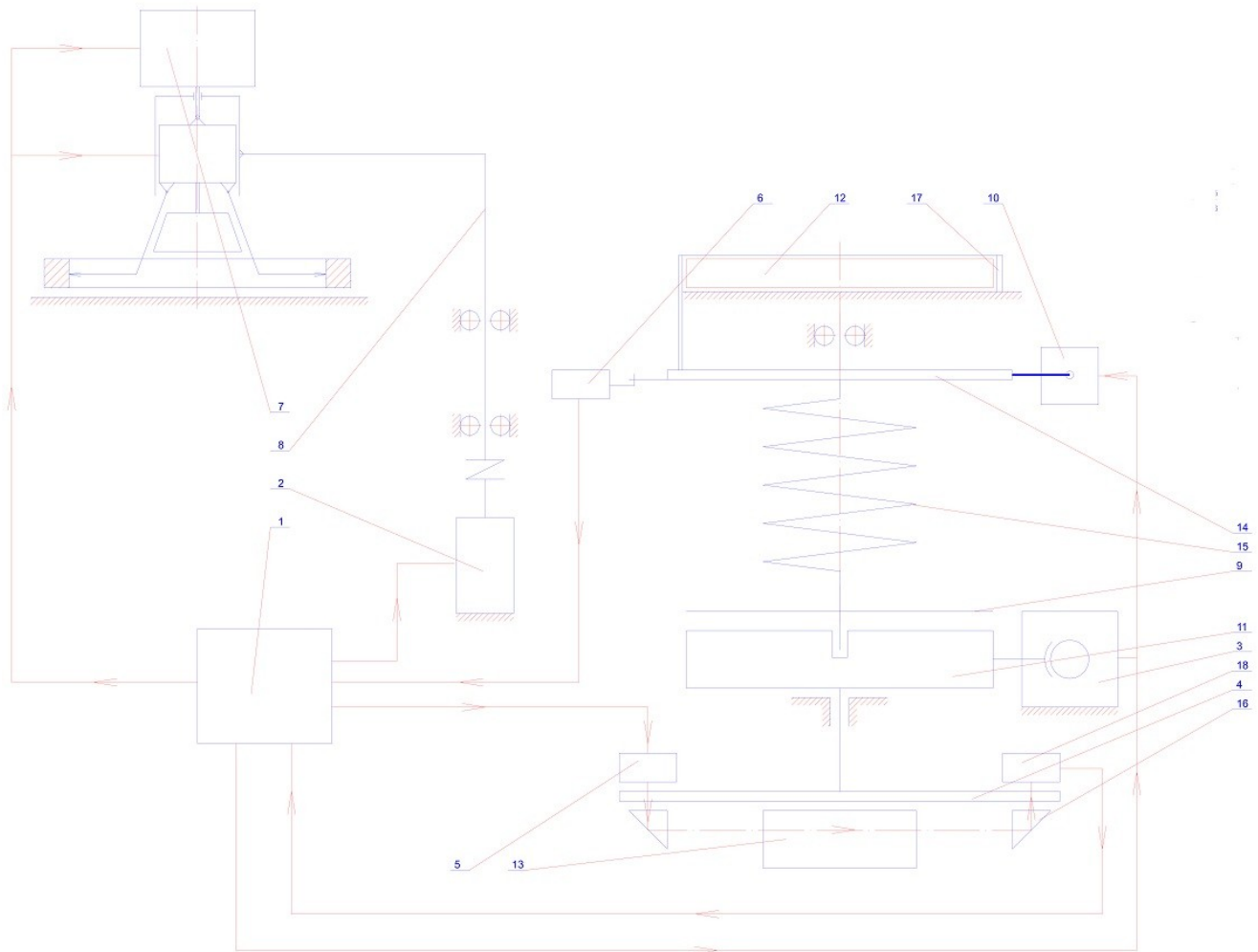


Рисунок 1.12 – Функціональна схема установки для вимірювання пружних характеристик кільцевих пружин

Розглянемо принцип роботи установки.

Вимірювальний вузол складається з навантажувального пристрою 5, який за допомогою гідроцилінда 6 притискає досліджувану кільцеву пружину до столу 7.

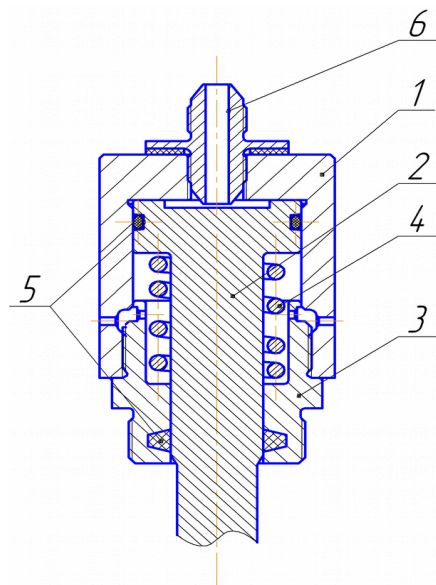
Пневмоциліндр 1 за рахунок нагнітання в нього повітря під тиском приводить в поступовий рух рухомий шток 2, який притискається до пружної пружини 4 і, витискаючи її з магазину 3, переміщає на вимірювальну позицію.

Вимірювання сили, що діє на контрольований об'єкт фіксується тензорезистивними перетворювачами 10, які перетворюють деформацію пружної балки у зміну величини електричного сигналу. При прикладанні зовнішньої сили до будь-якого пружного тіла виникає його деформація, аналогічно і відбувається з кільцевою пружиною, яка деформується при прикладанні до неї сили, величина деформації вимірюється індуктивним датчиком переміщення 8.

Після проведення вимірювання поршень гідروциліндр переміщується у верхнє положення і на вимірювальний стіл 7 подається наступна кільцева пружина для контролю. А попередня кільцева пружина скочує по похилому жолобу і якщо вона придатна до використання, то розбраковочна заслінка 12, залишається у закритому положенні, таким чином кільцева пружина потрапляє у лоток для придатних пружин, в протилежному випадку, коли пружина в процесі вимірювання виявлять не придатною для використання, у зв'язку з невідповідними характеристиками, що нормує ГОСТ, спрацювання електромагніта 11, змушує відкривання розбраковочної заслінки 12 і кільцева пружина опиняється у лотку для непридатних пружин.

#### 1.4 Розрахунок навантажувального пристрою

Враховуючи, що максимальне зусилля, яке потрібно прикласти до досліджуваної кільцевої пружини становить  $F_{\max} = 1500H$ , то проведемо розрахунок параметрів навантажувального гідроциліндра.



1 – корпус; 2 – рухомий шток; 3 – втулка; 4 – пружина; 5 – ущільнювачі;  
6 – ніпель.

Рисунок 1.13 Ескіз гідроциліндра

Проведемо розрахунок пружини, враховуючи, що максимальна її деформація повинна бути рівна 15мм.

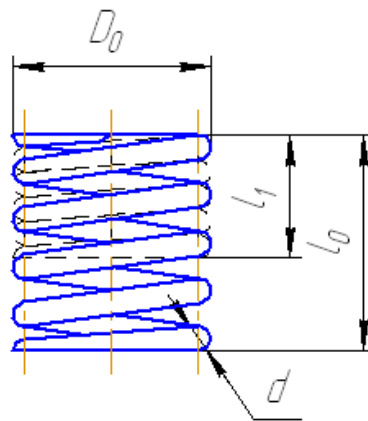


Рисунок 1.14 – Ескіз пружини стиску

Для визначення величини деформації використовуємо формулу:

$$\lambda_{\max} = \frac{8C^3 \cdot n}{G \cdot d} \cdot F_{\max}^p, \quad (1.8)$$

З даної формули визначимо максимальну силу, яку буде створювати пружина при заданій деформації:

$$F_{\max}^p = \frac{\lambda_{\max} \cdot G \cdot d}{8C^3 \cdot n}, \quad (1.9)$$

де  $\lambda_{\max} = 15 \text{ мм}$  – деформація пружини;

$G = 8 \times 10^4 \text{ МПа}$  – модуль пружності при зсуву матеріалу сталевій пружини;

$d = 28 \text{ мм}$  – діаметр пружини;

$D_0 = 32 \text{ мм}$  – зовнішній діаметр пружини;

$n = 3$  – число робочих витків пружини.

Визначимо індекс пружини:

$$C = \frac{D_0}{d}$$

$$C = \frac{32 \text{ мм}}{4 \text{ мм}} = 8$$

Отже:

$$F_{\max}^p = \frac{0,015 \cdot 8 \cdot 10^{10} \cdot 0,004}{8 \cdot 8^3 \cdot 3} \approx 390 \text{ Н}$$

Таким чином зусилля, яке повинен створювати гідроциліндр під час проведення дослідження кільцевих пружин становить:

$$F = F_{\max}^p + F_{\max}$$

$$F = 1500 \text{ Н} + 390 \text{ Н} = 1890 \text{ Н}$$

Припустимо що тиск рідини в установці може сягати значення  $0,1 \text{ МПа}$ .

При цьому розрахункова формула для тиску, який здійснює сила  $F$  на певну площу  $A$  має вигляд:

$$P = \frac{F}{A} \quad (1.10)$$

Звідки:

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4},$$

де  $d$  – діаметр штока гідроциліндра.

З заданої залежності знайдемо діаметр циліндра.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{F}{P \cdot \pi}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{1.89 \cdot 10^3}{100 \cdot 10^3 \cdot 3.14}} = 0.039 \text{ м} \approx 40 \text{ мм}.$$

### 1.5 Розрахунок тензобалки

Проведемо розрахунок тензобалки осьового навантаження, яка є відповідальним вузлом нашого приладу. В якості датчика величини прогину балки приймемо два тензорезистора типу 1ФКТК з базою 25 мм, шириною 5 мм, максимальною деформацією 0.1% і максимальною похибкою 0.05%. Тому параметри балки будемо знаходити для забезпечення мінімальної похибки завдання навантаження і приймемо її рівною 0.01%. Для забезпечення максимальної точності вимірювання потрібно, щоб максимальна деформація тензорезистора відповідала максимальному навантаженню на балку.

Так як величина прогину балки в порівнянні з її довжиною дуже мала, то абсолютне видовження її поверхні буде:

$$l + \Delta l = \sqrt{l^2 + \delta^2} \quad (1.11)$$

звідси випливає, що:

$$\delta = \sqrt{l^2(1 + \varepsilon)^2 - l^2} = l \cdot \sqrt{(1 + \varepsilon)^2 - 1}, \quad (1.12)$$

де  $\delta$  - величина прогину балки;

$l$  - довжина робочої частини балки;

$\varepsilon$  - максимальна деформація тензорезистора.

Тепер, задавшись значенням  $l$  довжини тензобалки, ми можемо знайти її прогин:

$$\delta = 100 \cdot \sqrt{(1 + 0.001)^2 - 1} = 1.47 \text{ мм}$$

З іншого боку під дією навантаження балка буде прогинатись на величину:

$$\delta = \frac{a \cdot F \cdot l^2}{48 \cdot E \cdot J}, \quad (1.13)$$

де  $l$  – робоча довжина балки;

$F$  – осьове зусилля навантаження на балку;

$E$  – модуль пружності матеріалу балки;

$a$  – плече прикладання сили  $F$  до балки;

$J$  – момент інерції січення балки.

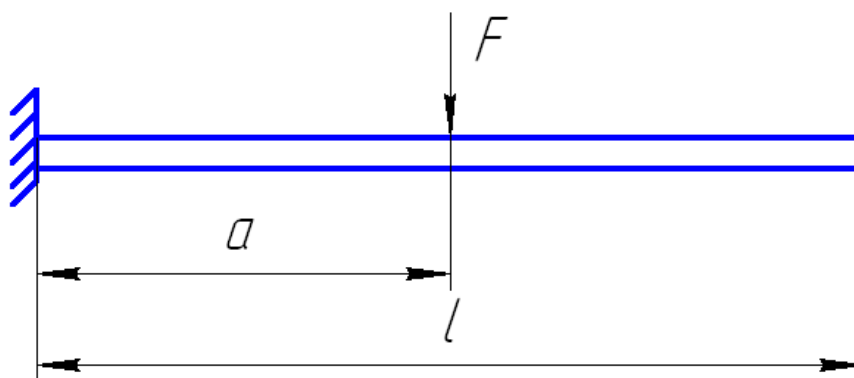


Рисунок 1.15 – Розрахункова схема балки

Осьове зусилля  $F$  ми можемо знайти за формулою:

$$F = F_{np} \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \psi), \quad (1.14)$$

де  $F_{np}$ - максимальне зусилля, яке потрібно прикласти, щоб стиснути кільце на максимальну його величину;

$\alpha$ - кут нахилу поверхні прижимного зуба упора;

$\psi$ - кут тертя:

$$\psi = \operatorname{arctg}(f), \quad (1.15)$$

де  $f$ - коефіцієнт тертя:

$$\psi = \operatorname{arctg}(0.15) \approx 9^\circ$$

Тоді зусилля  $F$  буде:

$$F = 1000 \cdot \operatorname{tg}(45^\circ + 9^\circ) = 1496 \approx 1500 \text{ Н}$$

Тепер маючи значення зусилля  $F$ , ми можемо знайти момент інерції січення балки з формули:

$$J = \frac{a \cdot F \cdot l^2}{48 \cdot E \cdot \delta}, \quad (1.16)$$

Підставивши числові значення, отримаємо:

$$J = \frac{0.08 \cdot 1500 \cdot 0.05^2}{48 \cdot 2.1 \cdot 10^{11} \cdot 0.00147} = 2.957 \cdot 10^{-10} \text{ м}^4.$$

З іншого боку момент інерції можна визначити з формули:

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12}, \quad (1.17)$$

де  $b$  – ширина балки;

$h$  – товщина балки.

Задавшись шириною балки рівною 7 мм, знайдемо її товщину:

$$h = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot 2.957 \cdot 10^{-10}}{0.007}} = 0.003797 \text{ м}$$

Прийmemo значення товщини  $h$  рівним 4 мм. Тоді ширина балки буде:

$$b = \frac{12 \cdot J}{h^3} = \frac{12 \cdot 2.957 \cdot 10^{-10}}{0.008^3} = 0.0069 \text{ м}$$

Прийmemo значення ширини  $b = 7$  мм.

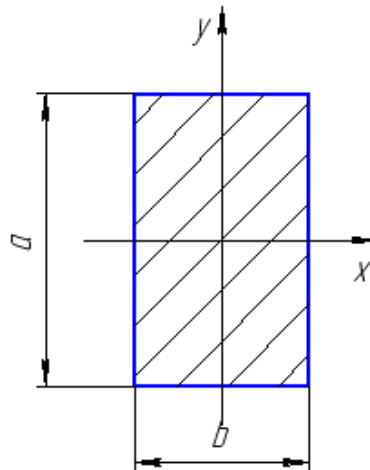


Рисунок 1.16 – Переріз тензобалки



## 1.6 Циклограма роботи установки

Для ізольованої контрольної автоматичної системи та системи, яка працює в лінії, циклова продуктивність  $Q_v$  визначається кількістю деталей, які вона могла б проконтролювати та розсортувати за одиницю часу без врахування простоїв (наладка, мащення і т. п.). В нашому випадку це кількість зразків які можна піддати руйнуванню і провести відповідні виміри сили і деформації за одиницю часу.

$$n = \frac{60}{T}, \quad (1.18)$$

де  $T$  – тривалість циклу.

При завантаженні зразків відбувається заповнення магазину дослідної установки кільцевими пружинами, при цій операції час становить  $t_{\text{зад.}}=20\text{с}$ . Після цього відбувається встановлення досліджуваної кільцевої пружини на вимірювальну позицію, яке здійснюється виштовхуванням пружини з магазину рухомим штоку пневмоциліндра, для цього враховуючи швидкість переміщення рухомого штоку час  $t_{\text{вст.}}=2\text{с}$ .

Дальше відбувається нагнітання рідини в гідроциліндр, що спричиняє притискання навантажувального пристрою до вимірювальної кільцевої пружини, на це затрачається час  $t_{\text{наг.}}=3\text{с}$ .

Елемент	Час					
Магазин						
Пневмоциліндр						
Навантажувальний пристрій						
Датчик переміщень						
Тензорезистор						
Електромагніт						
	Завантаження досліджуваній кільцевих пружин	Встановлення кільцевої пружини на вимірювальну позицію	Навантаження пружини	Вимірювання сили	Розвантаження пружини	Встановлення зразка на початкову позицію
Складові $t_b$	$t_{зав}$	$t_{вк}$	$t_{нп}$	$t_{вим.}$	$t_{роз}$	$t_{вз}$

Рисунок 1.17 – Циклограма роботи установки

В момент коли значення сили досягнення певного значення проводиться вимірювання деформації кільцевої пружини величина якої визначається індуктивним датчиком лінійних переміщень, це виконується за час  $t_{двi} = 1с$ .

Після вимірювання переміщення і сили припиняється нагнітання рідини під тиском в гідроциліндр і поршень разом з навантажувальним пристроєм піднімається в верхнє положення, час підняття рівний  $t_{\delta i \zeta} = 1,5 \text{ с}$ .

Після цього проводиться встановлення на вимірювальну позицію наступної кільцевої пружини, а попередня пружина в залежності від аналізу прийнятих даних з датчика переміщення і сили потрапляє у лоток для придатних пружин (коли розбраковочна заслінка закрыта), або в лоток для бракованих пружин (коли розбраковочна заслінка відкрита), час виконання даної операції становить  $t_{\delta a \zeta} = 3 \text{ с}$ .

Таким чином загальний час на проведення вимірювання характеристики кільцевої пружини становить:

$$T = t_{\delta a \zeta} + t_{i i} + t_{\delta a i} + t_{\delta i \zeta} \quad (1.19)$$

$$T = 2 + 3 + 1 + 3 = 9 \text{ ħ}$$

Продуктивність установки:

$$n = \frac{60}{9} = 6,67 \text{ ħ} / \delta \hat{a}$$

Отже за одну хвилину дана установка може провести вимірювання характеристик 6 кільцевих пружин.

### 1.7 Вибір датчика переміщення

Для вимірювання переміщення нами вибраний індуктивний датчик лінійних переміщень фірми Megatron.

Який характеризується високою точністю вимірювання і похибка при вимірюванні не перевищує 1%, в заданому діапазоні.

Датчик марки EVT10W (рисунок 5.1), має наступні параметри:

1. Діапазон вимірювання: 0...20мм.
2. Зусилля на шток для спрацювання датчика 0,2Н.
3. Робочий діапазон температур: -20...+125°C.

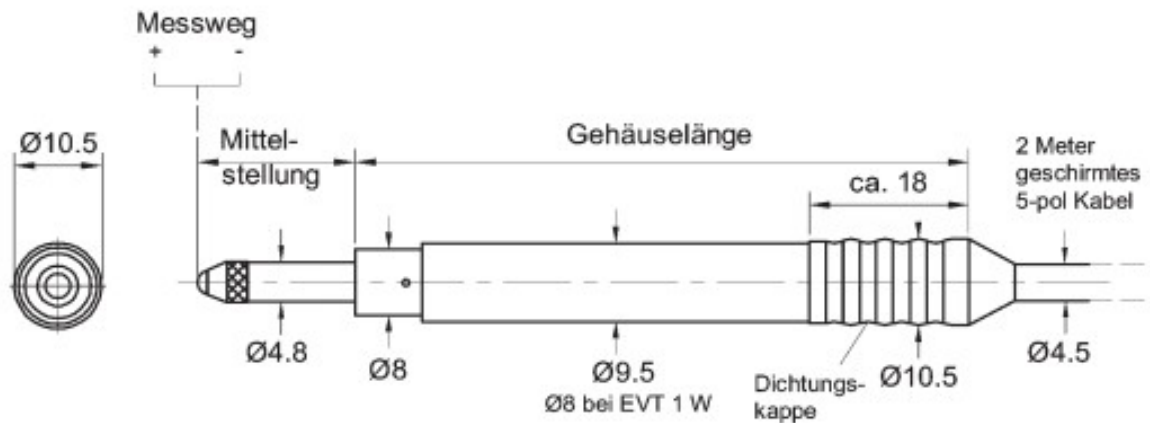


Рисунок 1.18 Індуктивний датчик переміщення EVT10W

### 1.8 Принципова схема підключення тензорезисторів

Використовуємо мостову схему підключення тензорезисторів (рисунок 1.19).

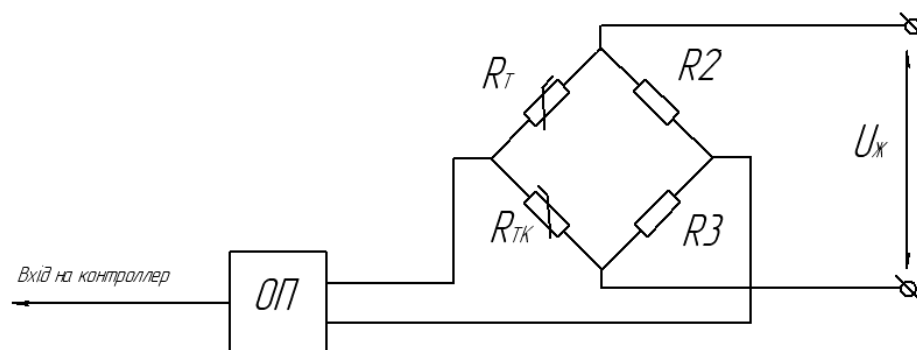


Рисунок 1.19 Мостова схема підключення тензорезистора

При використанні мостової схеми з одним робочим тензорезистором  $R_T$ , то для температурної компенсації необхідно застосувати другий неробочий тензорезистор  $R_{TK}$ , аналогічний робочому і поставлений в однакові з робочим температурні умови.

Якщо таке мостове коло при відсутності деформації буде знаходитись в рівновазі, тобто  $R_{T0}R_3=R_{TK}R_2$ , то за наявності деформації опір  $R_T$  зміниться на величину  $\varepsilon_R \cdot R_{T0}$ , рівновага мостового кола порушиться і на виході з'явиться напруга:

$$U_{вих} = U \frac{R_{T0}(1+\varepsilon_R)R_3 - R_2 \cdot R_{TK}}{[R_{T0}(1+\varepsilon_R) + R_{TK}] \cdot (R_2 + R_3)}, \quad (1.20)$$

де  $R_{T0}$  – опір робочого тензорезистора;

$R_{TK}$  – опір неробочого (термокомпенсаційного) тензорезистора;

$R_2, R_3$  – відомі опори в ділянці кола;

$\varepsilon_R$  – відносна зміна опору тензорезистора викликана зміною температури.

За умови, якщо  $R_{T0}=R_{TK}$ , а  $R_2=R_3$  вихідна напруга становитиме  $U_{вих} \approx 0,25U\varepsilon_R$ . Якщо ж причиною зміни опору тензорезистора буде зміна температура навколишнього середовища, то, оскільки тензорезистори ідентичні та знаходяться в однакових температурних умовах, їх температурні зміни будуть однаковими, тобто:

$$R_T = R_{T0}(1 + \varepsilon_T)$$

$$R_{TK} = R_{T0}(1 + \varepsilon_T),$$

де  $\varepsilon_T$  – відносна зміна опору тензорезистора викликана зміною температури.

Коли, наприклад, за відсутності деформації міст був зрівноважений, то зміна опорів двох ідентичних тензорезисторів  $R_T$  і  $R_{TK}$ , увімкнених у сусідні плечі моста, не призведе до порушення його рівноваги, а вихідна напруга залишиться нульовою.

Компенсація впливу температури в такій схемі відзначатиметься і при наявності вимірювальної деформації.

Живлення мостової схеми відбувається від стабілізованого джерела напруги, а вихідна напруга з тензорезисторів підсилюється за допомогою операційного підсилювача з високим вхідним сигналом.

## 1.8 Похибка установки

### 1.8.1 Похибка при вимірюванні сили

Похибка вимірювання, яка визначається впливом температури на результати вимірювань буде залежати від вимірювального приладу в нашому випадку це мілівольтметр.

Для зменшення залежності показів приладу від опорів вимірювального кола намагаються дотримати умову:

$$R_{mv} \gg R_T + 2R_n \quad (1.21)$$

Дійсно:

$$U_{mv} = I_{mv} R_{mv} = \frac{e_T}{R_{mv} + 2R_n + R_T} R_{mv} \quad (1.22)$$

Похибка, яка вноситься зовнішнім (щодо вольтметра) опором вимірювального кола, буде:

$$\delta_M = \frac{R_T + 2R_n}{R_{mv}} 100\%, \quad (1.23)$$

де  $R_T = 150 \hat{I} \text{ } \Omega$  – опір тензорезистора;

$R_n = 0.0053 \text{ Ом}$  – опір провідників;

$R_{mv} = 30 \hat{I} \text{ } \Omega$  – опір мілівольтметра.

$$\delta_M = \frac{150 + 2 \cdot 0,0053}{30000} 100 = 0,5\%$$

Загальна похибка при вимірюванні сили становитиме:

$$\begin{aligned}\delta_T &= \delta_M + \delta_V \\ \delta_T &= 0.5 + 0.1 = 0.6\%\end{aligned}$$

### 1.8.2 Похибка при вимірюванні переміщення

Оскільки для вимірювання переміщення нами вибраний індуктивний датчик лінійних переміщень EVT10W, то визначення похибки вимірювання проведемо з врахуванням геометричних параметрів даного перетворювача.

Враховуючи виведену вище формулу для величини повітряного зазору в даному перетворювачі:

$$\varepsilon_Z = \frac{\Delta Z}{Z} = -\frac{\varepsilon_\delta}{\frac{R_M}{R_\delta} + (1 + \varepsilon_\delta) + j \cdot \frac{x_M}{R_\delta}} \quad (1.24)$$

Припускаючи, що відносна зміна величини повітряного зазору не перевищує 1, то матимемо вираз:

$$\varepsilon_Z = -\frac{\varepsilon_\delta}{1 + \frac{R_M}{R_\delta} + j \cdot \frac{X_M}{R_\delta}} \quad (1.25)$$

З отриманого виразу випливає, що при надто малих відносних змінах повітряного зазору, тобто при малих переміщеннях якоря, передавальна характеристика перетворювача є практично лінійною. Таким чином при роботі даного перетворювача величина похибки лінійності є основним обмеженням вхідних переміщень.

Не лінійність можна оцінити розклавши отриманий вище вираз в ряд. Нехтуючи для спрощення обрахунку, втратами в сталі, отримаємо наступну залежність:

(1.26)

$$\gamma = -\frac{\varepsilon_{\delta}}{1 + \frac{R_M}{R_{\delta}}},$$

де  $\varepsilon_{\delta}$  - величина переміщення робочого штоку;

$R_M$  - магнітний опір системи збудження;

$R_{\delta}$  - магнітний опір зазору.

Підставивши параметри датчика переміщення, отримаємо похибку при вимірюванні переміщення:

$$\gamma = -\frac{0.01}{1 + \frac{300}{450}} = 0.006$$

Отже похибка при вимірюванні переміщення становить 0,6%.



## 2 ОСНОВИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА МАТМОДЕЛЮВАННЯ

### 2.1 Аналіз об'єкта дослідження

Осьова сила, яка діє на кільце (рисунок 2.1), що сприймає вісь симетричну деформацію січення його повертає на певний кут. В загальному випадку на кільце можуть діяти рівномірно розподілені сили і моменти (рисунок 2.2), сила  $q_i$  в Н/см, яка розподілена по контуру радіусом  $a_i$ , моменти  $m_i$  в Н·см/см – по контуру радіусом  $b_i$ , тому січення кільця зазнає радіального переміщення  $u_0$  і поворот на кут  $\varphi$ .

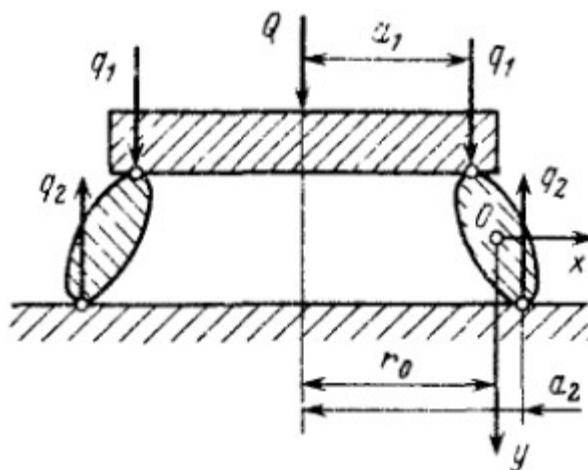


Рисунок 2.1 – Вісьсиметрична деформація кільця під дією осьової сили

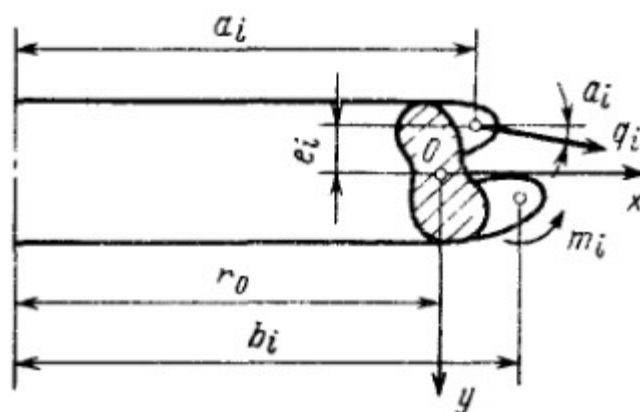


Рисунок 2.2 – Розподіл зовнішніх сил і моментів прикладених до кільця

Розглянемо приблизне рішення, яке основане на припущеннях, що деформація в площині січення кільця відсутня.

Початок координат розміщуємо в центрі січення. Відносне видовження в коловому напрямку:

$$\varepsilon = \frac{u_0}{r} + y \frac{\phi}{r} \quad (2.1)$$

За законом пружності напруження в коловому напрямку:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon = E \left( \frac{u_0}{r} + y \frac{\phi}{r} \right), \quad (2.2)$$

де  $E$  – модуль пружності матеріалу.

Невідомі величини  $u_0$  і  $\phi$ , які входять в це рівняння, визначаються із умови рівноваги половини кільця:

$$\int_F \sigma dF = N; \quad \int_F \sigma y dF = M,$$

де  $N$  і  $M$  – розтягуючі сила і момент в січені кільця.

Ці зусилля зрівноважують половину кільця. Оскільки дія моментів перпендикулярно осі, то для визначення  $N$  і  $M$  використаємо формули:

$$N = \sum_{i=1}^n a_i q_i \cos \alpha_i \quad (2.3)$$

$$M = \sum (b_i m_i - a_i q_i \sin \alpha_i - a_i e_i q_i \cos \alpha_i), \quad (2.4)$$

де сумування розповсюджується на всі прикладенні навантаження.

Таким чином отримаємо наступні вирази:

$$u_0 E \int_F \frac{dF}{r} + \varphi E \int_F \frac{y dF}{r} = N \quad (2.5)$$

$$u_0 E \int_F \frac{y dF}{r} + \varphi E \int_F \frac{y^2 dF}{r} = M \quad (2.6)$$

Оскільки розміри поперечного січення кільця малі в порівнянні з радіусом, то в даному випадку можна вважати, що  $r=r_0$ , де  $r_0$  – радіус кола центра маси січення.

Враховуючи, що:

$$\int_F y dF = 0,$$

оскільки вісь проходить через центр маси січення, то отримаємо рівняння:

$$\frac{u_0}{r_0} = \frac{N}{EF}; \quad \frac{\varphi}{r_0} = \frac{M}{EJ_x}, \quad (2.7)$$

де  $F$  – площа поперечного січення кільця;

$J_x = \int_F y^2 dF$  – момент інерції січення кільця відносно осі, яка проходить через

центр мас і перпендикулярна до осі кільця.

З рівності 2.2 випливає:

$$\sigma = \frac{N}{F} + y \frac{M}{J_x} \quad (2.8)$$

## 2.2 Кільце під дією осьової сили

В цьому випадку загальна осьова сила буде визначатися як:

$$Q = 2\pi a_1 q_1 = 2\pi a_2 q_2.$$

З формули 2.3, 2.4 визначимо:

$$\alpha_1 = \frac{\pi}{2}; \quad \alpha_2 = -\frac{\pi}{2};$$

$$N = 0; \quad M = -a_1^2 q_1 + a_2^2 q_2 = \frac{Q}{2\pi} c;$$

де  $c = a_1 - a_2$  – різниця радіусів.

Кут повороту кільця:

$$\varphi = \frac{r_0 M}{EJ_x} = \frac{r_0 (a_2^2 q_2 - a_1^2 q_1)}{EJ_x} = \frac{r_0 Q c}{2\pi EJ_x} \quad (2.9)$$

Величина деформації кільця (вертикальне переміщення точки прикладеної сили):

$$\delta = \varphi c = \frac{r_0 Q c^2}{2\pi EJ_x} \quad (2.10)$$

Напруження в поперечному січенні:

$$\sigma = y \frac{Q c}{2\pi J_x} \quad (2.11)$$

Для прямокутного січення (рисунок 2.3), отримаємо наступні формули:

$$\varphi = \frac{6r_0 Qc}{2\pi E b h^3} \quad (2.12)$$

$$\sigma = y \frac{Qc}{2\pi b h^3} \quad (2.13)$$

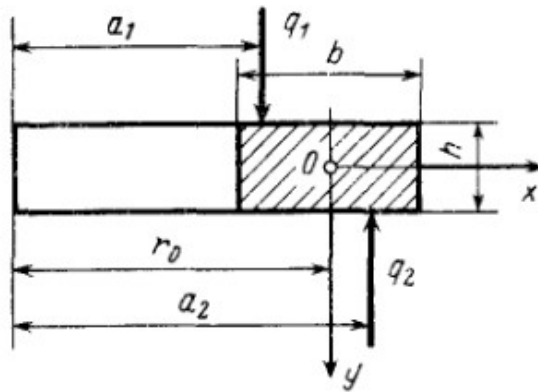


Рисунок 2.3 – Кільце прямокутного сичення під дією осьової сили

Найбільше напруження:

$$\sigma_{\max} = \pm \frac{3Qc}{\pi b h^3} \quad (2.14)$$

Розтягуючі напруження діють при  $y = 0,5h$ , стискаючі при  $y = -0,5h$ .

### 3 ЕЛЕКТРОНІКА, МІКРОПРОЦЕСОРНА ТЕХНІКА ТА САПР

#### 3.1 Розробка функціональної схеми

##### 3.1.1 Вимоги до функціоналу та параметрів системи

Мета роботи: розробка гнучкої системи керування пристрою для вимірювання пружинних характеристик кільцевих пружин. Внаслідок використання сучасної елементної бази і нових схемних рішень, що дозволяє збільшити точність вимірювання при не великій вартості його виготовлення. Дана робота повинна проводити автоматизований збір вимірювальної інформації, а також відбракування деталей. Прилад призначений для керування в ручному та автоматичному режимах.

Система повинна реалізовувати наступні функції:

- вимір характеристик кільцевих пружин з точністю  $\pm 1\%$ .
- прогнозування автоматичного калібрування датчиків.
- Результат вимірювання відобразатиметься на LCD-дисплеї, де буде мати вигляд: брак/не брак, min – мінімальне відхилення, max – максимальне відхилення.
- Прилад повинен мати у своєму функціоналі здатність віддаленого керування за допомогою інтерфейсу RS-232, протокол керування повинен мати наступні функції: «Старт», «Стоп», вимірювання та повернення результату.
- на базі операційних систем Windows XP, 7,10 повинна функціонувати керуюча програма для ПЕОМ.

Функції керуючої програми для ПЕОМ:

- відображати стан виконавчих пристроїв у даний момент;
- у ручному режимі керувати виконавчими пристроями;
- демонстрація повідомлень діагностики;
- проводити статистики вимірювань;
- заповнювати журнал помилок.

Система повинна забезпечити наступні параметри:

- межа похибки вимірювань  $\pm 1\%$ ;
- збирати та обробляти отримані результати, автоматично проводити вимірювання.

### 3.1.2 Способи реалізації заданих функцій

Для вимірювання пружних характеристик кільцевих пружин використовуємо індуктивні та тензометричні давачі лінійного переміщення так як вони можуть забезпечити задану точність та легко інтегрується в цифрову інформаційно-вимірювальну систему.

Функції відображення вимірних значень та інтерфейсу із користувачем реалізуємо за допомогою багатофункціонального графічного дисплея на рідких кристалах. Для ручного керування використовуємо дискретні тактові кнопки. Для віддаленого керування обрано інтерфейс RS-232.

Для живлення всієї системи вимірювання відхилень міжцентрової віддалі пластин привідних ланцюгів з кроком 15,875 мм використовуємо 96 Вт блок живлення, робоча напруга якого складає 220В, а вихідна напруга 24В.

### 3.1.3 Функціональна схема. Представлення принципу роботи

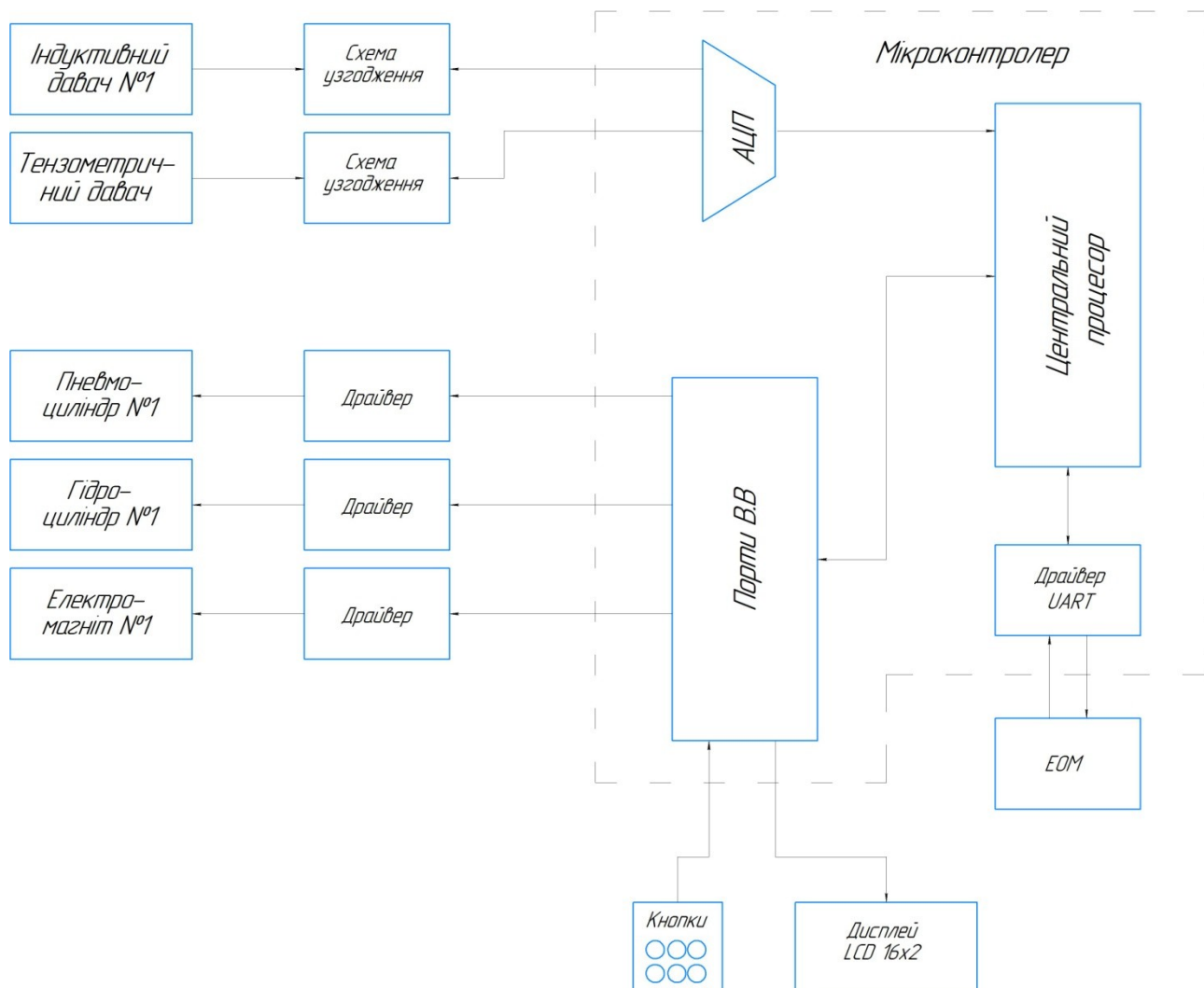


Рисунок 3.1 - Функціональна схема приладу

Функціональна схема блоку керування показана на рисунку 3.1. Початок роботи установки починається після завантаження в магазин досліджуваній кільцевих пружин. Далше подається команда з контролера на управління транзисторним ключем, який керує пневмоциліндром, що забезпечує встановлення досліджуваної кільцевої пружини на вимірювальну позицію. Після цього за допомогою транзисторного ключа який керує гідроциліндром відбувається переміщення індуктивного датчика до контрольованої пружини.



Переміщення здійснюється до моменту коли покази з тензорезистивного перетворювача не перевищать встановлені, це буде командою для припинення переміщення індуктивного датчика разом з вимірювальною п'яткою. В цей момент проводиться зняття показів з датчика переміщення і подачею на транзисторний ключ відповідного сигналу відводиться датчик на початкову позиці.

В результаті вимірювання здійснюється запис графіку зміни характеристик пружини в залежності від номінального зразка. Аналіз отриманого графіку дозволяє визначити якість досліджуваного зразка. Дані про вимірювання виводяться на LCD дисплей, та передаються через послідовний асинхронний інтерфейс UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) на персональний комп'ютер.

## 3.2 Розробка принципової схеми

### 3.2.1 Обчислення мінімальної кількості виводів мікроконтролера

Для обчислення кількості виводів мікроконтролера необхідно взяти до уваги необхідну кількість наявних виконавчих пристроїв у приладі, що вимірюють відхилення міжцентрової віддалі пластин привідних ланцюгів з кроком 15,875 мм. Також потрібно підрахувати кількість виводів мікроконтролера. Наявні виконавчі пристрої:

- тензометричний давач (1 шт.);
- індуктивний давач (1 шт.);
- пневмоциліндр (1 шт.);
- гідроциліндр (1 шт.);
- електромагніт (1 шт.);
- LCD;
- UART;
- клавіатура.

Індуктивний давач та АЦП мікроконтролера спряжуються за допомогою резистивного подільника та RC – фільтр з одним виводом контролера. Для підключення тензометричного давача до АЦП мікроконтролера сигнал потрібно змасштабувати за допомогою операційного підсилювача та подати на вхід АЦП контролера.

Пневмоциліндр, гідроциліндр та електромагніт під'єднуються за допомогою драйвера електромагнітного реле до трьох виводів контролера.

Для забезпечення роботи LCD-дисплея потрібно підключити сім виводів контролера у 4-бітному режимі.

Клавіатуру потрібно підключити у чотири виводи контролера.

Для обміну даними комп'ютера і приладу за допомогою UART потрібне підключення до двох виводів контролера – TxD і RxD.

Нам потрібно мінімально вісімнадцять виводів мікроконтролера, та один UART – для зв'язку з персональним комп'ютером. Зазвичай він використовується у парі з RS-232 інтерфейсом.

Для того, щоб вибрати розрядність АЦП, нам потрібно вирахувати похибку вимірювання переміщення. Тільки таким чином можна вибрати АЦП з потрібною розрядністю: 8, 10, 12, 16 біт.

Вимірювання давача у діапазоні 0..1.5 мм;

Вихідна напруга –  $U_{вих}$  0..2.5 В;

При виборі 12 бітного АЦП, зрівняння вимірювальної величини припадає на молодший розряд перетворення:

$$\frac{1.5\text{мм}}{4096} = \frac{x}{1} \Rightarrow x = \frac{1.5\text{мм}}{4096} = 0.36 \text{ мкм} \quad (3.1)$$

При виборі даного АЦП точність вимірювання переміщення становить  $\pm 0.36$  мкм, що є прийнятною величиною.

### 3.2.2 Підбір мікроконтролера

Для реалізації функцій схеми скористуємось апаратними засобами. Це складно і потребує великих затрат часу та коштів, проте у цьому методі основними перевагами виступають швидкість і надійність роботи.

Другим варіантом є застосування мікроЕОМ. До даних ЕОМ відносяться мікросхеми ADuC8xx. За допомогою ядра архітектури MCS51, що поєднує у собі функції можливості безпосередньої обробки даних із високою точністю аналого-цифрового та цифро-аналогового перетворень.

Таблиця 3.1 – Зрівняння характеристик мікропроцесорів

Параметр	KP1816BE51[2]	ADuC841 [3]	ATmega16 [4]
Архітектура ядра MCS51	MCS51	MCS51	AVR
Швидкодія, MIPS	<1	<20	<16
Пам'ять програм	4k (EPROM)	62k (flash)	16k (flash)
Пам'ять RAM	128	256 RAM+2048 ixRAM	1024
Пам'ять даних	–	2k	512
Зовнішня пам'ять	до 64k	до 16М	–
Таймери	2	3	3, RTC
Паралельні порти	4	4	4
UART	1	1	1
SPI	–	1	1
ІІМ	–	2	4
АЦП	–	12bit/420ksps/8ch/DM A	10bit/30ksps/8c h
ЦАП	–	2x12bit/15μs	–
Додатково	–	Монітор живлення, WDT	WDT, BOD
Програмування	Паралельне	Паралельне/UART /користувач	Паралельне/SPI
Орієнтовна ціна, грн	53	667	77

З таблиці 3.1 видно, що застосування KP1816BE51 не вигідне у подальших розробках.

У даному випадку ATmega16 виділяється вигідною ціною, достатньо високою швидкістю, більшим об'ємом внутрішньої та оперативної пам'яті.

Натомість ADuC841 володіє розвинутою аналоговою підсистемою та більшою точністю вимірювання, завдяки чому його і обираємо.

### 3.2.3 Будова контролера

У ролі процесора виступає одно кристальний мікроконтролер ADuC841.

Характеристики ADuC841:

Як процесор використовується однокристальний мікроконтролер ADuC841 з такими характеристиками:

- однокристальне ядро 20MIPS архітектури 8052;
- два 12-розрядні ЦАП;
- швидкісний 12-розрядний АЦП;
- вбудована пам'ять програм – 62 кбайт;
- вбудована пам'ять даних – 2 кбайти;
- інтерфейси SPI, I2C, UART;
- можливість відладки та програмування за допомогою інтерфейсу UART.

Для користування пристроєм потрібно ознайомитися з будовою контролера, регістрами і периферією. Коротко ознайомимось з найбільш важливими вузлами.

ADuC841 включає в себе:

- багатоканальний аналогово-цифровий перетворювач із функцією самокалібрування;
- два цифро-аналогових перетворювачів;
- однокристальний мікроконтролер з швидкістю 20МГц на системі команд МК 8051.

Властивості кристалу:

- Flash пам'ять програм становить 62 Кбайт;
- Flash пам'ять даних – 4 Кбайт;
- пам'ять RAM – 256 байт;
- пам'ять XRAM 2 Кбайт.

Мікроконтролер із вбудованим дванадцятирозрядним АЦП послідовних наближень. Мультиплексор подає сигнал із одного аналогового входу, двох вбудованих ЦАП, напруги нуля або опору, давача температури. Швидкозмінні сигнали перетворюються за допомогою пристрою вибірки-зберігання безпомилково.

Кожне перетворення відбувається у дві фази.

Перша фаза – захоплення сигналу ключами SW1, SW2 заряджається методом підключення через резистор 200 Ом до джерела вхідної напруги (рисунок 3.2). Кількість затраченого часу залежить від величини вихідного опору джерела сигналу (більший опір – більший час). Для цього потрібно підключити RC ланку, через аналоговий вхід, що буде виконувати функцію акумулятора заряду конденсатору для пристрою зберігання та вибірки(рисунок 3.3).

У другій фазі ключі SW1 та SW2 переводяться у режими зберігання, а за допомогою ЦАП врівноважується захоплений заряд. Регістр ADCDATAH:ADCDATAH зберігає отриманий код. Тривалість перетворення повинна бути короткою для відключення саморозряду конденсатора. По цій причині тактова частота аналого-цифрового перетворювача повинна бути рівна чи більша від 400 кГц.

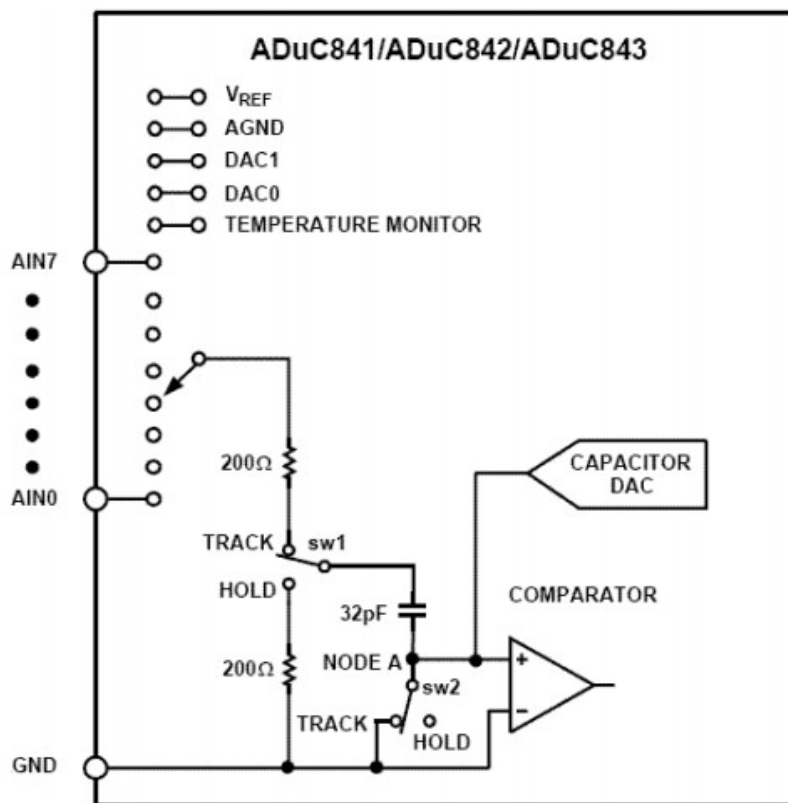


Рисунок 3.2 - Спрощена схема АЦП мікроконтролера ADuC841

ADuC841 також має у своєму складі декілька додаткових аналогових пристроїв:

- 12-розрядний цифро-аналоговий перетворювач 2шт.;
- джерело опорної напруги;
- монітор напруги живлення.

Додаткові цифрові пристрої:

- три порти (SPI, I2C, UART) послідовного вводу-виводу;
- 16-розрядний  $\Sigma$ - $\Delta$  цифро-аналоговий перетворювач 2шт.;
- 16-розрядний широтно-імпульсний модулятор 2шт.;
- лічильник часових інтервалів;
- сторожовий таймер;
- таймер-лічильник 3шт.

За допомогою послідовного порта UART підтримується загрузка програмного забезпечення від заводської прошивки контролера. Завдяки одному контакту пристрою (EA) підтримується емуляція.

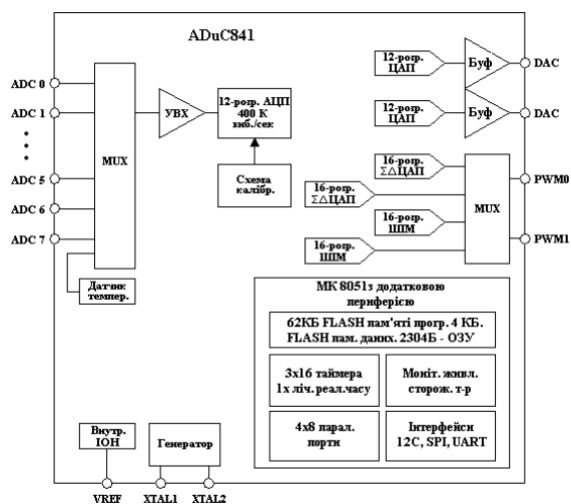


Рисунок 3.3 - Функціональна схема ADuC841.

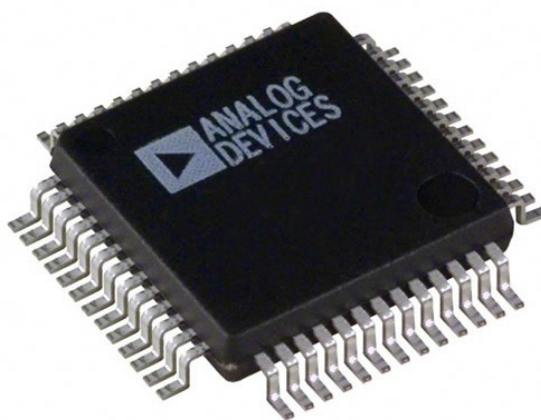


Рисунок 3.4 - Зовнішній вигляд ADuC841



## Давач SM5 – HYD

Для спряження індуктивного давача SM5 – HYD (рисунок 3.5) із аналого-цифровим перетворювачем мікроконтролера та давача використовується зовнішня електроніка в якій ми використовуємо вихід по напрузі (рисунок 3.6).



Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд давача SM5 – HYD

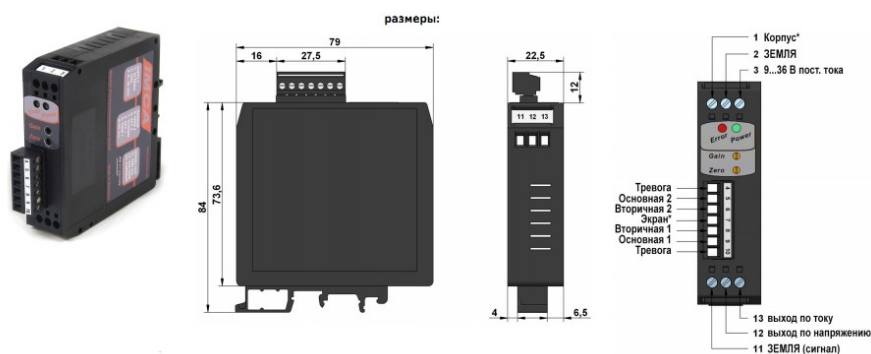


Рисунок 3.6 – зовнішня електроніка давача SM5 – HYD

### 3.2.4 Вибір дисплея

Рідкокристалічний дисплей буде оптимальним варіантом через низьку вартість та легкість у користуванні. 8-и та 4-и бітні підключення підтримуються контролером у дисплеї TC1602A при загрузці через шину (D0 – D7).

Зазвичай використовують 4-бітне підключення, що дозволяє економити виводи мікроконтролера, але для спрощення написання програм під'єднуємо його у 8-бітному режимі.

Даний дисплей вирізняється вбудованим LSI-контролером, у якому наявні регістри інструкції і даних, а також два 8-бітних регістра.

Регістр зберігає наступні коди інструкцій:

- зсув курсора;
- очистка дисплея;
- DDRAM (інформація для відображення даних з оперативної пам'яті);
- CGRAM (генератор символів).

Тільки за допомогою мікроконтролера можна записати регістр інструкцій. У CGRAM і DDRAM тимчасово зберігаються дані запису і читання за допомогою регістру даних.

Результати вимірювань відображаються на дисплеї наступним чином:

- навантаження згин;
- навантаження кручення;
- навантаження змішане.

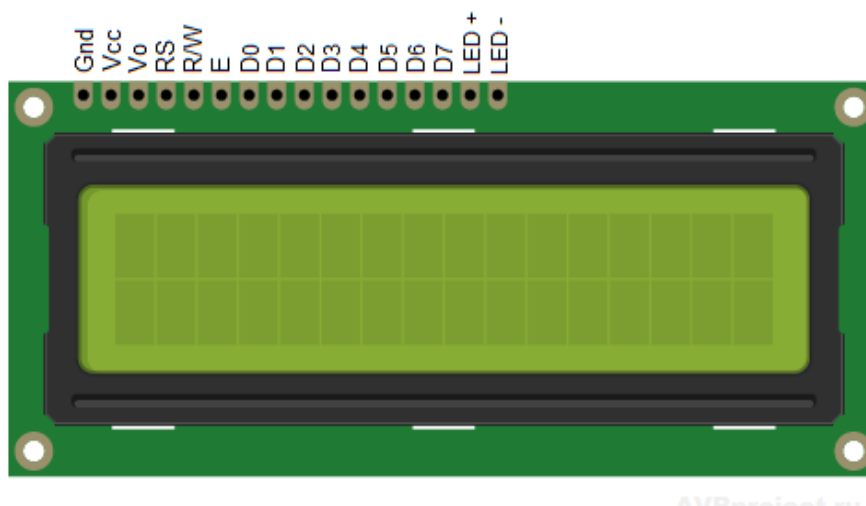


Рисунок 3.7 – Вигляд дисплею TC1602A

UART виступає завантажувачем програм до мікроконтролера. Також він надає можливість роботи без додаткових ліній для синхронізації у режимі повного дуплексу.

Поєднання RS-232 інтерфейсу з UART використовується для з'єднання персонального комп'ютера з периферійними пристроями. В основному RS-232 та UART сигнали різняться рівнями нуля та логічної одиниці. Стандарт RS-232 використовує напругу  $-3..-25\text{В}$  при кодуванні логічної одиниці, та  $3..25\text{В}$  при кодуванні логічного нуля у випадку коли UART використовує стандартні рівні TTL або КМОН логіки.

Для функціонування інтерфейсу RS-232 потрібне забезпечення рівня вихідної напруги, яке надається мікросхемою MAX232. Схему підключення зображено на рисунку 3.12 (вивід 7-ий до 2-го виводу роз'єму DB-9, вивід 8-ий до 3-го виводу роз'єму DB-9, виводи 9 і 10 підведені до RxD і TxD відповідно та мікроконтролера). Для передачі даних у RS-232 використовується роз'єм DB-9.

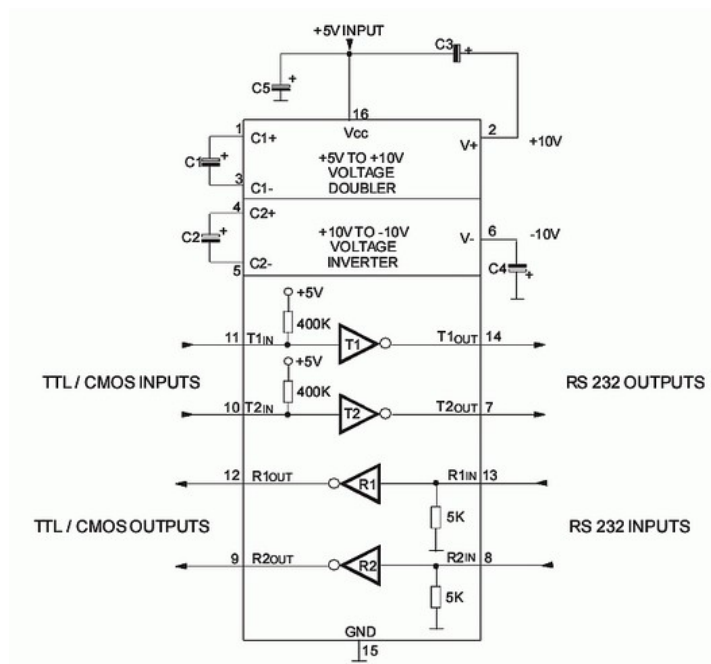


Рисунок 3.8 – Схема включення MAX232



Рисунок 3.9 - Зовнішній вигляд розніму RS-232 (мама)



Рисунок 3.10 - Зовнішній вигляд розніму RS-232 (папа)

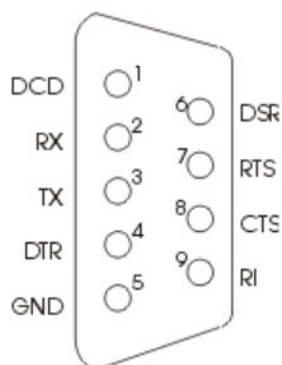


Рисунок 3.11 – Розпіновка виводів для RS-232

Таблиця 3.2 – Опис сигналів інтерфейсу

Назва	Напрямок	Опис	Контакт
DCD	IN	Carrie Detect (Визначає несучий біт)	1
RXD	IN	Receive Data (Прийом даних)	2
TXD	OUT	Transmit Data (Передача даних)	3
DTR	OUT	Data Terminal Ready (Готовність терміналу)	4
SG	-	System Ground (Спільний вивід)	5
DSR	IN	Data Set Ready (Готовність даних)	6
RTS	OUT	Request to Send (Запит на відправку)	7
CTS	IN	Clear to Send (Готовність приєму)	8
RI	IN	Ring Indicator (Індикатор)	9

Призначення сигналів наступне:

- DCD – детектування сигналу (виявлення даних);
- RxD - у послідовному коді дані, які приймає комп'ютер (логіка від'ємна);
- TxD - у послідовному коді дані, які передає комп'ютер (логіка від'ємна);
- DTR – дані готові до виводу;
- SG – нульовий провід;
- DSR – дані готові. Застосовується при присвоєнні режиму модему;
- RTS – постійно активний під час передачі, сигнал запиту передачі;
- CTS – постійно активний під час передачі, сигнал очищення для передачі. Сигналізує по готовності приймача;
- RI – індикатор виклику.

### 3.2.5 Розрахунок номіналів елементів

Для підключення датчика до виводу мікроконтролер необхідно зменшити напругу на виводі датчика з 5В до рівня 2.5В, та пропускати сигнал з частотою 170 Гц. Для цього ми розрахуємо резистивний подільник напруги та RC ланку для фільтрації вихідного сигналу з датчика (рисунок 3.12).

Для розрахунку подільника використаємо наступну формулу:

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (3.2)$$

Тут необхідно підібрати номінали резисторів  $R_1$  та  $R_2$ . Вибираємо  $R_1 = 1\text{k}$ , та  $R_2 = 1\text{k}$ .

$$V_{out} = 5V \times \frac{1k}{1k + 1k} = 2.5V$$

$$f = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 1 \times 10^3 \times 1 \times 10^{-6}} = 166\text{Гц}$$

З розрахунку видно, що частота зрізу вхідного сигналу рівна 166Гц.

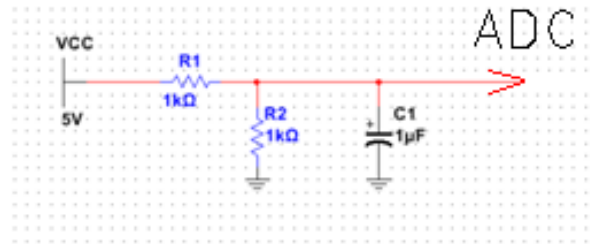


Рисунок 3.12 – Схема включення датчика

### 3.3 Метрологічний аналіз

#### 3.3.1 Бюджет похибок вимірювального каналу

Щоб оцінити статичну похибку аналогово-цифрового перетворення слід визначити вклад кожного джерела в приведену похибку а потім оцінити сумарну похибку додавши їх квадратично.

Оцінимо сумарну похибку АЦП ADuC841. Опір джерела сигналу –  $R_{IN}=R1+R2/R1 \times R2=500 \text{ Ом}$ .

Діапазон зміни вхідної напруги –  $V_{FS}=2.5 \text{ В}$ . Діапазон переміщення штока давача –  $L_{fs}=5\text{мм}$ .

Таблиця 3.3 – Бюджет похибок АЦП

№	Джерело	Розрахунок	Приведена похибка, ppm	X-p зміни	Калібр.
1	Розрядність (Resolution)	$1/2 \cdot 2^{-N}$	610	нелінійна	-
2	Інтегральна нелінійність (Integral Nonlinearity)	$N_L \cdot 2^{-N}=245$	245	нелінійна.	-
3	Диференційна нелінійність (Differential NonLinearity)	$N_{LP} \cdot 2^{-N}=610$	610	нелінійна	-
4	Похибка зміщення (Offset error)	$LBS=C_{05} \cdot 2^{-N}=733$	733	адитивна	+



Продовження таблиці 3.3 – Бюджет похибок АЦП

5	Похибка підсилення (Gain Error) Cq=3LBS	$Cq \cdot 2 \cdot N = 733$	733	мульти.	+
6	Струм входів (Leakage current) Iin=1mA	$\frac{I_{in} \times R}{V_{fs}} = 200$	200	адитивна	+
7	Похибка опорної напруги $\Delta V_{ref} = 10 \text{mV}$	$\frac{\Delta V_{ref}}{V_{rsf}} =$	4000	адит.	+
8	Температурний дрейф опорної напруги $\alpha V_{ref} = 15 \text{ppm} \times 1^\circ \text{C}$ $\Delta T = 10^\circ \text{C}$	$\frac{\alpha V_{ref}}{\Delta T} =$	150	мульти.	-
9	Коефіцієнт подавлення напруги живлення $V_{ref}$ $psrr = 65 \text{db}$ $\Delta V_s = 0.1 \text{V}$	$V_{ref \text{ psrr}} / 20 \times \Delta V_s = 602 \text{ppm}$	602	адитивна.	-
10	Резистори $\varepsilon R = 0.01\%$ 0.01=100ppm	$\varepsilon K = \sqrt{2} \varepsilon R \frac{R_1}{R_1 + R_2} =$	7 070	мульти.	-

Приведена та абсолютна (приведена до входу та виходу) похибка без калібрування (в кінці діапазону)

$$\gamma_N = \sqrt{\gamma_1^2 + \gamma_2^2 + \gamma_3^2 + \gamma_4^2 + \gamma_5^2 + \gamma_6^2 + \gamma_7^2 + \gamma_8^2 + \gamma_9^2 + \gamma_{10}^2} = 14953 \text{ ppm} = 1.4\%$$

Приведена та абсолютна (приведена до входу та виходу) похибка без калібрування (на початку діапазону)

$$\gamma_{N0} = \sqrt{\gamma_5^2 + \gamma_7^2} = 933 \text{ ppm} = 0.093\%$$

Приведена та абсолютна (приведена до входу та виходу) похибка після калібрування (вкінці діапазону)

$$\gamma_c = \sqrt{\gamma_2^2 + \gamma_3^2 + \gamma_4^2 + \gamma_7^2 + \gamma_8^2 + \gamma_{10}^2} = 9287 \text{ ppm}$$

$$\Delta_c = \gamma_c \times L_{fs} = 9287 \times 10^{-6} \times 5 \text{ мм} = 0.046 \text{ мм}$$

Отримане значення приведеної похибки вимірювального каналу забезпечує задані вимоги до точності приладу (допустима похибка 0.1 мм).

### 3.4 Опис алгоритму роботи

Даний алгоритм повинен забезпечувати злагоджену роботу всіх вузлів електричної схеми і виконавчих органів, обміном інформації, її обробку, попередження від небезпечних випадків. Робота стенду для вимірювання пружних характеристик кільцевих пружин. Саме чітке розуміння завдання є важливою передумовою складення якісного виваженого алгоритму. В ньому реалізовано слідкування за часом проведення вимірювання по його закінченні, ініціалізація, запити до ЕОМ. Це є важливим, оскільки деякі дані проведення експерименту заносяться із клавіатури. Після ініціалізації проводиться опитування кожного датчика і для зменшення часу виконання запитується попереднє значення цього датчика. Якщо відбулися певні зміни, то вони аналізуються, перевіряються на допустимість, при необхідності опитуються додаткові дані. Результат виводиться на рідкокристалічний дисплей у певній формі та по послідовному порті на ЕОМ для ведення статистичних даних по якості деталей та оцінку технологічного процесу їх виготовлення.

## 4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Рівень науково–технічної підготовки визначає ефективність виготовлення продукції основним виробництвом і зумовлює можливість ритмічності її випуску із наперед заданими споживчими властивостями.

Метою даного проекту є розробка конструкції пристрою для вимірювання пружних характеристик кільцевих пружин.

Спроектowana установка призначена для проведення контролю параметрів пружних характеристик кільцевих пружин. Особливістю конструкції пристрою є автоматизація проведення контролю.

### 4.1 Характеристика технічного рівня спроектованої установки

Склад показників технічного рівня і якості проектованого виробу обумовлений положеннями, які приведені в ГОСТ 22.851-77, а також таблицею застосування показників, передбаченою стандартом системи показників якості продукції.

Комплексний показник якості:

$$P_k = \sum_{i=1}^n K_i = D_i \quad (4.1)$$

де:  $K_i$  – відносний показник якості;

$D_i$  – коефіцієнт важливості  $i$ -го одиничного показника якості.

Показники технічного рівня і якості спроектованого пристрою Таблиця 4.1

Показник	Одиниці виміру	Значення показника		Диференціальна оцінка технічного рівня	Коефіцієнт важливості
		Спроектваного пристрою	Замінювального пристрою		
Ергономічність	бали	5	4	1,25	0,2
Показники безпеки	%	95	90	1,055	0,3
Надійність	%	91	82	1,11	0,15
Показники швидкодії	C <sup>-1</sup>	7	1	7	0,35

Розраховуємо комплексний показник якості спроектованої установки для вимірювання характеристик кільцевих пружин:

$$P_K = 1,25 \cdot 0,2 + 1,055 \cdot 0,3 + 1,11 \cdot 0,15 + 7 \cdot 0,35 = 3,183$$

#### 4.2 Визначення трудомісткості виробництва приладу

Визначення продуктивності і обсягу робіт конструкторської підготовки виробництва (КПВ).

Етапи конструкторської підготовки:

- технічне завдання;
- технічна пропозиція;
- ескізний проект;
- технічний проект;
- розробка технічної документації.

Продуктивність окремого етапу:

$$T_{ni} = H_{чк} \cdot O_n \cdot K_c \cdot K_z \cdot K_{\phi} \quad (4.2)$$

де  $H_{чк}$  – норми часу на 1 облікову одиницю;

$O$  – об'єкт конструкторської підготовки;

$K_c$  – коефіцієнт серійності ( $K_c=1,8\div 2,0$ );

$K_r$  – коефіцієнт габаритності ( $K_r=2,1$ );

$K_\phi$  – поправочний коефіцієнт, що відповідно до форматів AL(A2, A1) рівний  $K_\phi=1(1,8;1)$ .

### Трудомісткість конструкторської підготовки

Таблиця 4.2

Стадії проектування	Кількість облікових одиниць	Норма часу на одиницю	Трудо-місткість люд.год
Технічне завдання	2	50	100
Технічна пропозиція	1	160	160
Ескізний проект	1	320	320
Розробка електросхем	6	70	420
Розробка монтажних схем	2	4	8
Складання технічного паспорта	4	35	140
Нормоконтроль	1	85	85
Технічний опис	2	9	18
Патентна частина	10	28	280
Виготовлення макету	18	5	90
Випробування макету	32	3	64
Технічні умови	7	30	210
Разом			1895

Визначення продуктивності і обсягу робіт технологічної підготовки виробництва.

Трудомісткість ТПВ.

$$T_{тi}=H_{чг}\cdot N_d \quad (4.3)$$

де  $N_d$  – кількість облікових одиниць.

Результати розрахунку трудомісткості технологічної підготовки виробництва

Таблиця 4.3

Етапи підготовки	Кількість облікових одиниць	Норма часу на одиницю	Трудомісткість люд.год
Технологічні маршрути	4	5	20
Придбання комплектуючих	23	15	345
Розробка технологічних процесів	30	9,5	285
Складання замовлень	4	12,6	50,4
Узгодження технічних умов на матеріали	2	13,4	26,8
Одержання матеріалів	8	6	48
Наладка обладнання	30	8	240
Контроль	6	18,4	110,4
Запуск виробництва	18	19,2	345,6
Разом			1426,2

Отже, загальна трудомісткість виготовлення приладу становить 1426 люд.год.

### 4.3 Розрахунок затрат на виготовлення нового пристрою

Затрати на виробництво нового пристрою за розрахунковий період згідно методичних рекомендацій визначаємо за формулою:

$$Z_{\text{вн}} = \sum_{t=t_n}^{t_k} Z'_{\text{вн}t} \cdot K_{\text{нпт}} \quad (4.4)$$

де:  $Z'_{\text{вн}t}$  – поточні витрати на виробництво нового приладу в  $t$ -році, без врахування амортизаційних відрахувань;

Затрати на сировину і матеріали розраховуються на основі норм їх витрат і відповідних оптових цін за формулою:

$$H_3 = \sum_{i=1}^n H_{mi} \cdot C_{oi} \quad (4.5)$$

де:  $H_{mi}$  – норма затрат  $i$ -тих сировини і матеріалів на стенд;

$n$  – кількість найменувань сировини і матеріалів з яких виготовляється прилад.

Розрахунок затрати на сировину і матеріали

Таблиця 4.4

Найменування матеріальних ресурсів	Одиниці виміру	кг. Норма витрат на виг. приладу,	Ціна за одиницю, грн.	грн. Затрати сировин і матеріалів,	Величина відходів, грн.	Затрати сировини і мат. без вел. від. грн.	Транспортно-заготівельні затрати, грн.	Загальна сума затрат на сировину і матеріали, грн.
Сталь 45	кг	3	1,3	3,9	0,35	3,55	2,5	7,64
Сталь 30	кг	15	1,15	17,25	1,38	15,87	6,7	41,2
Всього	-	-	-	21,15	1,73	19,42	9,2	48,84

Розрахунок витрат на енергію проводимо за формулою:

$$Z_{en} = \sum_{i=1}^n H_{ei} \cdot T_{ei} \quad (4.6)$$

де:  $Z_{en}$  - затрати на енергію;

$H_{ei}$  - норма витрат  $i$ -го виду енергії на виготовлення одного приладу;

$T_{ei}$  - тариф на одиницю витрат  $i$ -тих видів енергії;

$n$  - кількість видів енергії;

$H_{ei} = 1800 \text{ кВт}$ ;

$T_{ei} = 0,35 \text{ грн/кВт}\cdot\text{год}$ .



Звідси:  $Z_{en} = 1800 \cdot 0,35 = 630$  грн.

Затрати на основну заробітну плату робітників зайнятих виготовленням установки, визначається по трудомісткості виготовлення деталей по всіх видах робіт згідно формули:

$$Z_o = \sum_{i=1}^n T_i \cdot TC_i \cdot K_{\partial} \quad (4.7)$$

де  $T_i$  - трудомісткість  $i$ -тих видів робіт по виготовленню приладу;

$TC_i$  - величина тарифної ставки, яка відповідає середньому тарифному розряду  $i$ -тих робіт;

$K_{\partial}$  - коефіцієнт доплат, що входять до основної заробітної плати;

$n$  - кількість видів робіт.

Перелік деталей і вузлів, що виготовляються	Трудомісткість робіт, нормо-годин				
	Заготівельних	Механічних	Складальних	Монтажних	Контрольних
Корпус	3	5	3	1	0,1
Стіл	2	6	2	2	0,6
Вимірювальний вузол	4	6	4	3	0,5
Блок керування	2	3	1	1	0,2
<b>Всього</b>	<b>11</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>1,4</b>

Результати розрахунку трудомісткості

Таблиця 4.5

Величина тарифної ставки, яка відповідає середньому  $i$ -тих видів робіт розраховується за формулою:

$$TC_i = TC_1 \cdot TK_c \quad (4.8)$$

де:  $TC_1$  - величина тарифної ставки першого розряду;

$TK_c$  - середній тарифний коефіцієнт.

Результати розрахунку зарплати виробничих робітників Таблиця 4.6

Види робіт і розряди	Трудомісткість робіт, нормо-годин	Годинна тарифна ставка відповідного розряду, грн.	Величина тарифної зарплати, грн.
1. Заготівельні процеси: Слюсар (1 розряд) Слюсар (2 розряд)	4 5	6.70 6.756	26,8 33,78
2. Механічна обробка: Токар (1 розряд) Фрезерувальник (2 розряд)	6 4	6.6 6.756	39,6 27,024
3. Складальні процеси: Слюсар (2 розряд) Слюсар (3 розряд)	6 3	6.756 6.84	40,54 20,52
4. Монтажні процеси: Слюсар (2 розряд) Слюсар (3 розряд)	0,7 1	6.756 6.84	4,73 6,84
5. Контрольні процеси: Контролер (1 розряд) Контролер (2 розряд)	0,4 1	6.70 6.756	2,68 6,756
Разом	—	—	172,784

Враховуючи коефіцієнт доплат  $k_o = 1,4$ , затрати на основну заробітну плату складають:

$$Z_o = 172,784 \cdot 1,4 = 241,9 \text{ грн.}$$

Затрати на додаткову заробітну плату робітників приймаємо на рівні 10% від основної заробітної плати:

$$Z_d = Z_o \cdot 0,1 = 24,1 \text{ грн.}$$

Затрати на відрахування в фонд соціального страхування, пенсійний фонд і фонд безробіття разом складають 39,24%, тобто

$$Z_c = (Z_o + Z_d) \cdot 0,3924 = 104,4 \text{ грн.}$$

Визначаємо чисельність працівників, зайнятих технологічною підготовкою виробництва:

$$Ч_{пт} = \frac{T_{пт}}{B_{ч} \cdot K_{вч}} \quad (4.9)$$

$T_{пт}$  - трудомісткість технічної підготовки виробництва;  
де  $B_{ч}$  – правовий річний бюджет часу одного працівника;  
 $K_{вч}$  – коефіцієнт визначення норм часу працівників.

$$Ч_{пт} = (1895 + 1426,2) / 1895 \cdot 1,1 = 1,6$$

Приймаємо, що чисельність працівників  $Ч_{пт} = 2$ .

Розраховуємо суму зарплати працівників, зайнятих технологічною підготовкою виробництва:

$$Z_{по} = Q \cdot Ч_{пт},$$

де  $Q$  – місячний оклад даної категорії працівників;  
 $Ч_{пт}$  – чисельність зайнятих працівників.

$$Z_{по} = 850 \cdot 2 = 1700 \text{ грн.}$$

Величина додаткової заробітної плати працівників:

$$Z_{пд} = Z_{по} \cdot 0,1 = 170 \text{ грн.}$$

Загальна величина затрат на підготовку і освоєння виробництва визначається за формулою:

$$Z_{\Pi} = \frac{(Z_{\Pi O} + Z_{\Pi D}) \cdot 100}{K_{\Pi B}},$$

де:  $K_{\Pi B}$  – питома вага основної і додаткової зарплати в затратах на підготовку і освоєння виробництва пристрою-аналога, в %.

$$Z_{\Pi} = \frac{(1700 + 170) \cdot 100}{35} = 5342,85 \text{ грн.}$$

Доля затрат на підготовку і освоєння виробництва, яка припадає на один виріб, складає

$$Z_{\Pi 1} = \frac{Z_{\Pi}}{N} = \frac{5342,85}{100} = 53,42 \text{ грн.}$$

Сума затрат на утримання і експлуатацію обладнання:

$$Z_{yo} = 230 = 482 \text{ грн.}$$

Сума цехових затрат:

$$Z_{ц} = 1,230 = 289,2 \text{ грн.}$$

Сума заводських затрат:

$$Z_{з} = 1,830 = 433,8 \text{ грн.}$$

Інші виробничі і позавиробничі затрати:

$$Z_i = 0,023_o = 4,82 \text{ грн.}$$

Величина затрат на виготовлення одного виробу

Таблиця 4.8

Калькуляційні статті	Сума витрат (базовий варіант)	Сума витрат (спроектований варіант)
Сировина і матеріали	68,5	48,84
Затрати енергії на технологічні цілі	700	630
Основна і додаткова зарплата робітників з відрахуваннями в фонди	320	266
Витрати на освоєння виробництва	60,5	52,42
Витрати на утримання і експлуатацію обладнання	520	482
Цехові і заводські витрати	930	723
Інші витрати	7,5	4,82
Всього	2606,5	2207,08

Отже поточні витрати на виготовлення нового пристрою *2207,08 грн.*

#### 4.4 Визначення лімітної ціни нового пристрою

Лімітна ціна визначається за формулою:

$$C_l = C_{nm} + P_n \quad (4.10)$$

де:  $C_l$  - лімітна ціна нового пристрою;

$C_{nm}$  – максимальний рівень повної собівартості нового пристрою;

$P_n$  - нормативна величина прибутку.

$$C_{nm} = 0.85 \cdot C_{na} \cdot P_k \quad (4.11)$$

де:  $C_{na}$  – повна собівартість пристрою взірця, який замінюється новим пристроєм;

$$\tilde{N}_{i_i} = 0.85 \cdot 2207.08 \cdot 1.76 = 3301,79 \text{ грн.}$$

Нормативну величину прибутку на новий пристрій приймаємо рівну 15% від повної собівартості.

$$П_n = C_n \cdot 0.15 \quad (4.12)$$

$$П_k = 3301,79 \cdot 0.15 = 495,27 \text{ грн.}$$

$$Ц_{лл} = 3301,79 + 495,27 = 3797,06 \text{ грн.}$$

#### 4.5 Визначення затрат по експлуатації пристрою

Тривалість часу використання нової установки (її строк служби) визначається наступним чином:

$$T_c = \frac{(B_{п} + B_{д} - B_{л}) \cdot 100}{B_{п} \cdot H_a} \quad (4.13)$$

де:  $B_{п}$  – початкова вартість пристрою;

$B_{д}$  – вартість демонтажу пристрою;

$B_{л}$  – залишкова ліквідна вартість пристрою;

$H_a$  – норма амортизаційних відрахувань, в %.

$$T_c = \frac{(3797.06 + 100 - 153) \cdot 100}{3797.06 \cdot 10} = 9,86 \approx 10 \text{ ді е}^3 \text{а}.$$

#### 4.6 Оцінка ефективності проектних рішень

а) Економічний ефект від виготовлення пристрою:

$$E_e = (Ц_{\sigma} - З_{\sigma e}) - (Ц_n - З_{ne}) \quad (4.14)$$

де:  $Ц_n$  – ціна проектного пристрою;

$Z_{не}$  – затрати на виготовлення нового пристрою;

$C_б$  – ціна базового пристрою;

$Z_{бб}$  – затрати на виготовлення базового пристрою.

$$E_е = (4326-2606,5) - (3797,06-2207,08) = 129,52 \text{ грн.}$$

б) Економічний ефект від експлуатації пристрою:

$$E_e = Z_{енр}^б \cdot \frac{T_{c2}}{T_{c1}} - Z_{енр}^н \quad (4.15)$$

де:  $Z_{енр}^б$  - затрати поточні і разові по експлуатації замінюваного пристрою за весь розрахунковий період, приведені до розрахункового року;

$Z_{енр}^н$  - затрати поточні і разові по експлуатації нового пристрою за весь розрахунковий період, приведені до розрахункового року;

$T_{c1}$ ,  $T_{c2}$  - строк служби відповідно замінюваного і нового приладу.

$$\dot{A}_а = 2606,5 \cdot \frac{10}{10} - 2207,08 = 399,42 \text{ грн.}$$

Тоді економічний ефект від виробництва і експлуатації пристрою за розрахунковий період становить:

$$E_{ее} = E_е + E_e \quad (4.16)$$

$$\dot{A}_{аа} = 129,52 + 399,42 = 528,94 \text{ грн.}$$

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Розрахунок витяжної вентиляції для цеху, дільниці цеху, що проектується, за одним із факторів (шкідливі домішки, надлишкове тепло, надлишкова вологість).

Місцева вентиляція може бути припливною і витяжною.

Місцева припливна вентиляція, при якій здійснюється концентрована подача припливного повітря заданих параметрів (температури, вологості, швидкості руху), виконується у вигляді повітряних душів, повітряних та повітряно-теплових завіс.

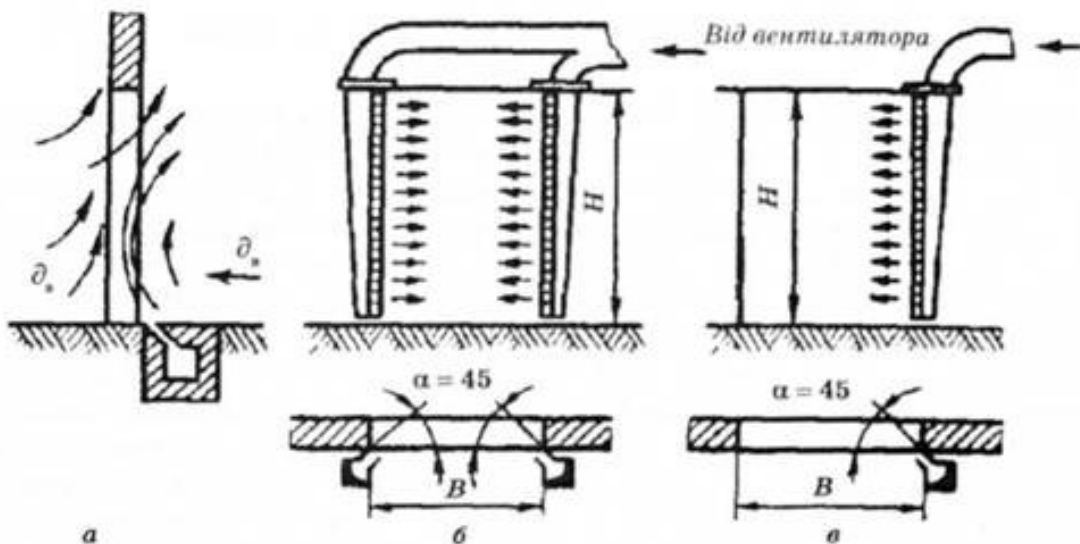
Повітряні душі використовуються для запобігання перегріванню робітників у гарячих цехах, а також для утворення так званих повітряних оазисів (простір виробничої зони, що різко відрізняється своїми фізико-хімічними характеристиками від решти приміщення).

Повітряні та повітряно-теплові завіси (рис. 5.1) призначені для запобігання надходження в приміщення значних мас холодного зовнішнього повітря при необхідності частого відкривання дверей чи воріт.

Повітряна завіса створюється струменем повітря, що подається з вузької довгої щілини, під деяким кутом назустріч потоку холодного повітря. Канал зі щілиною розміщують збоку, знизу чи зверху воріт або дверей.

Місцева витяжна вентиляція забезпечує вловлювання шкідливих виділень (газів, парів, пилу) безпосередньо в місцях їх виділення, а відтак запобігає їх поширенню в приміщенні. У промисловості застосовують різноманітні місцеві відсмоктувачі, які можна умовно поділити на відсмоктувачі відкритого та закритого типу (рис. 5.2).





а - з нижньою подачею повітря; б - з боковою двосторонньою подачею повітря; в - з боковою односторонньою подачею повітря

Рисунок. 5.1 - Повітряно-теплові завіси

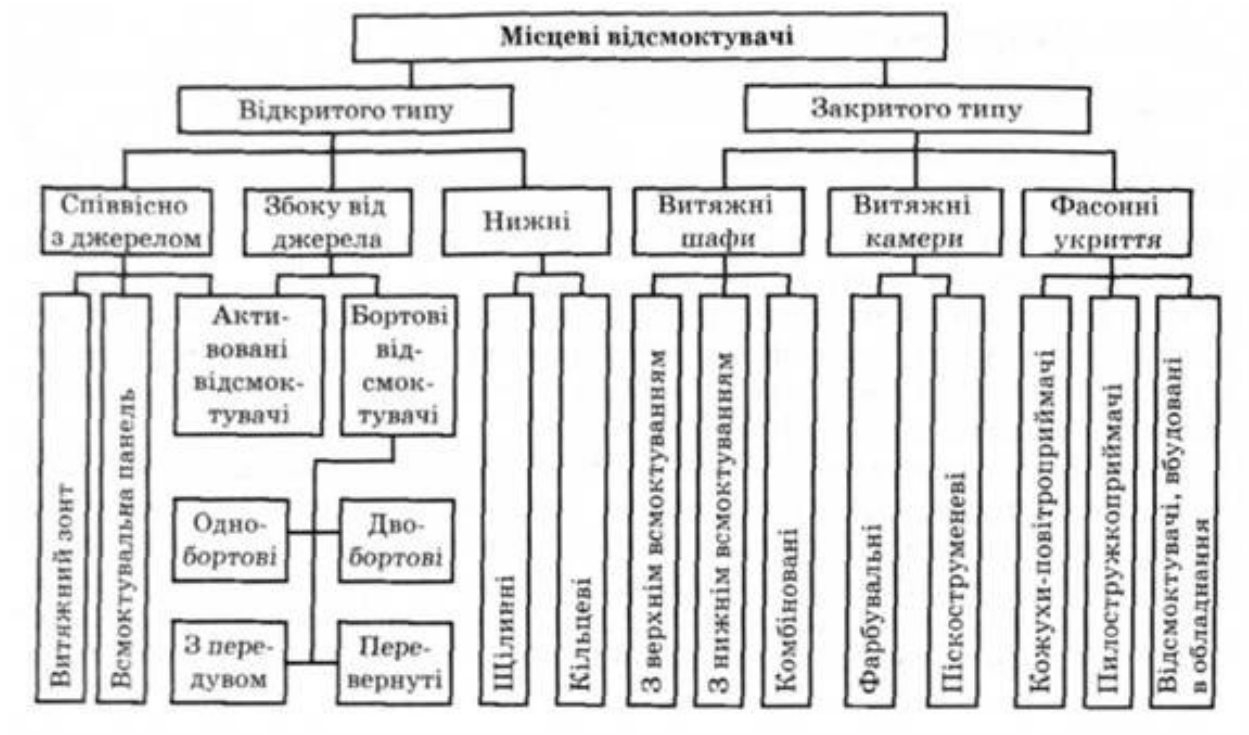


Рисунок 5.2 - Класифікація місцевих відсмоктувачів

Конструкція місцевої витяжки повинна забезпечити максимальне вловлювання шкідливих виділень при мінімальній кількості вилученого повітря. Крім того, вона не повинна бути громіздкою та заважати обслуговуючому персоналу працювати і наглядати за технологічним процесом.

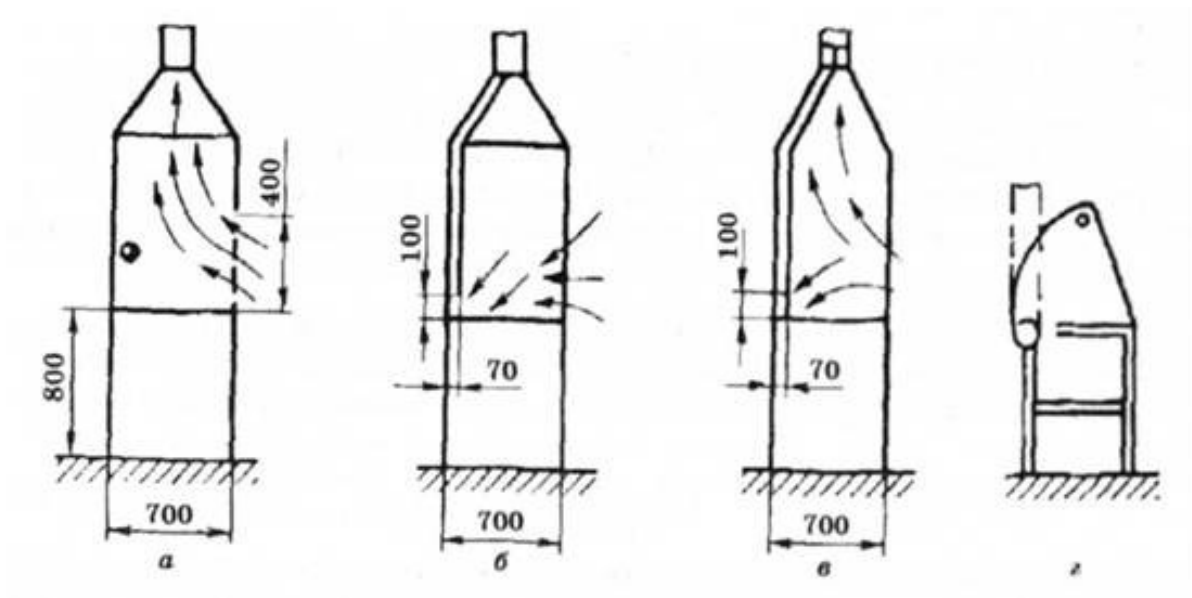
Основними чинниками при виборі типу місцевої витяжки є характеристики шкідливих виділень (температура, густина парів, токсичність), положення робітника при виконанні роботи, особливості технологічного процесу та устаткування.

У випадках, коли джерело виробничих шкідливостей можна помістити всередині простору, обмеженого стінками, місцеву витяжну вентиляцію влаштовують у вигляді витяжних шаф (рис. 5.3), фасонних укриттів, витяжних камер.

Якщо за умовами технології або обслуговування джерело шкідливостей не можна ізолювати, тоді встановлюють витяжний зонт або всмоктувальну панель (рис. 5.4). При цьому потік повітря, що видаляється, не повинен проходити через зону дихання робітника.

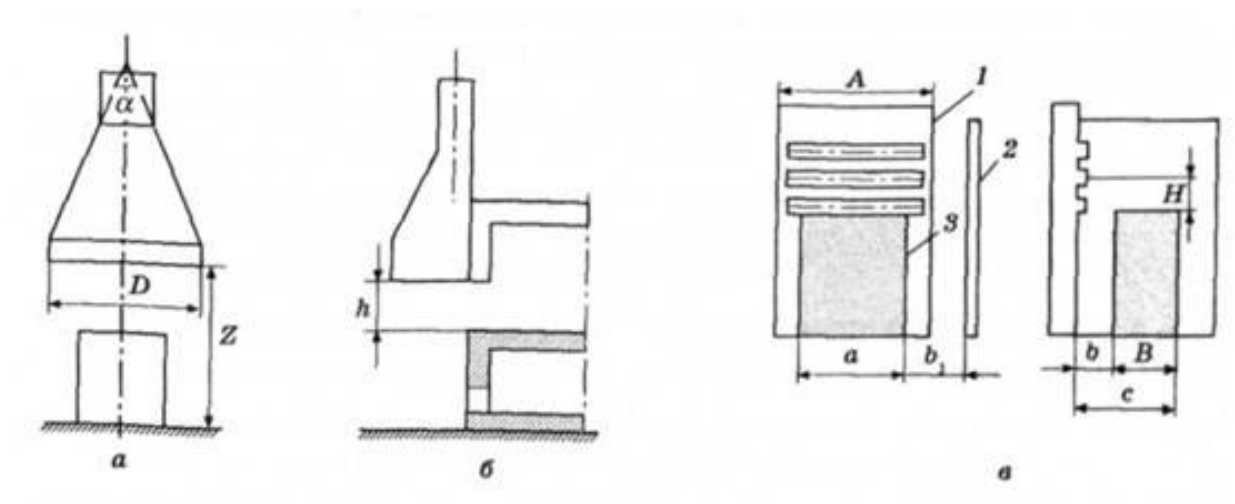
Окремим випадком місцевої витяжної вентиляції є бортові відсмоктувачі (рис. 5.5), якими обладнують ванни (гальванічні, травильні тощо), чи інші ємності з токсичними рідинами, оскільки необхідність використання при їх завантаженні підіймально-транспортного обладнання унеможливорює облаштування витяжних зонтів чи всмоктувальних панелей.

При ширині ванни 1 м і більше необхідно встановлювати бортовий відсмоктувач з передувом (див. рис. 5.6, в), у якого з одного боку ванни повітря відсмоктується, а з іншого - нагнітається. При цьому рухоме повітря ніби екранує поверхню випаровування токсичних рідинних продуктів.



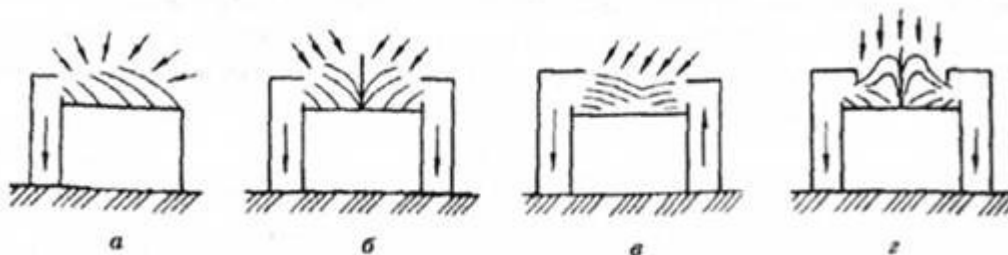
а - з верхнім відсмоктуванням; б - з нижнім відсмоктуванням; в - комбіновані; г - зонт-козирок

Рисунок 5.3 - Витяжні шафи



1 - всмоктувальна панель; 2 - екран; 3 - джерело шкідливості

Рисунок 5.4 - Витяжний зонт над (а) та збоку (б) джерела тепла і всмоктувальна панель (в)



а - однобортвий; б - двобортвий; в - з передувом; г - перевернутий

Рисунок 5.5 - Бортові відсмоктувачі

### 5.2 Дія електричного струму на організм людини

Дія електричного струму на живу тканину на відміну від дії інших матеріальних факторів (пари, хімічних речовин, випромінювання та ін.) носить своєрідний і різнобічний характер. Проходячи через організм людини, електричний струм здійснює термічну, електролітичну і механічну дію. Ці фізико-хімічні процеси притаманні як живій, так і неживій матерії. Одночасно електричний струм здійснює і біологічну дію, яка є специфічним процесом, властивим лише живій тканині:

10 термічна дія струму проявляється в опіках окремих ділянок тіла, нагріванні до високої температури кровоносних судин, нервів, серця, мозку та інших органів, які знаходяться на шляху струму, що викликає в них серйозні функціональні розлади;

11 електролітична дія струму проявляється в розкладанні органічних рідин, у тому числі і крові, що супроводжується значними порушеннями їх фізико-хімічного складу;

12 механічна (динамічна) дія струму виявляється у розриві, розшаруванні та інших пошкодженнях різних тканин організму, в тому числі м'язової тканини, стінок кровоносних судин, судин легеневої тканини та ін.;

13 біологічна дія струму проявляється в подразненні й порушенні живих тканин організму, а також у порушенні внутрішніх біоелектричних процесів, що протікають при нормальному функціонуванні організму.

Електричний струм, проходячи через організм, подразнює живі тканини, викликаючи в них відповідну реакцію – збудження, яке є одним з основних фізіологічних процесів і характеризується тим, що живі утворення переходять зі стану відносного фізіологічного спокою в стан специфічної для них діяльності.

Так, якщо електричний струм проходить безпосередньо через м'язову тканину, то збудження, зумовлене подразнюючою дією струму, проявляється у вигляді мимовільного скорочення м'язів. Це так звана пряма, або безпосередня, подразнююча дія струму на тканини, по яких він проходить

Однак дія струму може бути не тільки прямою, а й рефлекторною, тобто здійснюватися через центральну нервову систему. Інакше кажучи, струм може викликати збудження тих тканин, які не знаходяться у нього на шляху. Справа в тому, що електричний струм, проходячи через тіло людини, викликає подразнення рецепторів – особливих клітин, яких є велика кількість у всіх тканинах організму і які володіють високою чутливістю до дії факторів зовнішнього і внутрішнього середовища.

Центральна нервова система переробляє нервовий імпульс і передає його як виконавчу команду до робочих органів: м'язів, залоз, судин, які можуть знаходитися поза зоною проходження струму.

За допомогою експериментальних досліджень було встановлено, що людський організм починає відчувати подразнюючу дію змінного струму промислової частоти силою 0,6-1,6 мА і постійного струму 5-7 мА. Такі струми не є серйозною небезпекою для діяльності організму людини.

Дослідження з визначення впливу роду струму на безпеку ураження людини показали, що змінний струм частотою 50 Гц є найбільш несприятливим.

При збільшенні частоти (вище 50 Гц) сила відчутного і невідпускаючого струмів зростає. Також зростає сила цих струмів при зменшенні частоти.

Наприклад, встановлено, що сила фібриляційного струму при 400 Гц приблизно в 3,5 рази перевищує струм при частоті 50 Гц, тому підвищення частоти струму застосовують, як один із заходів підвищення електробезпеки.

### 5.3 Види електротравм

Розрізняють три види електротравм: місцеві, загальні і змішані. До місцевих електротравм належать електричні опіки, електричні знаки, металізація шкіри, електроофтальмія і механічні ушкодження, пов'язані з дією електричного струму чи електричної дуги. На місцеві електротравми припадає біля 20% електротравм, загальні - 25% і змішані - 55%.

Електричні опіки - найбільш розповсюджені електротравми, біля 85% яких припадає на електромонтерів, що обслуговують електроустановки. Залежно від умов виникнення опіки поділяються на контактні, дугові і змішані. Контактні струмові опіки більш вірогідні в установках порівняно невеликої напруги - 1...2 кВ і спричиняються тепловою дією струму. Для місць контакту тіла зі струмовідними неізольованими елементами електроустановки характерним є велика щільність струму і підвищений опір - за рахунок опору шкіри. Тому в місцях контакту виділяється значна кількість тепла, що і призводить до опіку. Контактні опіки охоплюють прилеглі до місця контакту ділянки шкіри і тканин.

Тяжкість ураження при контактних опіках залежить від величини струму та опору його проходженню, а також від часу проходження.

Дугові опіки можуть відбуватися в електроустановках, різних за величиною напруги. При цьому в установках до 6...10 кВ дугові опіки частіше є результатом випадкових коротких замикань при виконанні робіт в електроустановках. При більших значеннях напруг дуга може виникати як безпосередньо між струмовідними елементами установки, так і між

струмовідними елементами електроустановки і тілом людини при небезпечному наближенні її до струмовідних елементів.

В першому випадку (дуга між елементами електроустановки) струм через тіло людини не проходить, і небезпека обумовлюється тепловою дією дуги, а в другому (дуга між струмовідними елементами і тілом людини) – теплова дія дуги поєднується з проходженням струму через тіло людини. Дугові опіки, в цілому, значно тяжчі, ніж контактні, і нерідко призводять до смерті потерпілого, а тяжкість уражень зростає зі збільшенням величини напруги.

Електричні знаки (знаки струму або електричні мітки) спостерігаються у вигляді різко окреслених плям сірого чи блідо-жовтого кольору на поверхні тіла людини в місці контакту зі струмовідними елементами. Зазвичай знаки мають круглу чи овальну форму, або форму струмовідного елемента, до якого доторкнулася людина, розмірами до 10 мм з поглибленням у центрі. Іноді електричні знаки можуть мати форму мікроблискавки, яка контрастно спостерігається на поверхні тіла.

Електричні знаки можуть виникати як у момент проходження струму через тіло людини, так і через деякий час після контакту зі струмовідними елементами електроустановки. Особливого больового відчуття електричні знаки не спричиняють і з часом безслідно зникають.

Металізація шкіри - це проникнення у верхні шари шкіри дрібних часток металу, який розплавився під дією електричної дуги. Наддрібні частки металу мають високу температуру, але малий запас теплоти. Тому вони нездатні проникати через одяг і небезпечні для відкритих ділянок тіла. На ураженій ділянці тіла при цьому відчувається біль від опіку за рахунок тепла, занесеного в шкіру металом, і напруження шкіри від присутності в ній сторонньої твердої речовини – часток металу. З часом уражена ділянка шкіри набуває нормального вигляду, і зникають больові відчуття.

Особливо небезпечна електрометалізація, пов'язана з виникненням електричної дуги, для органів зору. При електрометалізації очей лікування може бути досить тривалим, а в окремих випадках -безрезультатним. Тому при

виконанні робіт в умовах вірогідного виникнення електричної дуги необхідно користуватись захисними окулярами.

У більшості випадків одночасно з металізацією шкіри мають місце дугові опіки.

Електрофтальмія - запалення зовнішніх оболонок очей, спричинене надмірною дією ультрафіолетового випромінювання електричної дуги. Електрофтальмія зазвичай розвивається через 2-6 годин після опромінення (залежно від інтенсивності опромінення) і проявляється у формі почервоніння і запалення шкіри та слизових оболонок повік, слъзоточінні, гнійних виділеннях, світлобоях і світлобоязні. Тривалість захворювання 3...5 днів.

Профілактика електрофтальмії при обслуговуванні електроустановок забезпечується застосуванням окулярів зі звичайними скельцями, які майже не пропускають ультрафіолетових променів.

Механічні ушкодження, пов'язані з дією електричного струму на організм людини, спричиняються непередбачуваним судомним скороченням м'язів у результаті подразнювальної дії струму. Внаслідок таких судомних скорочень м'язів можливі розриви сухожиль, шкіри, кровоносних судин, нервових тканин, вивихи суглобів, переломи кісток тощо. До механічних ушкоджень, спричинених дією електричного струму, не належать ушкодження, обумовлені падінням з висоти, та інші подібні випадки, навіть коли падіння було спричинено дією електричного струму.

Загальні електричні травми або електричні удари – це порушення діяльності життєво важливих органів чи всього організму людини як наслідок збурення живих тканин організму електричним струмом, яке супроводжується мимовільним судомним скороченням м'язів.

Результат негативної дії на організм цього явища може бути різний: від судомного скорочення окремих м'язів до повної зупинки дихання і кровообігу. При цьому зовнішні місцеві ушкодження можуть бути відсутні.

Залежно від наслідків ураження розрізняють чотири групи електричних ударів:



I - судомні скорочення м'язів без втрати свідомості;

II- судомні скорочення м'язів із втратою свідомості без порушень дихання і кровообігу;

III - втрата свідомості з порушенням серцевої діяльності чи дихання або серцевої діяльності і дихання разом;

IV - клінічна смерть, тобто відсутність дихання і кровообігу. Клінічна смерть - це перехідний стан від життя до смерті. В стані клінічної смерті кровообіг і дихання відсутні, в організм людини не постачається кисень. Ознаки клінічної смерті: відсутність пульсу і дихання, шкіряний покрив синювато-блідий, зіниці очей різко розширені і не реагують на світло.

Життєдіяльність клітин і організму в цілому ще деякий час підтримується за рахунок кисню, наявного в організмі на момент ураження.

Із часом запаси кисню в організмі вичерпуються, клітини організму починають відмирати, тобто настає біологічна смерть. Період клінічної смерті визначається проміжком часу від зупинки кровообігу і дихання до початку відмирання клітин головного мозку як більш чутливих до кисневого голодування. Залежно від запасу кисню в організмі на момент зупинки кровообігу період клінічної смерті може бути від декількох до 10...12 хвилин, а кисневі ресурси організму, в свою чергу, визначаються тяжкістю виконуваної роботи - зменшуються зі збільшенням тяжкості роботи.

Якщо в стані клінічної смерті потерпілому своєчасно надати кваліфіковану допомогу (штучне дихання і закритий масаж серця), то дихання і кровообіг можуть відновитися, або продовжиться період клінічної смерті до прибуття медичної допомоги.

Закритий масаж серця майже не сприяє відновленню його роботи за наявності фібриляції серця – невпорядкованих скорочень м'язів серця, які не призводять до циркуляції крові. При фібриляції відновлення роботи серця можливе при застосуванні медпрепаратів і дефібриляторів (спеціальних електроприладів). Таким чином, при фібриляції серця закритий масаж сприяє, переважно, подовженню періоду клінічної смерті.

Крім електричних ударів, одним із різновидів загальних електротравм є електричний шок – тяжка нервово-рефлекторна реакція організму на подразнення електричним струмом. При шоку виникають значні розлади нервової системи і, як наслідок цього, розлади систем дихання, кровообігу, обміну речовин, функціонування організму в цілому, а життєві функції організму поступово згасають. Такий стан організму може тривати від десятків хвилин до доби і закінчитись або одужанням при активному лікуванні, або смертю потерпілого.

#### 5.4 Безпеки в надзвичайних ситуаціях

5.4.1 Безпека виробничої діяльності на підприємствах де використовуються надвисокі частоти.

В процесі життя, виробничої та будь-якої іншої діяльності людина постійно перебуває під впливом небезпек, як реальних, так і потенційних. Вивчення цих небезпек, умов, за яких вони здатні реалізуватись, вміння знизити їх негативний вплив сприяло протягом усієї історії виживанню людства і дозволяє йому існувати в сучасних умовах. Однак на сьогодні, у вирішенні цих питань потрібен комплексний науково обґрунтований підхід, який може забезпечити лише безпека життєдіяльності. Безпека життєдіяльності (БЖД) – це галузь науково-практичної діяльності, спрямованої на вивчення загальних закономірностей виникнення небезпек, їх властивостей, наслідків впливу на організм людини надвисоких частот, а також на розробку і реалізацію відповідних засобів та заходів щодо створення і підтримки здорових та безпечних умов життя і діяльності людини де складаються крупногабаритні конструкції. В центрі уваги БЖД – система «людина – життєве середовище». Під життєвим середовищем розуміють частину зовнішнього середовища, що оточує людину, підтримує її існування, створює умови для діяльності та суспільних відносин і

безпосередньо впливає на її життя та здоров'я. Розгляд системи «людина – життєве середовище» можливий як на загальному (комплексному) рівні, так і стосовно підсистем меншого масштабу, що враховують певні особливості та відповідну направленість відносин між двома складовими системи.

В першу чергу необхідно виділити підсистему «людина – природне середовище», оскільки промислова, технічна та наступна науково-технічна революція настільки озброїли людину технікою, і такою мірою підвищили її могутність, що відносини між людиною та природним середовищем зазнали значної трансформації.

Людство опанувало нові види енергії, розробило невідомі природні матеріали і технології, проникло в глибини Землі та космічні простори, підкорило водні і повітряні океани, однак всі ці успіхи мають і зворотню сторону. Сьогодні природний (початковий) стан навколишнього середовища виявився суттєво порушеним, що спричинило появу нових небезпек природного походження, які не лише негативно впливають на здоров'я людини, але й загрожують її існуванню.

Важливе значення має розгляд підсистеми «людина – виробниче середовище». Науково-технічний прогрес та пов'язані з ним нові технічні рішення і технології, широке застосування надвисоких частот у різних виробництвах, складання крупногабаритних конструцій, створення агрегатів великої потужності, підвищення швидкості роботи устаткування, використання нових матеріалів збільшило кількість виробничих небезпек для здоров'я та життя людей.

Особливе значення у вирішенні питань безпеки життєдіяльності відводиться людині, як елементу системи «людина – життєве середовище». Згідно з даними статистики більше 50% нещасних випадків у виробничій та побутовій сферах спричинені людським фактором. Високі рівні аварійності, травматизму, несприятливий вплив різноманітних чинників безпеки на здоров'я та працездатність людини часто зумовлені невідповідністю її психофункціонального стану складності чи інтенсивності роботи, що

виконується, розвитком стану нервово-емоційної напруженості, стомленням, стресом тощо. Досить високий відсоток причин, пов'язаних з людським фактором, обумовлюється значними прогалинами в системі освіти та виховання.

Важливим аспектом життєдіяльності є захист населення, об'єктів економіки і в цілому території від негативних наслідків надвисоких частот.

#### 5.4.2 Шкідливість впливу електромагнітних полів та захист від них

Вплив електромагнітних полів (ЕМП) на організм людини залежить від щільності потоку енергії, частоти випромінювання, тривалості впливу, режиму опромінення, розмірів опромінюваної поверхні тіла, індивідуальних особливостей організму.

В зоні впливу ЕМП людина зазнає теплового та біологічного впливу. У джерел ЕМП розрізняють ближню (індукційну) та дальню (випромінювальну) зони впливу. Ближня частота реалізується на віддалі  $r \ll \lambda/6$ , де ЕМП ще не сформувалось. Внаслідок цього одна зі складових поля набагато менша, ніж інша таких джерел ЕМП при впливі на навколишнє середовище слабо виражена магнітна складова напруженості. Тому в 5–8 діапазонах частот ЕМП оцінюється за електричною складовою напруженості поля  $E$ , В/м. В дальній зоні на відстанях  $r \gg \lambda/6$  ЕМП сформувалось, тому тут виражені обидві його складові – електрична та магнітна, тому в 10-11 діапазонах частот ЕМП оцінюється поверхневою густиною потоку енергії (ПГЕ), котра виражається одиницею вимірювання  $Вт/м^2$  ( $1Вт/м^2=0,1мВт/см^2=100мкВт/см^2$ ).

Зміна ЕМП викликає нагрівання тканин тіла людини за рахунок змінної поляризації діелектрика (хрящі, сухожилля тощо) та за рахунок появи струмів провідності. Тепловий ефект є наслідком поглинання енергії ЕМП. Надлишкове тепло, котре виділяється в організмі людини, відводиться за рахунок

функціонування механізму терморегулювання. Однак, починаючи з певної межі, організм не забезпечує відведення тепла від окремих органів і тому підвищується температура тіла. Перегрівання особливо негативно відбивається на тканинах зі слабо розвиненою судинною системою або з недостатнім кровообігом (очі, мозок, нирки, шлунок, жовчний та сечовий міхур). Опромінення очей викликає каламутність кришталика (катаракта) та втрату зору. Це відбувається у випадку надвисокочастотного опромінення при ПГЕ > 10 мВт/см<sup>2</sup>.

Тривалий вплив радіохвиль помірної інтенсивності при ПГЕ < 1 мВт/см<sup>2</sup> не створює теплового впливу, котрий може викликати функціональні зміни в центральній нервовій системі та в серцево-судинній системі. Виникають також головний біль, швидка втома, погіршення самопочуття, зміни тиску, зміни провідності серцевого м'яза, нервово-психічні розлади. Спостерігаються також трофічні розлади: схуднення, випадання волосся, ламкість нігтів, зміни складу периферійної крові. Ці зміни мають зворотний характер на ранній стадії. Тривалий вплив ЕМП супроводжується фізіологічною адаптацією або послабленням імунологічних реакцій.

Лінії електропередач напругою до 1150 кВ, відкриті роздільні пристрої, до складу котрих входять комунікаційні апарати, пристрої захисту та автоматики, вимірювальні прилади є джерелами електричних полів промислової частоти. Тривалий вплив таких полів знаходить вияв через суб'єктивні розлади (неврози, головний біль у скронях та в потилиці, відчуття в'ялості, розлади сну, погіршення пам'яті, дратівливість, апатія, депресія, серцевий біль, функціональні порушення центральної нервової системи, серцево-судинної системи, зміни складу периферійної крові тощо).

В зв'язку з цими змінами необхідно обмежувати час перебування людей в зоні впливу електричного поля, створюваного струмами промислової частоти напругою понад 400 кВ.

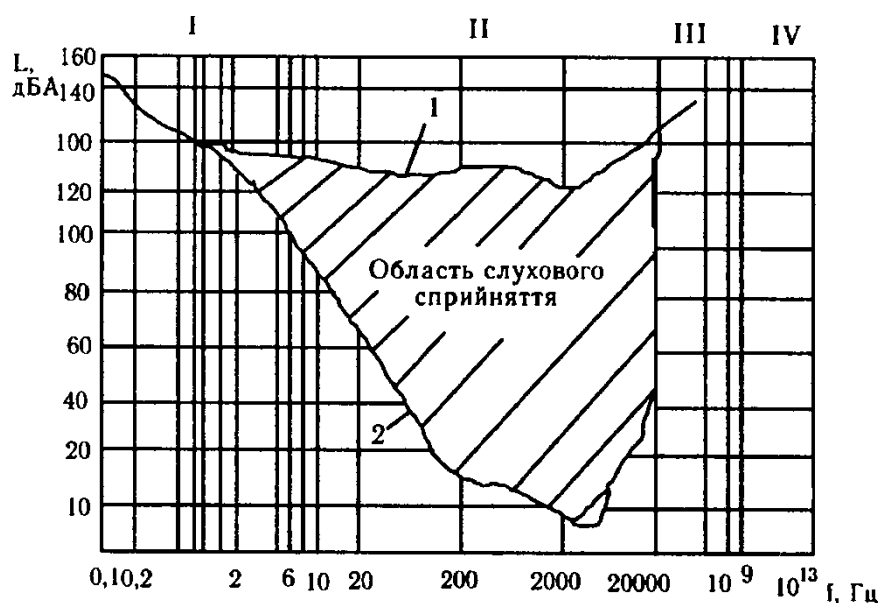
#### 5.4.3 Вплив шуму на виробничу діяльність та методи захисту

Шум – це набір звуків різної частоти та інтенсивності. Частина простору, в котрому поширюються акустичні (звукові) хвилі, називається акустичним полем.

Акустичні хвилі поширюються в пружних середовищах – в газах, рідинах, твердих тілах.

Акустичні коливання, котрі лежать в діапазоні частот 16 - 20 000 Гц, називають звуковими. Вони сприймаються людиною з нормальним слухом. Акустичні коливання з частотою менше 16 Гц називаються інфразвуковими, а понад 20 кГц – ультразвуковими.

Людське вухо здатне сприймати та аналізувати звуки в широкому частотному діапазоні зображеному на рисунку:



I - інфразвукова; II - акустична; III - ультразвукова; IV - гіперзвукова

Рисунок 5.6 - Область звукових коливань

Як видно з рисунка 5.6, область чутних звуків обмежується двома пороговими кривими. Нижня крива називається порогом чутності, а верхня –

порогом больових відчуттів. Найнижчі значення порогових значень лежать в діапазоні частот 1–5 кГц.

Порогове значення слуху молодої здорової людини – 0 дБ на частоті 1000 Гц. Поріг слухового відчуття на частоті 100 Гц вищий, тому що вухо людини менш чутливе до низькочастотних звуків. Больовий поріг – це звук з інтенсивністю 140 дБ, що відповідає звуковому тиску 200 Па та інтенсивності 100 Вт/м<sup>2</sup>.

Поріг дискомфорту (біль у вусі) відповідає звуковому тиску понад 120 дБ. Шум з рівнем звукового тиску до 30 – 35 дБ не турбує людину. Підвищення рівня звукового тиску до 40 – 70 дБ зумовлює значне навантаження на нервову систему, спричиняючи погіршення самопочуття, зниження продуктивності розумової праці. Вплив шуму з рівнем понад 75 дБ протягом тривалого часу викликає погіршення слуху. При дії шуму з високим рівнем (понад 140 дБ) можуть статися розрив барабанних перетинок, контузія, а при шумі з вищим рівнем (понад 160 дБ) може настати смерть.

Прояв шумової патології поділяється на специфічні зміни, які настають в органі слуху і не специфічні, які виникають в інших органах і системах. Шум, котрий є загальнобіологічним подразником, за певних умов може впливати на всі органи та системи організму і викликати фізіологічні зміни. Впливаючи на організм як стрес-фактор, шум викликає зміни реактивності центральної нервової системи, наслідком чого стають розлади функцій органів та систем. Основне значення в розвитку шумової патології має інтенсивність шуму, а також його часотний склад, тривалість щоденного впливу, індивідуальна чутливість.

У деяких людей суттєве ушкодження слуху може настати протягом перших місяців впливу, у інших зниження слуху розвивається протягом всього періоду роботи в шумних умовах поступово.

Зниження слуху на 10 дБ практично не відчувається, на 20 дБ – починає заважати, оскільки це пов'язано з порушенням здатності сприймати звукові сигнали. Опосередковано це може стати причиною нещасних випадків.

Неспецифічні зміни в органах та системах людини особливо проявляються при дії високочастотного шуму. Робітники скаржаться на головний біль, запаморочення, погіршення пам'яті, підвищену втомлюваність, порушення сну, серцебиття та біль в ділянці серця. Спостерігається дисфункція шлунка, зміна кислотності шлункового соку. Загальне захворювання організму з ураженням органу слуху (специфічний орган шуму) та центральної нервової, серцево-судинної системи (неспецифічні зміни) називають шумовою хворобою.



## 6 ЕКОЛОГІЯ

### 6.1 Актуальність екологічної проблеми

В сучасний період взаємовідносини між людиною і природою є надзвичайно складними. Внаслідок цього відновлюваний потенціал природи став меншим за дію суспільства на неї, що викликало початок незворотньої зміни навколишнього середовища.

Тому в Україні відразу з її незалежністю прийнято кардинальні заходи з екологічної безпеки і прийнято закон про охорону навколишнього середовища.

Зараз особливо відчутний вплив на природу в сфері матеріального виробництва. Про це свідчить досвід України, яка маючівеликий промисловий і сільськогосподарський потенціал, стикається з багатьма проблемами екологічного характеру.

В Україні значно ускладнена екологічна обстановка. Причиною цього є катастрофа на ЧАЕС та існування великої кількості атомних виробництв.

Головним джерелом забруднення навколишнього середовища є промислові підприємства. Вони викидають у повітря значну кількість золи, окисів вуглецю, сірки, азоту а також викидають у каналізаційні мережі стічні води, забруднені хімічними відходами.

Велику проблему складає утилізація, складання і знищення відходів промисловості.

На необхідність вирішення зазначених вище екологічних проблем в Україні звернена увага в основних напрямках політики України в галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки, затверджених постановою Верховної Ради України від 5 березня 1998 року №188/98-ВР. Цим документом визначено комплекс заходів, що мають сприяти гармонійному розвитку виробництва та природоресурсного потенціалу України і забезпечувати необхідний рівень екологічної безпеки в Україні.

## 6.2 Вплив на навколишнє середовище

Наявний в даний час у нашій країні комплекс розроблених організаційних заходів і технічних засобів захисту, накопичений передовий досвід роботи ряду обчислювальних центрів (ОЦ) показує, що є можливість досягнути значно більших успіхів в справі усунення впливу на працюючі небезпечні і шкідливі виробничі чинники. Проте стан умов праці і його безпеки в ряді ОЦ ще не задовільняють сучасним вимогам. Оператори ЕОМ, оператори підготовки даних, програмісти і інші робітники ОЦ ще зустрічаються з впливом таких фізично небезпечних і шкідливих виробничих чинників, як підвищений рівень шуму, підвищена температура зовнішнього середовища, відсутність або недостатня освітленість робочої зони, електричний струм, статична електрика й інші.

Багато співробітників ОЦ пов'язані з впливом таких психофізичних чинників, як розумове перенапруження, перенапруження зорових і слухових аналізаторів, монотонність праці, емоційні перевантаження. Вплив зазначених несприятливих чинників призводить до зниження працездатності, викликає розвиток стомлення. Поява і розвиток стомлення пов'язані зі змінами, що виникають під час роботи в центральній нервовій системі, з гальмівними процесами в корі головного мозку. Наприклад, сильний шум викликає труднощі з розпізнаванням колірних сигналів, знижує швидкість сприйняття кольору, гостроту зору, зорову адаптацію, порушує сприйняття візуальної інформації, зменшує на 5-12% продуктивність праці. Тривалий вплив шуму з рівнем звукового тиску 90 дБ знижує продуктивність праці на 30-60 %.

### 6.3 Безпосередній вплив на людину

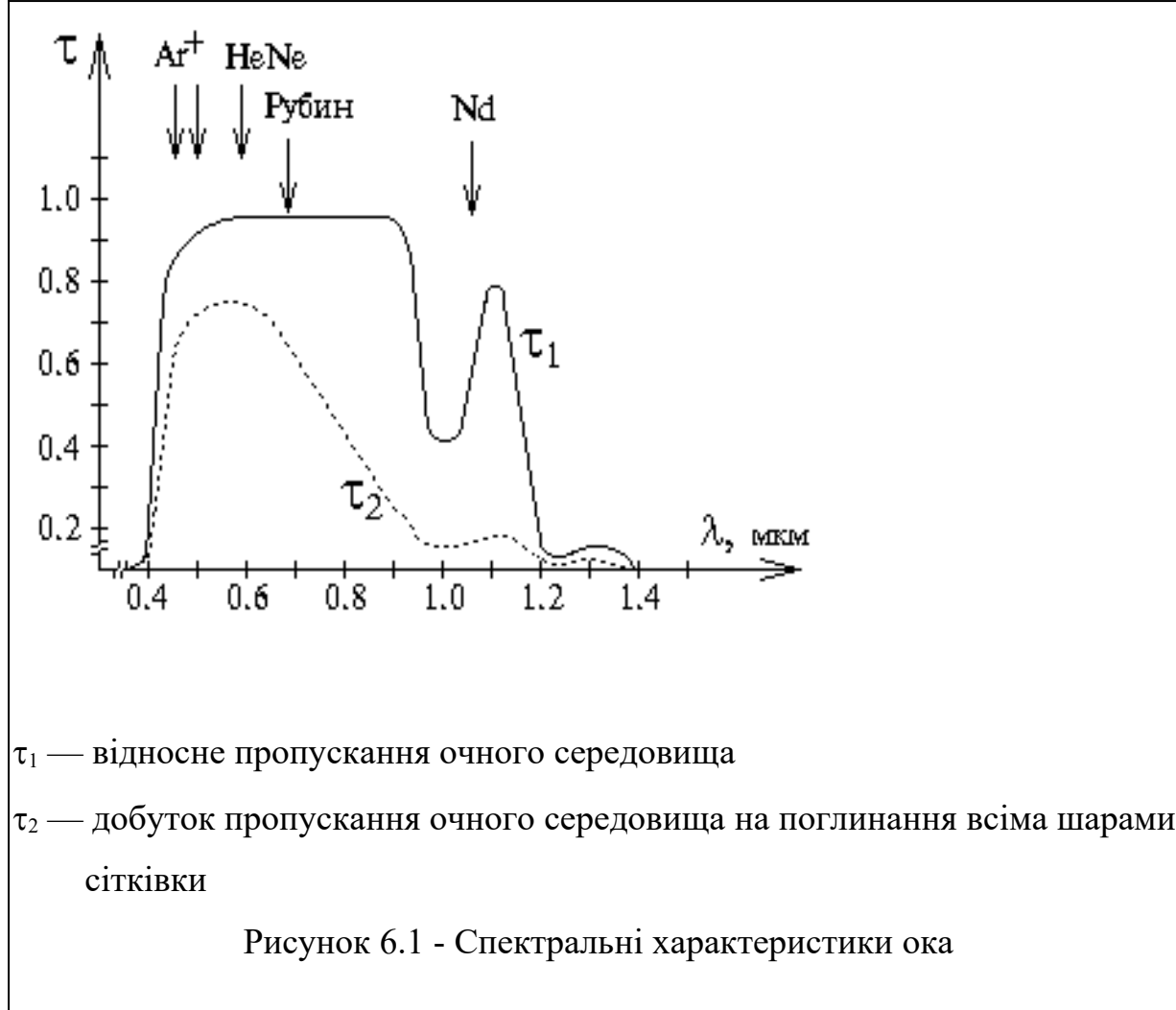
Медичні обстеження робітників ОЦ показали, що крім зниження продуктивності праці, високі рівні шуму призводять до погіршення слуху.

Тривале перебування людини в зоні комбінованого впливу різноманітних несприятливих чинників може призвести до фахового захворювання. Аналіз травматизму серед робітників ОЦ показує, що в основному нещасні випадки відбуваються під впливом необережного або непрофесійного користування лазерними установками.

Безпосередній вплив на людину робить лазерне випромінювання будь-якої довжини хвилі, однак у зв'язку зі спектральними особливостями органів, що уражаються, і істотно різними гранично припустимими дозами опромінення, як правило, розрізняють вплив на очі і шкірні покриви людини.

Основний елемент зорового апарата людини — сітківка ока — може бути уражена лише випромінюванням видимого (від 0.4 мкм) і ближнього ІЧ-діапазонів (до 1.4 мкм), що пояснюється спектральними характеристиками людського ока (рис. 6.1). При цьому хрусталик і очне яблуко, діючи як додаткова фокусуюча оптика, істотно підвищують концентрацію енергії на сітківці, що в свою чергу, на кілька порядків знижує максимально припустимий рівень (МДР) опромінення зіниці.

Крім довжини хвилі  $\lambda$ , необхідно враховувати також тривалість впливу світлового випромінювання. При дуже коротких імпульсах (коли не встигають спрацювати механізми теплопровідності в області сітківки) нормують густину енергії для видимого випромінювання ( $0.4 < \lambda < 0.7$  мкм) при  $\Delta t < 2 \cdot 10^{-5}$  з МДР опромінення рогівки ока складає  $5 \cdot 10^{-3}$  Дж/м<sup>2</sup>; для ІЧ-випромінювання ( $1.05 < \lambda < 1.4$  мкм) при  $2 \cdot 10^{-5} < \Delta t < 5 \cdot 10^{-5}$  — на порядок більше, тобто  $5 \cdot 10^{-2}$  Дж/м<sup>2</sup>. Якщо тривалість імпульсу перевищує 20 мкс для видимого і 20÷50 мкс для ближнього (до 1.4 мкм) випромінювання, то нормують у першому наближенні густину



потужності: для видимого випромінювання МДР складає  $18\Delta t^{0.75}$  Вт/м<sup>2</sup>; для ІЧ-випромінювання — майже на порядок більше, тобто  $90\Delta t^{0.75}$  Вт/м<sup>2</sup>.

В усіх розглянутих далі випадках перехідна область спектра — від темно-червоного ( $\lambda > 700$  нм) до цілком невидимого ближнього ІЧ-випромінювання ( $\lambda < 1050$  нм) — характеризується монотонним підвищенням МДР від мінімального значення (для темно-червоного випромінювання) до максимального (для цілком невидимого ІЧ-випромінювання) за законом  $Z_4 = 10^{(\lambda - 700)/500}$ .

Приведені дані по МДР охоплюють область найбільш критичних значень параметрів опромінення зіниці ока, коли в інтервалі від  $10^{-9}$  до 10 із причиною ушкодження сітківки є теплова дія сфальцьованого світла при прямому спостереженні лазерного пучка, тоді як надкороткі лазерні імпульси викликають в основному термоакустичний вплив — протоплазма кліток через швидкий розігрів закипає і розриває оболонку. В цьому випадку нормують густину потужності: для

видимого випромінювання МДР складає  $5 \cdot 10^6$  Вт/м<sup>2</sup>, для ІЧ-випромінювання —  $5 \cdot 10^7$  Вт/м<sup>2</sup>.

Тривале ( $\Delta t > 10$  с) прямий вплив лазерного випромінювання на сітківку приводить в основному до фотохімічних процесів її руйнування. Щоб уникнути цього (як і у випадку свехкоротких імпульсів), нормують енергетичну освітленість (експозицію). Для зеленого ( $\lambda = 550$  нм) і більш короткохвильового ( $\lambda > 400$  нм) видимого світла МДР складає 100 Дж/м<sup>2</sup>. Що стосується "теплих" квітів ( $550 < \lambda < 700$  нм), те фотохімічні процеси починають відігравати помітну роль тільки при великих тимчасових впливах лазерного випромінювання ( $T_2 = 10^{0.02(\lambda-500)+1}$  с), і в цьому випадку МДР потрібно зменшити в  $Z_3$  разів ( $C_3 = 10^{0.015(\lambda-550)}$ ).

Надто довгий ( $\Delta t > 10^3 \div 10^4$  с) прямий вплив лазерного випромінювання характеризується малим значенням МДР, а саме 0.01 Вт/м<sup>2</sup> для синьо-зеленого ( $0.4 < \lambda < 0.55$  мкм) випромінювання. Більш довгохвильове видиме випромінювання ( $550 < \lambda < 700$  нм) допускає МДР =  $10^{0.015(\lambda-500)+2}$  Вт/м<sup>2</sup>. У випадку ІЧ випромінювання перехід від експозиційного до потужного обмеження (коли істотну роль грають регенераційні процеси, що компенсують фотохімічне руйнування) здійснюється при  $\Delta t > 10$  с: для  $1.05 < \lambda < 1.4$  мкм МДР складає 16 Вт/м<sup>2</sup>; для  $\lambda > 700$  нм (темно-червоне випромінювання) і  $\lambda < 1050$  нм (ближнє ІЧ- випромінювання) монотонно зростаючий МДР складає  $3.2 \cdot 10^{(\lambda-700)/500}$  Вт/м<sup>2</sup>.

На перераховані МДР опромінення орієнтуються при однократному впливі на око прямого лазерного випромінювання, що фокусується хрусталиком у дуже незначну пляму на сітківці.

При наявності послідовності імпульсів не тільки жоден з них, але й усереднене опромінення не повинні перевищувати МДР.

Якщо тривалість окремих імпульсів перевищує 10 мкс (а частота проходження  $f > 1$  Гц), то для імпульсу тривалістю  $N$  за обмеження опромінення приймають  $(1/N)$ -ю частину МДР.

Найбільш складно визначити МДР для повторюваних серій, що складаються з визначеного числа імпульсів. Коли в серії не більш 10 імпульсів, її прирівнюють до одного еквівалентного імпульсу. При цьому:

- якщо серія менше 10 мкс, то за тривалість еквівалентного імпульсу приймають тривалість самого короткого імпульсу в серії, а за енергетичний вплив — сумарний (повний) енергетичний вплив всієї серії;
- якщо  $\Delta t$  серії більше 10 мкс, то за тривалість еквівалентного імпульсу приймають сумарну тривалість парціальних імпульсів, а за енергетичний вплив — сумарний енергетичний вплив всієї серії.

Якщо в серії більш 10 імпульсів, то МДР розраховують як для одного, нібито безупинного імпульсу, що охоплює всю послідовність.

## ВИСНОВКИ

Спроектований пристрій для дослідження пружних характеристик стопорних кілець призначений для вимірювання деформації кільця при прикладанні до нього осьової сили. Також розроблений автоматичний вузол завдяки якому, проводиться автоматична подача кілець на вимірювальну позицію і подальше їх розсортування.

Установка володіє високою швидкістю завдяки спроектованій функціональній схемі керування з використанням мікропроцесорної техніки. Передбачено керування установкою як в ручному режимі, так і в автоматичному, з допомогою кнопок керування або за допомогою персонального комп'ютера.

Проведений розрахунок економічної ефективності від впровадження даної установки у виробничий процес.

Приведені вище формули дозволяють визначити величину деформації кільця прямокутного січення до якого прикладена осьова сила, а також напруження в поперечному січенні і кут повороту кільця.

В даному дипломному проекті розроблено електронний блок керування приладом для вимірювання пружних характеристик кільцевих пружин, що спрощує процес вимірювання. Результати вимірювання виводяться на персональний комп'ютер через послідовний інтерфейс RS-232 та РК дисплей.

Автоматизація процедури вимірювання здійснюється завдяки організації керування виконавчими пристроями в розробленому електронному блоці.

Функції розробленого електронного блоку:

- зчитувати дані із індуктивного давача;
- зчитувати дані із тензOMETричного давача;
- керування електромагнітним, пневматичним та гідравлічними виконавчими пристроями;
- передача інформації вимірювання за допомогою РК дисплея;
- з'єднання з ПК через інтерфейс RS232.

На основі отриманих кінцевих результатів можна зробити висновок про економічну доцільність впровадження у виробництво і експлуатацію пристрою для вимірювання пружних характеристик кільцевих пружин. Поряд із зменшенням затрат на впровадження і експлуатацію нова установка має покращені технічні характеристики, надійність, точність вимірювання, зменшилися витрати на ремонт і обслуговування даного приладу, що збільшило економічний ефект. Отже, впровадження проектного варіанту є економічно та технічно обґрунтованим.

Враховуючи економічні і технічні показники можна стверджувати, що дана установка є конкурентноспроможною.



## БІБЛІОГРАФІЯ

1. Проектирование датчиков для измерения механических величин . Под ред. Е. П. Осадчего. – М.: Машиностроение, 1978, – 480с.
2. Основи конструювання та розрахунок деталей машин, Павлице В.Т. – Київ.: Вища школа, 1993, - 555с.
3. Виглеб Г. Датчики. Устройства и применения, Пер. С нем. – Мир, 1989, – 196с.
4. Справочник по производственному контролю в машиностроении, /Под ред. А. К. Кутая, – М.:Машиностроение,1974,– 676с.
5. Курсовое проектирование деталей машин, / Под ред. С.А. Чернавского,– М.:Машиностроение, 1989,– 416с.
6. Справочник по производственному контролю в машиностроении, /Под ред. А. К. Кутая, – М.:Машиностроение,1974,– 676с.
7. Курсовое проектирование деталей машин, / Под ред. С.А. Чернавского,– М.:Машиностроение, 1989,– 416с.
8. Циклограми роботи засобів вимірювання і контролю, брошура,–12с.
9. Матеріали машино- і приладобудування / Я. О. Ковальчук, П. В. Ясній. – Тернопіль:, 2001, – 132с.
- 10.Справочник технолога – машиностроителя. В 2-х т. Т.2/Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова – М.:Машиностроение, 1985, – 496с.
11. Проектирование станочных приспособлений: Учебное пособие для учащихся техникумов, А. П. Белаусов – М.: Высш. школа, 1980, – 240с.
12. Навчально-налагоджувальний стенд ST841/CPLD (V4.1) / Паламар М.І., Чайковський А.В., Пастернак Ю.В., Стрембіцький М.О. Паламар А.М. – Тернопіль: ТНТУ, 2011, – 53 с.
13. <http://chiplist.ru/chips/KR1816VE51/>
14. [https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADUC841\\_842\\_843.pdf](https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADUC841_842_843.pdf)
15. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/doc2466.pdf>

16. <https://www.automationsystemsandcontrols.net.au/PDF's%20Autonics/proxi/PS%20Series%20Rectangular%20Proximity%20Sensors%20from%20ASC%20Ph%2003%209720%200211.pdf>
17. <http://www.autoniconline.com/image/pdf/PA10.pdf>