

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет прикладних технологій

(назва факультету )

Кафедра приладів та контрольно-вимірювальних систем

(повна назва кафедри)

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту (роботи)

магістра

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: Інформаційна система вимірювання для дослідження впливу зазору між статором і ротором на вібрації електродвигунів

Виконав: студент (ка) 6 курсу, групи РІм-61

спеціальності (напряму підготовки) 152

Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(шифр і назва спеціальності (напряму підготовки))

Полоз Д. І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Зелінський І. М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Апостол Ю. О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Дедів Л. Є.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 2019

3MCT

## ВСТУП

Розвиток сучасної вимірювальної техніки, орієнтованої на забезпечення вирішення проблеми автоматизації управління різноманітними процесами (технологічними, випробувальними, дослідницькими, діагностичними і т.п.), супроводжується бурхливим ростом різноманіття видів вимірювань при неухильному розширенні діапазонів вимірювань і підвищенні швидкодії і точності. Основною передумовою для розширення функціональних можливостей і принципова особливість сучасної вимірювальної техніки полягає у введенні у вимірювальний ланцюг програмованої обчислювальної потужності переважно у вигляді мікропроцесорного пристрою або ЕОМ. Перехід від цифрових вимірювальних приладів і пристроїв до процесорних вимірювальних засобів привів до того, що вимірювальний пристрій має в своєму складі дві частини – апаратну і програмну, так як значна частина вимірювальної процедури в них реалізується у цифровій формі, тобто з допомогою вимірювальних перетворень цифрових масивів.

Якість продукції, що випускається на машинобудівних підприємствах залежить від кількості і якості вимірювань, з допомогою яких контролюються технологічні параметри виробничих процесів, так і параметри, характеристики і властивості одержуваних виробів.

В приладобудуванні до 15% трудових затрат приходиться на виконання вимірювань, які забезпечують якість, надійність і взаємозамінність виробів.

Дослідження тертя і зношування деталей машин відносяться до числа найбільш актуальних, так як більшість машин і їх деталей виходять з ладу внаслідок зношування.

Дослідження зношування проводять в лабораторних умовах на зразках і деталях і в умовах нормальної експлуатації на натурних машинах.

На зразках переважно проводять порівняльні випробування на абразивне зношування матеріалів, захисних пристроїв, мастильних матеріалів.

# 1 ДОСЛІДНИЦЬКО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

## 1.1 Аналіз об'єкту контролю

Однією із актуальних проблем сучасної техніки є вимірювання параметрів вібрації, ударів і шумів. Сьогодні неможливо практично назвати жодного об'єкту контролю чи виробничого процесу, який би не відчував впливу вібраційних навантажень. Вже протягом довгого часу розробляються способи боротьби із шкідливим впливом вібрації в техніці, оскільки інерційні сили, що виникають при вібраціях і ударах можуть викликати напруження, що перевищують границю міцності конструкції, або відносні переміщення деталей в недопустимих межах. Під впливом тривалої дії інерційних сил з'являються руйнування матеріалу. Через вібрації значно зменшується строк служби обладнання, погіршується якість його роботи. Наприклад, вібрації металоріжучих верстатів не дають можливості одержати високу якість оброблених поверхонь деталей, зменшують точність їх виготовлення. Шкідливу дію на людину здійснюють і шум, який представляє собою акустичні коливання в повітряному середовищі.

У даній дипломній роботі представлено розробку конструкції стенду для дослідження вібрації електричних двигунів з номінальною потужністю від 0,5 до 2кВт будь-якої модифікації і принципу дії. Для конкретизації задачі в якості предмету дослідження вибрано асинхронний двигун марки 4А71А2У3 /4,с.384/.

Розроблений стенд дозволяє дослідити вібропереміщення статора двигуна при зміні зазору між статором і ротором. Діапазон зміни зазору 3 мм.

Переміщення, як параметр вібрації, представляє інтерес в тих випадках, коли необхідно знати відносне зміщення об'єкту чи деформацію.

При вимірюванні вібраційного переміщення його рівень відносно умовного прийнятого значення рівня  $S_0 = 8 \cdot 10^{-11}$  мм складає  $L_s = 20 \lg S/S_0$ ,

де  $L_s$ - рівень переміщень, дБ ;  $S$  - величина переміщення, мм.

## 1.2 Патентний пошук

Розробка стенду для дослідження вібрації електричних двигунів була здійснена на основі А.С. № 1597592, в якому описано стенд для вимірювання магнітних складових вібрації електричних машин.

Винахід відноситься до віброметрії і забезпечує розширення експлуатаційних можливостей стенда за рахунок забезпечення дослідження впливу нерівномірностей зазору між статором і ротором на магнітні складові вібрації. Це забезпечується обладнанням стенда мікрометричним пристроєм для вертикального переміщення закріпленого на мікрометричному гвинті 8 стола 7, на якому встановлений корпус із статором 6 досліджуваної машини. Ротор 1 встановлюється на масивному фундаменті 3 в опорах 2. Завдяки цьому вібрація ротора не передається статору і вібродатчикам 13, встановлені в контрольних точках корпусу, вимірюють тільки вібрацію статора, яка викликана діючими в машині магнітними силами.

Переміщення стола 7 мікрометричним гвинтом 8 забезпечує задання різної нерівномірності зазору.

На рис.1 А.С. представлено структурну схему стенду. Ротор 1 досліджуваної електричної машини, з якої зняті підшипникові щити, встановлений в опорах 2, які фіксуються на фундаменті 3 з допомогою гайки 4 і можуть при підготовці стенда переміщатися вздовж фундаменту 3 в направляючих пазах 5. Фундамент 3 стенда представляє собою, масивну металічну плиту. Корпус із статором 6 встановлений окремо від ротора 1 на столі 7, який може переміщатись по вертикалі з допомогою мікрометричного пристрою, що включає в себе мікрометричний гвинт 8 із шпоночною канавкою 9, закріплену на фундаменті направленою втулку 10 із шпонкою 11 і накручений на гвинт 8 штурвал 12, впертий у втулку 10 нижньою площиною. Конструкція мікрометричного пристрою забезпечує поступальне вертикальне переміщення стола 7, закріпленого на гвинті 8 і виключає його обертання. В контрольних

точках корпуса статора 6 встановлені вібрдатчики 13 / для простоти показаний тільки один вібрдатчик/.

### 1.3 Огляд аналогів

Оскільки вивчення параметрів вібрації є дуже важливим для здійснення контролю механічного стану обладнання, тому на даний момент вже розроблено цілий ряд різноманітних засобів вимірювання цієї характеристики.

Апарати для експлуатаційного контролю вібрації машин поділяють на дві групи: переносу, яка служить для періодичного контролю і аналізу вібрації машин і стаціонару, що входить в комплекс контролюючого обладнання і дозволяє вести неперервний контроль, вібрації під час пуску і експлуатації машини.

На рисунку 1.1 показана принципова схема ручного вібрографа, що здійснює запис на папері / 2 /.

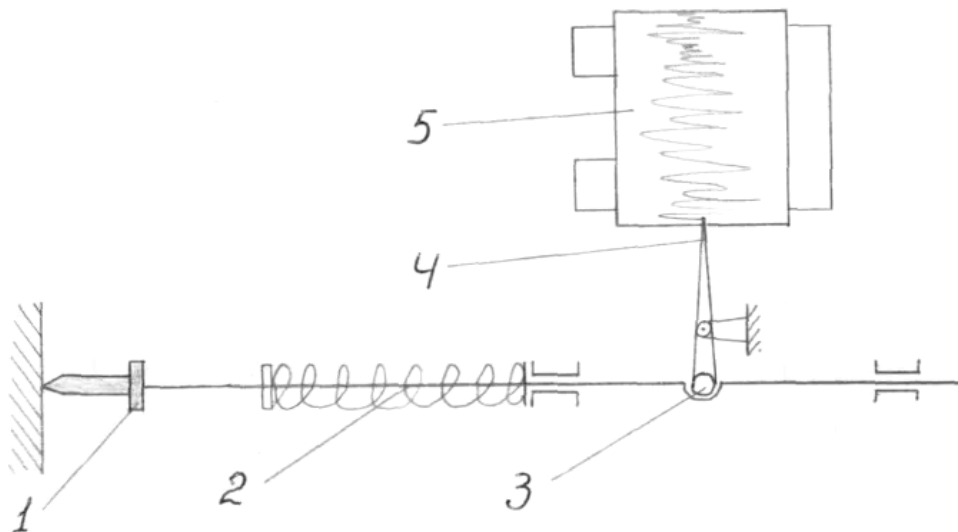


Рисунок 1.1 Схема ручного механізму вібрографа

З допомогою пружини 2 штифт 1 притискається оператором до вібруючого об'єкту. Переміщення штифта через тягу передається на важільний

механізм 3, на вільному кінці якого закріплено перо 4. Запис здійснюється на папері, що міститься в барабані 5. Барабан приводиться в обертання годинниковим механізмом із швидкістю 4м/с. Важільний механізм забезпечує шестикратне збільшення зареєстрованої вібрації. Запис дає можливість оцінити не тільки амплітуду, але і спектральний аналіз коливань, а з допомогою відмітки часу і частоту коливань.

Схема найпростішою граничного акселерометра моделі 365 фірми "РОБЕРТШОЮ", приведена на рисунку 1.2.

З допомогою шарніра, який утворюють хрестоподібне закріплені плоскі пружини, на основі акселерометра кріпиться важіль з вантажем із феромагнітними матеріалами. Важіль утримується в положенні рівноваги між магнітами 213. Положення рівноваги при вибраному зазорі, визначеному гранично допустимим прискоренням, встановлюється регулюючим гвинтом 4. При перевищенні заданого рівня прискорення інерційні сили, що діють на вантаж, розміщений на кінці важеля, зміщують важіль. Він різко притягується до верхнього магніту, натискаючи на мікровимикач, який керує сигнальними ланцюгами або виконавчим механізмом, що вимикає об'єкт, який захищається.

Прилад реагує на прискорення, що визначається амплітудами гармонічних складових всього спектру в тому числі високочастотних складових, які в більшості випадків, незважаючи на великі значення відповідним їм прискоренням, не характеризують змін вібраційного прискорення, викликаного характерними неполадками, зв'язаними, наприклад, з розбалансуванням ротора, прогином вала, зношенням підшипників.

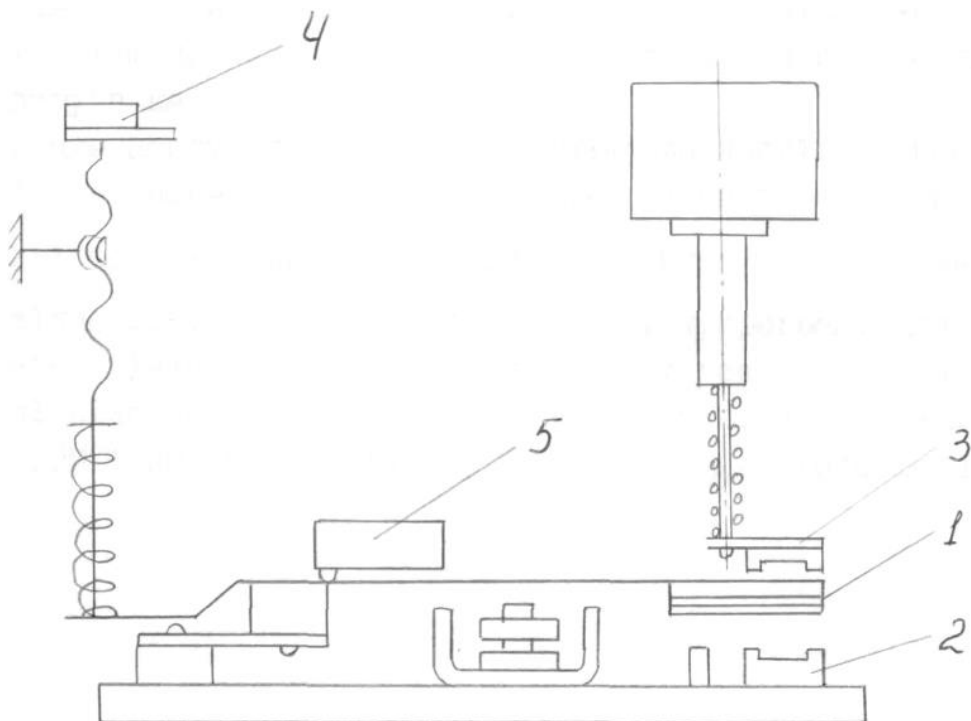


Рисунок 1.2

#### 1.4 Будова стенду і принцип дії

Основою розроблюваного стенду (див. КР 295.00.00.000 С2) є масивний корпус, до якого кріпляться усі робочі вузли. До масивних ніжок прикріплені вузли бабки, що складаються із направляючих у вигляді "ласточкин хвіст" і підшипників кочення, що забезпечують вільне обертання ротора досліджуваного двигуна.

Перед початком вимірювань статор 1 досліджуваного двигуна (без підшипникових щитів) встановлюють на стіл 11, а його ротор 2 кріплять між бабками за допомогою центровочних заглиблень у валі ротора і осьового переміщення правої бабки гвинтовим механізмом 6.

Вузол, який забезпечує рух робочого стола 11, складається з крокового двигуна 12, муфти і гвинтової пари.

Кроковий двигун кріпиться до корпусу за допомогою скоби.



Вимірювальні датчики вібрації Д закріплені безпосередньо на корпусі статора за допомогою спеціальної скоби. вплив вібрації статора двигуна на

Стенд працює наступним чином. Встановлюємо статор досліджуваного двигуна на столі і закріплюємо ротор в бабках. Датчики встановлюємо на корпус статора двигуна.

Далі необхідно запуснути на виконання керуючу програму для ЕОМ. Програма через інтерфейс подає керуючі імпульси на кроковий двигун і забезпечує періодичну зміну зазору між ротором і статором. Після кожного заданого лінійного інтервалу переміщення стола включаються електромагніти 7 і фіксують стіл відносно кожної з трьох направляючих за допомогою цангових зажимів. В цьому положенні подається живлення на обмотки статора і послідовно знімаються покази з вібродатчиків. Перед наступним циклом переміщення цанги розфіксуються. Аналіз вимірювань проводить ЕОМ і подає користувачу у зручній для нього формі.

### 1.5 Конструкція пристрою

Фіксуючий пристрій призначений для створення прижимного зусилля, необхідного для утримання на період вимірювання вібрації стола із закріпленням на ному статором двигуна в нерухомому положенні відносно жорстко закріплених в корпусі направляючих.

Принцип дії прижимного пристрою: при подачі струму на котушку електромагніту 1 відбувається переміщення якоря, на якому закріплений важіль 3 вниз. Поворот важеля навколо штифта, встановленого в корпусі 9, приводить до переміщення конусної втулки 5 також вниз, що приводить до розтискування пелюсток цанги 4. При відключенні живлення пружина електромагніту забезпечує повернення важеля 3 в початкове положення і фіксацію пелюсток цанги відносно направляючих. Кріплення прижимного пристрою здійснюється з допомогою гвинтів 16.

### 1.5.1 Розрахунок електромагніту

Вихідними даними для розрахунку електромагніту є прижимне зусилля

$P = 15$  Н; хід якоря  $\delta = 0,8 \cdot 10^{-2}$  м, тепловий режим  $\theta = 85^\circ$ .

Визначаємо конструктивний фактор  $K\Phi$

$$K\Phi = \frac{1 \cdot 10^{-3} \sqrt{P}}{\delta} \quad (1.1)$$

$$K\Phi = \frac{1 \cdot 10^{-3} \sqrt{15}}{0,8 \cdot 10^{-2}} = 0,484$$

У відповідності з отриманим значенням  $K\Phi$  проводимо вибір електромагніту. Приймаємо конструктивний вид електромагніту – втяжний з конічним стопом.

Діаметр якоря  $d$  обчислюємо за формулою:

$$d = \frac{1,79 \cdot 10^{-3} \sqrt{P}}{B_\delta \cdot \sin \alpha / 2} \quad (1.2)$$

де  $B_\delta$  - магнітна індукція, Тл.

Для забезпечення мінімальних габаритних розмірів, об'єму, маси та втрат магніторушійної сили значення  $B_\delta$  вибирають з діапазону 0,5...1,1 Тл. Приймаємо  $B_\delta = 0,57$  Тл, кут конусу якоря  $\alpha = 60^\circ$ .

$$d = \frac{1,79 \cdot 10^{-3} \sqrt{15}}{0,57 \cdot \sin 30^\circ} = 2,432 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Приймаємо  $d = 2,45 \cdot 10^{-2}$  м

Розраховуємо зовнішній діаметр  $D$  магнітопроводу:

$$D = 2d$$

$$D = 2 \cdot 2.45 \cdot 10^{-2} = 4.9 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Довжина магнітопроводу  $L$  рівна

$$L = 8.7 \cdot 10^3 (\delta \sin \alpha / 2 + \delta_g) \sqrt{\frac{P \cdot \rho}{D^3 n_{yg}}}$$

де  $\delta_{\text{п}}$  – неробочий зазор втяжних електромагнітів, мм;

$\rho$  - питомий опір проводу, Ом·м;

$n_{yg}$  – питома потужність розсіювання, Вт/м<sup>2</sup>;

Неробочий зазор  $\delta_{\text{п}}$  збільшує опір магнітного кола і тим самим зменшує тягове зусилля. Раціональне значення  $\delta_{\text{п}} = 0,15 \dots 0,5$  мм. Приймаємо  $\delta_{\text{п}} = 0,2$  мм. Питомий опір проводу  $\rho$  для заданого теплового режиму  $\theta$  вибирається по графіку [5]  $\rho = 2.36 \cdot 10^{-8}$  Ом·м. Аналогічно визначається потужність розсіювання,  $n_{yg} = 950$  Вт/м<sup>2</sup>. Підставивши дані в формулу (5.2) одержимо:

$$L = 8.7 \cdot 10^3 (0.8 \cdot 10^{-2} \sin 60 / 2 + 0.2 \cdot 10^{-3}) \sqrt{\frac{15 \cdot 2.36 \cdot 10^{-8}}{(4.9 \cdot 10^{-2})^3 \cdot 950}} = 5.98 \cdot 10^{-2}$$

приймаємо  $L = 6 \cdot 10^{-2}$  м

визначаємо максимальну магнітну індукцію  $B$

$$B = B_{\delta} / \varphi \quad (1.3)$$

де  $\varphi$  - поправочний коефіцієнт, що визначається на основі графіку [5]

$$\varphi = 0.915$$

$$B = 0.57 / 0.915 = 0.619 \text{ Тл}$$

Внутрішній діаметр магнітопроводу  $D_1$  обчислюємо за формулою [5, с.317]:

$$D_1 = 0.87D \quad (1.4)$$

$$D_1 = 0,87 \cdot 4,9 \cdot 10^{-2} = 4,263 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Приймаємо  $D_1 = 4,3 \cdot 10^{-2}$  м

Товщина фланця  $C = 0,12D$

$$C = 0,12 \cdot 4,9 \cdot 10^{-2} = 5,88 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Довжина стопа під котушку  $l$  визначається з рівності:

$$l = L - 2C$$

$$l = 6 \cdot 10^{-2} - 2 \cdot 0,59 \cdot 10^{-2} = 4,82 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Приймаємо  $l = 4,8 \cdot 10^{-2}$  м

Довжина стопа котушки  $l_{cm}$

$$l_{cm} = l \cdot 0,5$$

$$l_{cm} = 4,82 \cdot 10^{-2} \cdot 0,5 = 2,40 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Визначаємо середній діаметр котушки :

$$D_{cp} = \frac{(D_1 - 2\Delta) + (d + 2b)}{2}$$

де  $\Delta$  - зазор між котушкою і корпусом,  $\Delta = (0,025 \dots 0,2) \cdot 10^{-2}$  м

$b$  – товщина циліндричної частини каркасу

$b = (0,05 \dots 0,25) \cdot 10^{-2}$  м.

Приймаємо  $\Delta = 0,05 \cdot 10^{-2}$  м,  $b = 0,05 \cdot 10^{-2}$  м

Тоді,

$$D_{cp} = \frac{(4,3 \cdot 10^{-2} - 2 \cdot 0,05 \cdot 10^{-2}) + (2,45 \cdot 10^{-2} + 2 \cdot 0,05 \cdot 10^{-2})}{2} = 3,370 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Отже ,  $D_{cp} = 3,4 \cdot 10^{-2}$  м .

Діаметр проводу  $d_{np}$  становить :

$$d_{np} = 1,78 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{\rho D_{cp} \cdot B(\sin(\alpha 2) \delta - \delta_n)}{U}} \quad (1.5)$$

де  $U$  – напруга живлення,  $U = 27$  В.

$$d_{np} = 1,78 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{\frac{2,35 \cdot 10^{-8} \cdot 3,4 \cdot 10^{-2} \cdot 0,619 \left(0,008 \sin \frac{60}{2} - 0,2 \cdot 10^3\right)}{27}} = 4,696 \cdot 10^{-4}$$

Приймаємо  $d_{np} = 4,7 \cdot 10^{-4}$  м, діаметр проводу з ізоляцією

$$d_{п.із} = 4,9 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

Визначаємо висоту котушки  $h_k$

$$h_k = \frac{(D_1 - 2\Delta) - (d + 2b)}{2} \quad (1.6)$$

$$h_k = \frac{(4,3 \cdot 10^2 - 2 \cdot 0,05 \cdot 10^{-2}) - (2,45 \cdot 10^{-2} + 2 \cdot 0,05 \cdot 10^{-2})}{2} = 8,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Довжина котушки  $l_k$  рівна:

$$l_k = L - 2(b_1 + c) \quad (1.7)$$

де  $b_1$  – товщина щоки каркасу, м

$$b_1 = (0 \dots 0,2) \cdot 10^{-2} \text{ м. } b_1 = 0,1 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

Обчислимо число витків котушки  $w$  [5, с.318]:

$$w = \frac{0,865 \cdot l_k \cdot h_k}{d_{н.із}^2} \quad (1.8)$$

$$w = \frac{0,865 \cdot 5,21 \cdot 10^{-2} \cdot 8,25 \cdot 10^{-3}}{(4,9 \cdot 10^{-4})^2} = 1548,52$$

приймаємо  $w = 1548$  витків.

Опір котушки  $R_o$  визначається залежністю [5,с.318]

$$R_o = \frac{7 \cdot 10^{-8} \cdot D_{cp} \cdot w}{d_{np}^2} \quad (1.9)$$

$$R_o = \frac{7 \cdot 10^{-8} \cdot 3,4 \cdot 10^{-2} \cdot 1548}{(4,9 \cdot 10^{-4})^2} = 17,008 \text{ Ом}$$

Довжина обмоточного проводу  $L_{\text{пр}}$ :

$$L_{\text{пр}} = \pi \cdot D_{\text{ср}} \cdot w \quad (1.10)$$

$$L_{\text{пр}} = 3,14 \cdot 3,4 \cdot 10^{-2} \cdot 1548 = 165,3483 \text{ м}$$

Проведемо перевірочний розрахунок.

Перевіримо розміри і параметри електромагніту.

Внутрішній діаметр магнітопроводу:

$$D_1 = 0,87D \quad (1.11)$$

$$D_1 = 4,3 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Діаметр якоря

$$d = 0,5D \quad (1.12)$$

$$d = 2,45 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Товщина фланця  $C_1$  на переферії :

$$C_1 = 0,06 D \quad (1.13)$$

$$C_1 = 0,06 \cdot 4,9 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 2,34 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Січення якоря  $S$  ;

$$S = \pi d^2 / 4 \quad (1.14)$$

$$S = \frac{3,14(2,45 \cdot 10^{-2})^2}{4} = 4,714 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Середній діаметр котушки  $D_{\text{ср}}$

$$D_{\text{ср}} = 0,5(D_{\text{зн}} + d_{\text{вн}}) \quad (1.15)$$

де  $D_{\text{зн}}$  – зовнішній діаметр намотки, м;

$d_{\text{вн}}$  – внутрішній діаметр намотки, м;

Оскільки,  $D_{\text{зн}} = 4,15 \cdot 10^{-2}$  м,  $d_{\text{вн}} = 2,5 \cdot 10^{-2}$  м, то

$$D_{\text{ср}} = 0.5(4,15 \cdot 10^{-2} + 2,5 \cdot 10^{-2}) = 3,325 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Висота намотки  $h_k$

$$h_k = 0.5(D_{\text{зн}} - d_{\text{вн}}) \quad (1.16)$$

$$h_k = 0.5(4,15 \cdot 10^{-2} - 2,5 \cdot 10^{-2}) = 8.25 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Число витків котушки  $w$

$$w = \frac{0.865 \cdot l_k \cdot h_k}{d_{\text{нз}}^2} \quad (1.17)$$

$$w = \frac{0.865 \cdot 5.21 \cdot 10^{-2} \cdot 8.25 \cdot 10^{-3}}{(4.9 \cdot 10^{-4})^2} = 1548$$

Споживаний струм

$$I = U / R \quad (1.18)$$

$$I = 27 / 15 = 1.8 \text{ А}$$

Повна магніторушійна сила  $F = w \cdot U / R$

$$F = 1548 \cdot 27 / 15 = 2785,26 \text{ А}$$

Визначаємо максимальну магнітну індукцію

$$B = \frac{\mu_0 \cdot F}{\delta \cdot \sin \alpha / 2 + \delta_n} \quad (1.19)$$

де  $\mu_0$  – магнітна проникність середовища,

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$$

$$B = \frac{4\pi 10^{-7} \cdot 2785.26}{0.8 \cdot 10^{-2} \sin 60 / 2 + 0.2 \cdot 10^{-3}} = 0.833$$

Значення поправочного коефіцієнту  $\varphi$  знаходимо за графіком,  $\varphi = 0,9$

Обчислюємо тягове зусилля  $P$

$$P = \frac{\mu_0 \cdot \varphi^2 F^2 S}{2(\delta \sin \alpha / 2 + \delta_n)} \quad (1.20)$$

$$P = \frac{4\pi 10^{-7} (0.9)^2 \cdot (2785.26)^2 \cdot 4.714 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot (0.8 \cdot 10^{-2} \sin 60 / 2 + 0.2 \cdot 10^{-3})^2} = 18 \text{ Н}$$

Для побудови тягової характеристики скористаємось формулою (1.24) на основі якої знайдемо значення тягового зусилля  $P$  при певній величині ходу якоря  $\delta$ . Результати розрахунку приведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – дані для побудови тягової характеристики

Зусилля $P$ , Н	Хід якоря $\delta$ , мм
75	0,2
60	2
50	3
42	4
34	5
29	6
18	8

Графік тягової характеристики зображений на рисунку 1.2

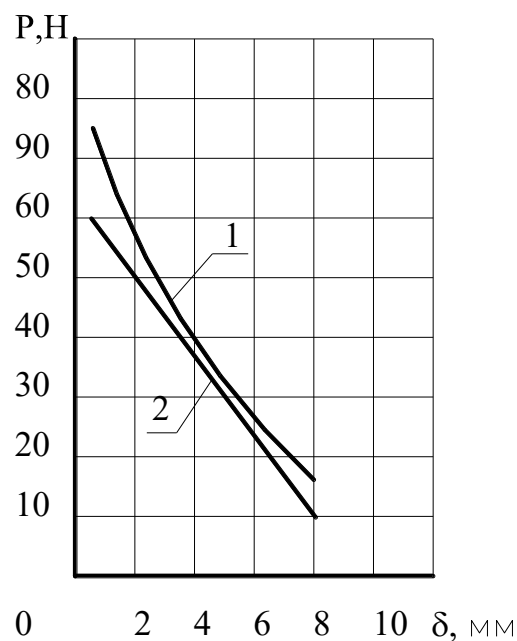


Рисунок 1.3:

1 – тягова характеристика;



## 2 – характеристика навантаження пружини

## 1.5.2 Розрахунок пружини

Вихідними даними для розрахунку пружини є навантажувальне зусилля

$P = 40$  Н, переміщення пружини  $\lambda = 0,63 \cdot 10^{-2}$  м (вказані параметри визначатимуться з графіка, зображеного на рис. 1.3)

Визначаємо жорсткість пружини  $C$

$$C = P / \lambda \quad (1.22)$$

$$C = 40 / 0,63 \cdot 10^{-2} = 6349,2 \text{ Н / м}$$

Приймаємо матеріал пружини – сталь 65 Г. Модуль зсуву  $G = 82 \cdot 10^9$  Па

Виодячи із конструктивних міркувань (беремо до уваги габаритні розміри електромагніту), задаємося значенням середнього діаметру пружини  $D$  та кількістю витків  $n$ ;

$$D = 10 \cdot 10^{-3} \text{ м, } n = 7.$$

Діаметр дроту пружини  $d$  обчислюємо за формулою

$$d = 8D^3 n C / G \quad (1.23)$$

Після підстановки отриманих значень маємо:

$$d = \frac{8(10 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 7 \cdot 6349,2}{82 \cdot 10^9} = 1,44 \text{ мм}$$

Довжина дроту  $L$  рівна

$$L = 2\pi R n \quad (1.24)$$

де  $R = D / 2$  - радіус пружини, мм

$$L = 2\pi \cdot 7 \cdot 10 \cdot 10^{-3} / 2 = 0,2199 \text{ м}$$

Визначаємо напруження  $\tau$ , виникають у гвинтовій пружині

$$\tau = \frac{8P \cdot D}{\pi \cdot d^3} \quad (1.25)$$

$$\tau = \frac{8 \cdot 15 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot (1.44 \cdot 10^{-3})^3} = 6.396 \cdot 10^9 \text{ Па}$$

Перевіряємо умову міцності  $\tau \leq [\tau]$ ,

де  $[\tau]$  – допустиме напруження, Па. Оскільки  $[\tau] = 400 \cdot 10^8$  Па, то умова виконується.

### 1.5.3 Розрахунок ходового гвинта

Для передачі зусилля від крокового двигуна і руху статора використаємо пару гвинт-гайка. Гвинтова пара перетворює обертальний рух вала двигуна в поступальний рух гайки.

Внутрішній діаметр гвинта орієнтовано визначимо із розрахунку на стиск по пониженому /приблизно/ на 30% / допустимому напруженню:

$$\frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{Q}{0,7 \cdot [\sigma_{ст}]} \text{ або,}$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot 0,7 \cdot [\sigma_{ст}]}}$$

де,  $Q$  - вантаж, який піднімаємо, кгс;

$d_1$  - внутрішній діаметр гвинта, м

$[\sigma_{ст}]$  - допустиме напруження стиску / для Ст 5  $[\sigma_{ст}] = 80 \text{ МПа}$  /

Визначимо вантаж, який піднімаємо з допомогою гвинтової пари.  
Він складається із маси стола, на якому міститься статор двигуна і маси самого двигуна, що досліджується. Маса стола  $m_{ст} = V \cdot \rho$ ,

де  $V$  – об'єм стола,

$\rho$  - густина матеріалу стола.

$$V = \sum_{i=1}^w V_i$$

$$V_1 = 0.015 * 0.2 * 0.325 = 9.75 * 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$V_2 = 0.015 * 0.2 * 0.05 = 1.5 * 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$V = 2V_1 + 2V_2 = 2 * 9.75 * 10^{-3} + 2 * 1.5 * 10^{-3} = 0.00225 \text{ м}^3$$

Для сталі  $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$

$$\text{Звідси, } m_{ст} = 7800 * 1.5 * 10^{-3} = 17,55 \text{ кг}$$

Маса двигуна, який досліджується  $m_{дв} = 15,1 \text{ кг}$

Отже, сумарна, маса вантажу, яку піднімає гвинтова пара :

$$m = m_{ст} + m_{дв} = 17,55 + 15,1 = 32.65 \text{ кг}$$

Приймаємо  $m = 30 \text{ кг}$  / враховуючи незначне коливання маси двигуна /

$$Q = 10m = 500 \text{ кгс}$$

$$\text{Звідси, } d_1 = \sqrt{\frac{4 * 500}{3.14 * 0.7 * 80 * 10^6}} = 3.3 * 10^{-3} \text{ м}$$

По ГОСТ 9484-73 знаходимо різьбу з ближчим більшим  $d_1$ :

$$d = 8 \text{ мм, } d_1 = 6,2 \text{ мм; } \rho = 1,5 \text{ мм}$$

з умови самогальмування гвинта кут підйому  $\beta$  повинен бути меншим кута тертя  $\rho$  :

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{\rho}{\Pi d_2}$$

де  $\rho$  - крок гвинта,  $d_2$  - середній діаметр гвинта

$$d_2 = \frac{d - d_1}{2} + d_1 = \frac{d + d_1}{2} = \frac{8 + 6.2}{2} = 7.1 \text{ мм}$$

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{1.5}{3.14 * 7.1} = 0.067$$

$$\beta = 3,83^\circ$$

Якщо прийняти коефіцієнт тертя в різьбі  $f=0.1$ ; то  $\operatorname{tg} \rho=0.1$  або  $\rho = 5^\circ 43'$

Гвинт перевіряємо на сумісну дію тиску; кручення, і оскільки довжина гвинта значна, то і на стійкість / повздожній згин /.

Крутий момент :

$$M_{кр} = Q * d_2 / 2 * \operatorname{tg}(\beta + \rho) = 500 * 0.71 * 10^{-3} * \operatorname{tg}(3.83 + 5.43) = 0.28 \text{ Н*м}$$

$$\text{Приведено напруження : } \sigma_{пр} = \sqrt{\sigma_{ст}^2 + 4\tau_{пр}^2}$$

$$\text{де } \tau_{пр} = \frac{M_{кр}}{0,2 * d_1^2} = \frac{28 * 93}{0,2 * (6.2 * 10^{-1})^2} = 376.3 \text{ кгс/см}^2$$

$$\sigma_{пр} = \sqrt{478^2 + 4 * 376^2} = 891 \text{ кгс/см}^2$$

Умова достатньої міцності :  $\sigma_{пр} \leq [\sigma_{пр}]$

Допустиме напруження на розтяг:  $[\sigma_{в}] = 700/900 \text{ кгс/см}^2$

Отже, умова достатньої міцності виконується, оскк.  $891 \leq 900$  на стійкість гвинт перевіряють по формулі Ейлера

$$P_{кр} = \frac{\Pi^2 * E * I_{розр}}{L^2}$$

де  $P_{кр}$  - критична сила, кгс ;

$E$  - модуль пружності, кгс/см ;

$I_{розр}$  - момент інерції поперечного січення гвинта, см<sup>4</sup> ;

$$I_{розр} = 0,01(2/3 * d/d_1)d_1^4 = 0,01 * 2,5 * 8/6,2 * (6,2 * 10^{-2})^4 = 1,24 * 10^{-4} \text{ см}^4$$

де  $d$  - зовнішній діаметр гвинта.;

$d_1$  - внутрішній діаметр гвинта;

$l$  - довжина гвинта, см .

$$P_{кр} = \frac{\pi^2 * 2 * 10 * 1,24 * 10^{-4}}{100} = 2400 \text{ кгс}$$

$$\text{Запас стійкості : } n_y = \frac{P_{кр}}{Q} = \frac{2400}{500} = 4,8$$

При рекомендованому :  $n_y \geq 4$

Висоту гайки визначаємо із розрахунку на допустимий питомий тиск  $[q]$   
/табл. 8,/ між витками гвинта і гайки :

де,  $P$  - крок різьби;

$z$  - корисна кількість витків,

$$z \geq \frac{40}{\pi(d^2 - d_1^2)[q]} = \frac{40}{3,14 * (64 - 6,2^2) * 12 * 10^6} = 2,1$$

Для пари сталевий гвинт-гайка з бронзи БР ОЦС5 -5-5.

Допустимий тиск  $[q] = 12 \text{ МПа}$

Приймаємо  $z = 3$  витка.

$$H = 3 * 1,5 = 4,5 \text{ мм}$$

#### 1.5.4 Підбір двигуна

Для зміни величини зазору між ротором і статором досліджуваного двигуна використовуємо кроковий двигун.

Крокові двигуни - пристрої, які перетворюють команду в команду, задану у вигляді імпульсів, в фіксований кут повороту вала без датчиків зворотного зв'язку.

Команди на кроковий двигун будемо подавати від керуючого пристрою / ЕОМ /, за допомогою блоку управління / Інтерфейсу /.

Застосування крокового двигуна значно спрощує структурну схему автоматичного управління, полегшує її аналіз і збільшує її надійність.

Вихідними даними для підбору двигуна є характеристика навантаження - максимальна величина моменту сил опору в установленому режимі.

Момент сил опору визначає момент сил на ходовому гвинті і момент опору підшипників, який враховуємо з допомогою коефіцієнта

$$K_{\text{підш.}} = 0,98$$

$$\text{Отже, } M_{\text{оп}} = 2 * M_{\text{кр}} / K_{\text{підш.}} = 2 * 0,28 / 0,98 = 0,57 \text{ Нм}$$

По визначеному моменту вибираємо кроковий двигун марки ДВШ80

- 0,6 - 0,45 з наступними характеристиками:

- Номінальний момент двигуна - 0,6 Н\*м ;

- Крок двигуна - кут повороту, який відповідає відпрацюванню двигуном одного керуючого імпульсу  $\alpha=0,45$  град.

- споживаний струм  $-I_{\text{ном}} = 5,3 \text{ А}$  ;

- номінальний момент інерції - момент інерції навантаження,

приведеного до вала двигуна і рівний половині власного моменту

інерції двигуна :  $I_H = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$  ;

- частота приємистості холостого ходу  $f_{п \text{ хол}} = 1400 \text{ кр/с}$

- частота приємистості номінального ходу  $f_{п \text{ ном}} = 250 \text{ кр/с}$

- максимальний статичний момент  $M_{\text{стат}} = 2 \text{ Н} \cdot \text{м}$

- маса  $m = 1,7 \text{ кг}$

### 1.5.5 Провірочний розрахунок підшипників

При установці двигуна, що контролюється, використаємо роликові конічні однорядні підшипники легкої серії марки 7202 ГОСТ 333 - 79 з наступними параметрами :

розміри -  $d = 15 \text{ мм}$

$D = 35 \text{ мм}$

$B = 11 \text{ мм}$

$C = 9 \text{ мм}$

$T = 11,75 \text{ мм}$

$z = 1,0 \text{ мм}$

$z_1 = 0,3 \text{ мм}$

вантажопідйомність -  $C_z = 8780 \text{ Н}$   $C_{z_1} = 6140 \text{ Н}$

$n = 1000 \text{ об/хв}$

маса -  $0,05 \text{ кг}$

По параметрах двигуна марки 4AM71A2Y3 :  $P_{\text{ном}} = 0,75 \text{ кВт}$

$$n_{\text{НОМ}} = 28,40 \text{ об/хв}$$

визначаємо кутову швидкість вала двигуна :

$$\omega = \frac{\Pi n_{\text{НОМ}}}{30} = \frac{3,14 * 2840}{30} = 297$$

Крутний момент :

$$T_{\text{дв}} = \frac{P_{\text{дв}}}{\omega_{\text{НОМ}}} = \frac{0,75 * 10^3}{297} = 2,5 \text{ Нм}$$

$$T = \frac{F \cdot d}{2}$$

$$F = \frac{2T}{d} = \frac{2 * 2,5}{19 * 10^{-3}} = 260 \text{ Н}$$

де F - радіальна сила, що діє на вал; d - діаметр вала двигуна ;

$$\text{Реакції в підшипниках } R_2 = R_1 = R_2 = F/2 = 130 \text{ Н}$$

$$\text{Коефіцієнт радіального навантаження } X = 0,56$$

$$\text{Коефіцієнт осьового навантаження } Y = 1,67$$

$$\text{Коефіцієнт обертання } V=1; K_6 = 1,3; K_T=1$$

$$\text{Фактор навантаження } e = 0,36$$

Підшипники поставлені а розпорки.

Необхідна довговічність  $L_n = 10000$  год.

$$\text{а/ визначаємо відношення } \frac{R_a}{V_1 R_2} = \frac{260}{1 * 130} = 2, \text{ де } R_a = F$$

$$\text{б/ визначаємо відношення } \frac{R_a}{C_{o2}} = \frac{260}{61.40} = 0,04$$



По відношенню  $\frac{R_a}{VR_z} \gg 1$  вибираємо формулу і визначаємо

еквівалентне динамічне навантаження підшипника :

$$R_e = (XVR_2 + YRa) K_b * K_T = (0,56 * 1 * 130 + 1,67 * 260) * 1,3 * 1 = 658,8 \text{ Н}$$

Визначаємо динамічну навантаженість :

$$C_{гр} = R_e \cdot \sqrt[3]{573 * \omega * \frac{L_n}{10^6}} = 658,8 \cdot \sqrt[3]{573 * 297 * \frac{10000}{10^6}} = 8540 \text{ Н} < C_2$$

Визначаємо довговічність підшипника

$$L_{10n} = 106/573 w * (L/R_e)^3 = 106/573 * 297 * (8780/658,8)^3 = 1,4 * 10^4 > L_n$$

Підшипник придатний.

#### 1.5.6 Розрахунок вібраційного перетворювача

В якості вібраційного перетворювача використаємо датчик КП295.03.00.00.000СБ, робота якого здійснюється на основі тензоефекту.

Тензоефект заключається в тому, що під дією прикладеної розтягуючої або стискаючої сили провідникові і напівпровідникові матеріали змінюють питому електричну провідність / електричний опір/.

Згідно [1, с.417] для низько- і середньочастотних процесів використовують дротяні і фольгові тензорезистори. Найбільшою динамічною стійкістю володіють тензорезистори на фенольній, фуриловій і пластифікованій епоксидній плівковій основі.

Для перетворення руху вимірювального: наконечника в деформацію тензорезистора використаємо дві плоских пружини, зацмлену в одному кінці, на поверхню яких наклеюємо два тензорезистора, один з яких буде працювати на розтяг, а другий - на стиск під дією збуджуючої консольної маси 1.

Геометричні параметри тензобалки, представлені на рисунку 1.4.

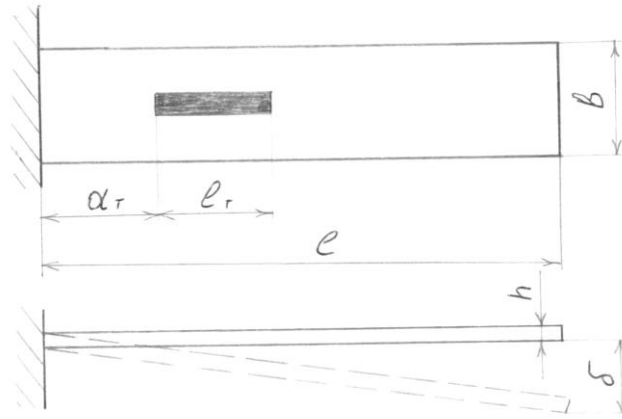


Рисунок 1.4

$$l=10 \text{ мм}; a_T=6\text{мм}; l_T=1,8\text{мм}; p=0,5\text{мм}; b= 3\text{мм}$$

Для навантаження кінця переміщення визначається по формулі:

$$\lambda = \frac{Pl^3}{3B}$$

де, P - осьова сила

l - довжина пружин .

B - згинна шорсткість

$$B=E \cdot I_{зг}$$

I<sub>зг</sub> - момент інерції поперечного січення

$$I_{зг} = \frac{bh^3}{12}$$

E - модуль пружності матеріалу

E = 2\*10<sup>5</sup> Н/мм<sup>2</sup> для пружини із сталі

$$P = \frac{3\lambda * B}{l^3} = \frac{3\lambda * E * bh^3}{12 * l^3} = \frac{\lambda * E * bh^3}{4 * l^3}$$

$$P = \frac{3 * 2 * 10^5 * 3 * 1}{4 * (92)^3} = 0.57 \text{Н}$$

Коефіцієнт перетворення :

$$K_{\text{пп}} = 1.5 * 10^6 \frac{n * h [1 - (a_T + \frac{l_T}{2})]}{l^3} = 1.5 * 10^6 \frac{2 * 1 [92 - (17 + 6)]}{92^3} = 265 \text{ еод/мм}$$

$$\text{Нелінійність} : K_H = 1 - \frac{\sqrt{1^2 - \lambda^2}}{1} = 1 - \frac{\sqrt{92^2 - 3^2}}{92^2} = 0.98$$

$$\text{Власна частота} : \omega_0 = \sqrt{1 - \frac{P_0}{P_\lambda}}; \quad P \approx \frac{\Pi^2 E}{(\gamma l)^2}$$

де, E - жорсткість пружини ;

$\gamma = 0,5$  - довжина пружини

$P_0$  - сила, прикладена до пружини;

$P_0 = 0,57 \text{Н}$  ;

$$\omega_0 = \sqrt{1 - \frac{0.57 * (0.5 * 92)^2}{\Pi^2 * 2 * 10^5}} = 0.9$$

Амплітудно-частотна характеристика перетворювача представлена на рисунку 1.5

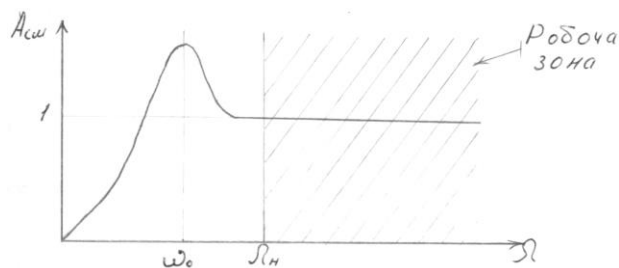


Рисунок 1.5 - Амплітудно-частотна характеристика

В якості аретира в вимірювальному перетворювачі використаємо гвинтову пружину.

Експлуатаційні параметри пружини :  $P_{\max} = 0,57\text{Н}$

$$P_{\min} = 0,4\text{Н}$$

$$\lambda = 3\text{мм}$$

Матеріал - сталевий пружинний дріт (  $G = 8,1 * 10^4 \text{ МПа ( Н/мм}^2\text{))$ ,

$$([\tau] - 500 \text{ МПа ( Н/мм}^2\text{))}$$

При попередньому проектуванні пружини використаємо номограми / 1, с.163 /.

Підрахуємо величини, необхідні для користування номограмою:

$$[\tau] / P_{\max} = 500 ( 0,57 = 877 \text{ Н/мм}^2\text{) Н ;}$$

$$G / k = G\lambda ( P_{\max} - P_{\min}) = 8,1 * 10^3 / (0,17) = 14,2 * 10^5 (\text{Н/мм}^2) / (\text{Н/мм})$$

Задаючись декількома значеннями індексу /  $c = 12, 16, 20, 22$  / знаходимо по кривій  $[\tau] / P_{\max} = 877$  в верхній частині номограми найближчі значення діаметрів дроту, а по кривій  $(G / k = 14,2 * 10^5$  в нижній частині номограми знайдемо величини  $i_p / d$ ,

де  $i_p$  - кількість робочих витків пружини,

$d$  - діаметр дроту.

Результати обчислень заносимо в таблицю 1.2

Таблиця 1.2

№ п/п	c	d ,мм	i <sub>p</sub>	Д, мм	Д <sub>н</sub> , мм	Д <sub>вн</sub> , мм	Н <sub>0</sub> , мм	Q, Н
1.	12	0,3	45	3,6	3,9	3 , 3	91	0,04
2.	16	0,20	18	3,32	3,4	3	20	0,035
3.	18	0,20	10	3,6	3,8	3,4	18	0,05
4.	22	0,2	6	5	6	4	13	0,03

Середній діаметр пружини Д знаходимо з формули  $D = dc$

Зовнішній діаметр пружини :  $D_n = d(c+1)$ ; внутрішній -  $D_{вн} = d(c-1)$

Початкова довжина пружини:  $H_0 = (k \cdot i_p + i_k)d + \lambda_{\max}$

k - коефіцієнт, що визначається зазором між витками пружини в її найбільш стиснутому стані  $k = 1,3$ ;

$i_p$  - кількість опорних, кінцевих витків;

$i_k = 3$

Вага пружини / для сталюого дроту приймемо  $\gamma = 7.8 \cdot 10^{-5}$  Н/мм<sup>3</sup>/

$$Q \approx \gamma \left( \frac{\Pi^2}{4} \right) D \cdot d^2 (i_p + i_k)$$

Із розрахункових варіантів вибираємо пружину №4 з найбільш зручними параметрами.

### 1.5.7 Розрахунок муфти

Для з'єднання крокового двигуна з ходовим гвинтом використано запобіжну шарико-пружинну муфту, яка дозволяє захистити привідний двигун і деталі механізму від надмірних навантажень і поломок при заклинюванні.

Муфта складається з двох чашок.

В одній з них виготовлено пази, в які попадають підпружинні шарики. При перенавантаженні шарики викочують із пазів і муфта прокручується.

Сила затиску пружини розраховується по крутному моменту двигуна:

$$Q_{\min} = \frac{M_k}{R_{\text{ср}} \cdot \text{tg}\beta}$$

де  $M_k$  - крутний момент двигуна,  $M_k = 0,6$  Нм

$R_{\text{ср}}$  - середній радіус шарика,  $R_{\text{ср}} = 3$  мм

$\beta = 45^\circ$

$$Q_{\min} = \frac{0.6}{3 * 10^{-3}} = 0.2 * 10^{-3} \text{ Нм}$$

$$Q_{\max} = \frac{M_{k_{\max}}}{R_{\text{ср}} \cdot \text{tg}\beta}$$

де  $M_{k_{\max}}$  - максимальний момент двигуна

$M_{k_{\max}} = 2$  Нм

$$Q_{\max} = \frac{2}{3 * 10^{-3}} = 0.6 * 10^3 \text{ Нм}$$

Глибина заходу шарика в паз становить  $h = 1,5$  мм

По вищенаведеним даним розрахуємо гвинтову пружину.

Вибираємо матеріал пружини - сталевий пружинний дріт :

$[G = 8,1 * 10^4 \text{ МПа ( Н/мм}^2\text{)}]; [r] = 500 \text{ МПа (Н/мм}^2\text{)}]$

Підрахуємо величини, необхідні для користування номограмою:

$$[r] / Q_{\max} = 500/600 = 0,8 \text{ Н/мм}^2 / \text{Н}$$

$G/k = Gh(Q_{\max} - Q_{\min}) = 8,1 \cdot 10^4 \cdot 1,5 \cdot (600 - 200) = 4,8 \cdot 10^5 \text{ (Н/мм}^2)$  Задаючись деякими значеннями індексу ( $c = 4,8, 12, 20$ ) знаходимо по кривій  $[r] / Q_{\max} = 0,8$  в верхній частині номограми найближчі діаметри дроту, а по кривій  $G/k = 4,8 \cdot 10^5$  в нижній частині номограми знайдемо величини  $i_p/d$

Результати обчислень заносимо в таблицю 1.3

Таблиця 1.3

№ п/п	c	d, мм	$i_p$	Д, мм	Д <sub>н</sub> , мм	Н <sub>0</sub> , мм
1.	4	0,8	12	3,2	4,5	10
2.	12	1	8	12	13	12
3.	10	1,2	5	24	25,2	16,3

Із розрахункових варіантів вибираємо найбільш зручніший - №2.

## 2 ОСНОВИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА МАТМОДЕЛЮВАННЯ

### 2.1 Дослідження впливу некорельованої еліптичності ротора і статора на виникнення вібрацій електродвигуна

Порушення просторової симетрії магнітного поля, що виникає в повітряному зазорі між ротором і статором електродвигуна, викликають виникнення небажаних вібрацій, які можуть негативно вплинути на роботу двигуна. Однією із причин такої асиметрії є відхилення від циліндричності статора чи ротора. Розглянуто випадок, коли такі відхилення спричинені некорельованою еліптичністю, і обумовлюють періодичні зміни величини повітряного зазору, а значить і магнітної провідності в процесі роботи двигуна.

Даються оцінки повітряного зазору для даного випадку (Рис.1) та спектральні характеристики вібрацій, спричинених даними дефектами.

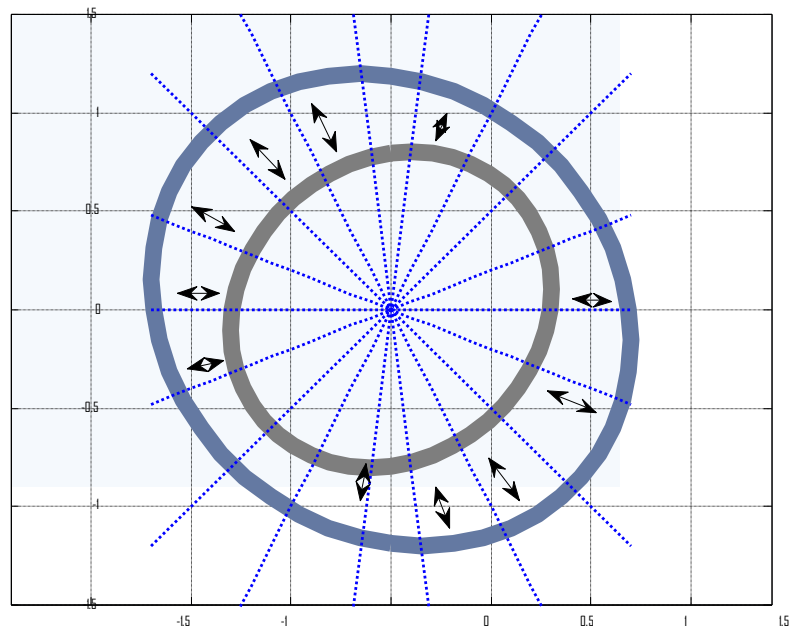


Рисунок 2.1 - Повітряний зазор при наявності одночасній некорельованій еліптичності ротора і статора

Зміна величини повітряного зазору для випадку, зазначеного на рисунку 1, за однієї пари полюсів приведена на рисунку 2. Дані для наглядності подано



у збільшеному масштабі з метою кращої візуальної оцінки зміни величини зазору. Кути, для яких обчислено значення подано у радіанах. Це дозволяє краще оцінити дані зміни та відобразити їх у графічному вигляді.

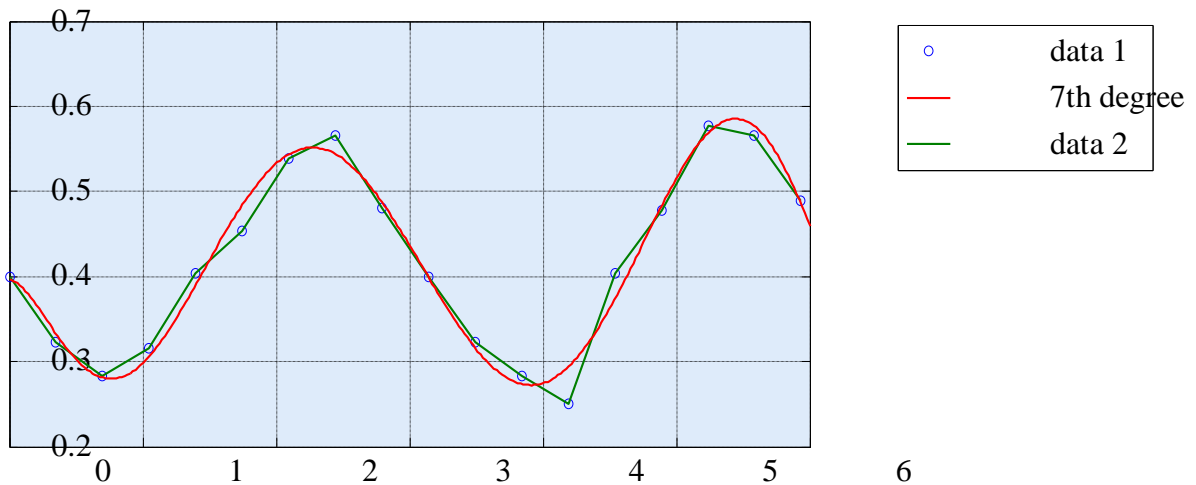


Рисунок 2.2 - Зміна величини повітряного зазору при наявності некорельованої еліптичності ротора і статора для  $p=1$

У досліджуваному випадку при відхиленнях магнітної провідності в зазорі від стаціонарності до оборотів ротора на робочій частоті додаються збурення на кратних частотах, що є джерелом вібрацій. Їх спектральні характеристики показано на Рис. 3, де робочій частоті відповідає позначка '0'. На даному рисунку зображено зміни амплітудних та фазових спектральних характеристик відповідно.

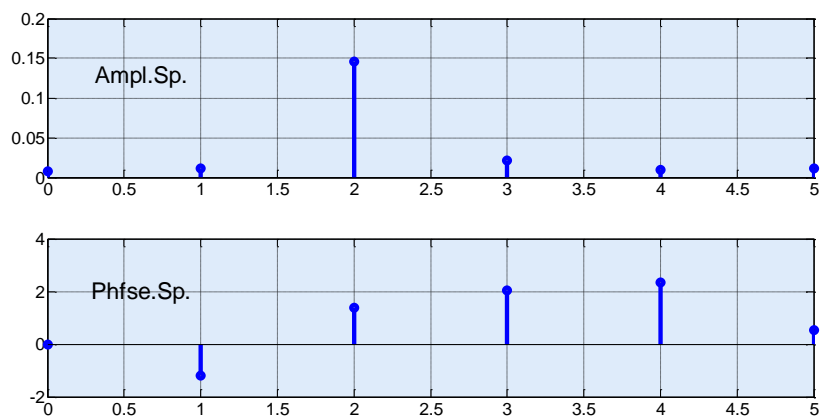


Рисунок 2.3 - Спектральні характеристики вібрацій, викликаних неоднорідністю магнітного поля.

Розглянуті дефекти в конструкції електродвигуна можуть виникати в результаті відхилень у технології його виготовлення, ремонту чи експлуатації. Велике значення під час виготовлення деталей та протягом складання елементів конструкції двигуна має точне вимірювання відхилень та утримання їх межах допустимих значень протягом усього процесу виготовлення та експлуатації даної конструкції. Розроблене програмне забезпечення дозволяє шляхом математичного моделювання оцінити відхилення робочого зазору поза межі допустимих значень та їх вплив на виникнення вібрацій при довільно заданій взаємній конфігурації еліптичності ротора і статора.

## 2.1 Порівняльний аналіз методів розрахунку коефіцієнта підсилення трьохкаскадного транзисторного підсилювача

Коефіцієнт підсилення трьохкаскадного транзисторного підсилювача з безпосереднім міжкаскадним зв'язком визначається таким наближеним співвідношенням:

$$K = \frac{B1 \cdot B2 \cdot B3}{R1} \cdot \frac{RH \cdot RK3}{RH + RK3} \cdot \frac{RK1}{RK1 + R2} \cdot \frac{RK2}{RK2 + R2}, \quad (2.1)$$

де  $BJ$ ,  $RJ$  – коефіцієнт передачі струму і вхідний опір транзистора  $J$ -го каскаду;

$RKJ$  - колекторний опір  $J$ -го каскада;

$RH$  – опір навантаження.

Задані верхня  $xBI$  і нижня  $xHI$  допустимі межі зміни вказаних параметрів і відповідні значення коефіцієнтів асиметрії  $KAI$  і розсіювання  $KPI$  (таблиця 3.1), задані коефіцієнти кореляції  $RO[BJ \cdot RJ] = RO = 0.9$ . Інші параметри можна вважати незалежними.

Досліджуваним параметром в задачі, що виконується при розробці теми дипломного проектування, є мінімальна величина коефіцієнта підсилення при

найгіршому співвідношенні допусків  $K_{min0}$ . Необхідно також визначити мінімальні значення коефіцієнта підсилення  $K_{minq}$ , як функцію імовірності  $q = \text{Вер}[K < K_{minq}]$ ; знайти значення  $K_{minq} / K_{min0}$  для  $q = 0.05; 0.10; 0.15; 0.20$ .

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для розрахунку

Вихідне позначення	Умовне позначення	$X_{IH}$	$X_{IB}$	$K_{AI}$	$K_{PI}$
$B1$	$x1$	10	40	0,4	1,2
$B2$	$x2$	20	60	0,4	1,2
$B3$	$x3$	30	100	0,4	1,2
$R1, \text{kOm}$	$x4$	1	4	0,4	1,2
$R2, \text{kOm}$	$x5$	0,5	1,5	0,4	1,2
$R3, \text{kOm}$	$x6$	0,4	1,2	0,4	1,2
$RK1, \text{kOm}$	$x7$	18	22	0	1,0
$RK2, \text{kOm}$	$x8$	9	11	0	1,0
$RK3, \text{kOm}$	$x9$	4,7	5,6	0	1,0
$RH, \text{kOm}$	$x10$	9	11	0	1,0

Запишемо рівняння (2.1) для прийнятих умовних позначень за табл.3.1:

$$K = \frac{x1 \cdot x2 \cdot x3}{x4} \cdot \frac{x9 \cdot x10}{x9 + x10} \cdot \frac{x7}{x7 + x5} \cdot \frac{x8}{x8 + x6}. \quad (2.2)$$

Визначимо мінімальне підсилення при найгіршому співвідношенні допусків за (3.2) і даними таблиці 3.1.

$$K_{\min 0} = \frac{10 \cdot 20 \cdot 30}{4} \cdot \frac{4.7 \cdot 9}{4.7 + 9} \cdot \frac{18}{18 + 1.5} \cdot \frac{9}{9 + 1.2} = 3,8 \cdot 10^3.$$

Знаходимо математичне сподівання і відносні стандартні відхилення параметрів за формулами:

$$mI = \frac{x_{IB} + x_{IH}}{2} + K_{AI} \cdot \frac{x_{IB} - x_{IH}}{2}, \quad (2.3)$$

$$\sigma_{mI} = \frac{K_{PI}}{mI} \cdot \frac{x_{IB} - x_{IH}}{6}. \quad (2.4)$$

Із (3.2) визначаємо відносні коефіцієнти впливу

$$\begin{aligned} a_1 = a_2 = a_3 = 1; \quad a_4 = -1, \\ a_5 = -a_7 = -m_5 / (m_5 + m_7), \\ a_6 = -a_8 = m_6 / (m_6 + m_8), \\ a_9 = m_{10} / (m_9 + m_{10}), \quad a_{10} = m_9 / (m_9 + m_{10}). \end{aligned} \quad (2.5)$$

Знаходимо стандартні відносні коефіцієнти впливу

$$alfI = aI \cdot \sigma_{mI}. \quad (2.6)$$

Результати розрахунку  $mI$ ,  $\sigma_{mI}$ ,  $aI$ ,  $alfI$  приведені в таблиці 2.2.

Визначаємо математичне сподівання і відносне стандартне відхилення коефіцієнта підсилення (за формулою (3.2) стосовно змінної  $m$ ):

$$mK = 97 \cdot 10^3 .$$

$$\begin{aligned} \sigma_K &= \sqrt{\sum_i alfI^2 + \sum_{i < k} alfI \cdot alfK \cdot ROIK} \approx \\ &\approx \sqrt{alf1^2 + alf2^2 + alf3^2 + alf4^2 + 2 \cdot alf1 \cdot alf4 \cdot RO} \end{aligned} \quad (2.7)$$

Підставивши числові значення з таблиці 3.2 отримаємо

Таблиця 2.2 – Результати розрахунків

Вихідне позначення	Умовне позначення	$mI$	$\sigma_{mI}$	$aI$	$alfI$	$AlfI^2$
$B1$	$x1$	31	0.19	1	0.19	0.036
$B2$	$x2$	48	0.17	1	0.17	0.029
$B3$	$x3$	79	0.18	1	0.18	0.032
$R1, \text{кОм}$	$x4$	3.1	0.19	--1	-0.19	0.036
$R2, \text{кОм}$	$x5$	1.2	0.17	-0.057	- 0.001	0.000
$R3, \text{кОм}$	$x6$	0.96	0.17	-0.087	- 0.015	0.000
$RK1, \text{кОм}$	$x7$	20	0.033	0.057	0.002	0.000
$RK2, \text{кОм}$	$x8$	10	0.033	0.087	0.003	0.000
$RK3, \text{кОм}$	$x9$	5.1	0.033	0.66	0.022	0.000
$RH, \text{кОм}$	$x10$	10	0.033	0.34	0.011	0.000

$$\sigma_K = 0.26.$$

Наближена рівність справедлива, оскільки іншими складовими можна знехтувати.

Шукана залежність  $K_{min}q = f(q)$  визначається відношеннями:

$$(2.8) \quad K_{minq} = mK(1 - xq \cdot \sigma_K) = 0.97 \cdot 10^3 (1 - 0.26 xq).$$

$$q = F_0(xq).$$

Результати розрахунків зводимо в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3

$q$	0.05	0.10	0.15	0.20
$xq$	1.65	1.28	1.04	0.84
$K_{minq}$	5500	6500	7100	7600
	0	0	0	0
$K_{minq} / K_{min0}$	15	17	19	20

На основі отриманих даних можна зробити висновок, що за рахунок, наприклад 5 % відбраковки можна гарантувати коефіцієнт підсилення, що перевищує в 15 разів аналогічну величину, розраховану за методом найгіршого випадку.

## 3 ЕЛЕКТРОНІКА, МІКРОПРОЦЕСОРНА ТЕХНІКА ТА САПР

### 3.1. Розробка функціональної схеми

#### 3.1.1 Вимоги до функціональності та параметрів системи

Метою роботи є розробка гнучкої системи керування стенду для вимірювання величини вібрації статора асинхронних двигунів. Завдяки використанню сучасної елементної бази та нових схемних рішень дозволяє підвищити точність вимірювання при помірних витратах на його виготовлення. Розробка має забезпечити проведення автоматизованого збору вимірювальної інформації. Приладом можна керувати як в ручному режимі так і в автоматичному.

Система має реалізувати такі функції:

Прилад має проводити вимірювання величини вібрації статора двигуна.

Прилад має передбачити автоматичне калібрування давачів.

Результат вимірювання має відображатися на LCD-дисплеї у вигляді: min – відхилення, max - відхилення, придатний/не придатний.

Прилад має передбачати можливість віддаленого керування через інтерфейс USB, протокол керування реалізує команди «Запуск», «Зупинка», «Вимірювання» та повернення результату.

Керуюча програма, яка виконується на ПЕОМ повинна запускатися в середовищі операційної системи Windows 10. Прикладана програма для компютера виконує наступні функції:

- відображення поточного стану виконавчих пристроїв;
- керування виконавчими пристроями в ручному режимі;
- відображення діагностичних повідомлень;
- введення статистики вимірювань;

- ведення журналу помилок.

### 3.2 Способи реалізації заданих функцій

В якості вібраційного перетворювача використаємо давач, робота якого здійснюється на основі тензоефекту так як вони можуть забезпечити задану точність та легко інтегруються в цифрову інформаційно-вимірювальну систему. Тензоефект полягає в тому, що під дією прикладеної розтягуючої або стискаючої сили провідникові і напівпровідникові матеріали змінюють питому електричну провідність / електричний опір. Для перетворення руху вимірювального: наконечника в деформацію тензорезистора використаємо плоску пружину, зацемлену в одному кінці, на поверхню якої наклеїмо два тензорезистори, один з яких буде працювати на розтяг, а другий на стиск.

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 конусності використовуємо 60 Вт блок живлення, робоча напруга якого складає 220В, а вихідна напруга 12В.



### 3.3 Функціональна схема та опис принципу роботи

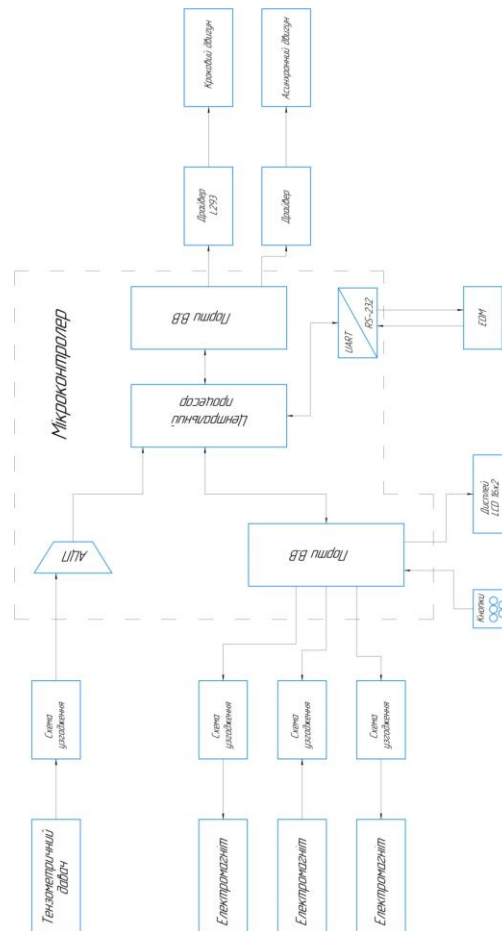


Рисунок 3.1 - Функціональна схема приладу

Основою розроблюваного стенду є корпус 10, до якого кріпляться усі робочі вузли. До масивних ніжок прикріплені вузли бабки, що складаються із направляючих у вигляді "ластівчин хвіст" і підшипників, що забезпечують обертання ротора досліджуваного двигуна.

При установці двигуна встановлюють на стіл 18 і кріплять між бабками за допомогою центрувальних заглиблень. Нерухомість фіксації бабок забезпечується затискним гвинтом 9.

Вузол, який забезпечує рух робочого стола 18, складається з крокового двигуна, муфти 3 і гвинтової пари /гвинт 4 і гайка 7 /.

Кроковий двигун кріпиться до корпусу за допомогою скоби 20.

Вимірювальні давачі вібрації 2 закріплені до ніжок корпусу за допомогою скоби 21 і стійки 19. Фіксація висоти розміщення давача здійснюється затискними гвинтами 25. Велика маса ніжок корпусу в порівнянні з іншими частинами корпусу виключає вплив вібрації статора двигуна на вимірювання.

Стенд працює наступним чином. Встановлюємо досліджуваний двигун на столі і закріплюємо в бабках. Давачі встановлюємо в початковому положенні так, щоб вимірювальний наконечник торкався двигуна.

Далі необхідно запустити на виконання керуючу програму для ЕОМ. Програма через інтерфейс подає керуючі імпульси на кроковий двигун і послідовно знімає покази з вібродавачів. Аналіз вимірювань проводить ЕОМ і подає користувачу у зручній для нього формі.

## 3.2 Розробка принципової схеми

### 3.2.1 Підбір кількості портів вводу/виводу однокристалльної мікро-ЕОМ

Виконавчими пристроями в системі вимірювання впливу зазору між статором і ротором на вібрації електродвигунів виступають:

тензометричний перетворювач (1 шт.);

електромагніт (3 шт.);

кроковий двигун (1 шт.);

асинхронний двигун (1 шт.);

клавіатура;

індикатор;

USB-порт.

Тензометричний перетворювач спряжується з аналого-цифровим перетворювачем (АЦП) МК через інструментальний підсилювач. Електромагніти та асинхронний двигун підключаються через драйвер електромагнітного реле до чотирьох виводів контролера. Крокові двигуни

підключаються через драйвер крокового двигуна до чотирьох виводів контролера. Індикатор підключений в 4-х бітному режимі для забезпечення його роботи потрібно 7 портів виводу (Dio). Підключення клавіатури реалізовано через 4-и порти МК. Для організації обміну даними між комп'ютером та приладом через USB необхідно 2 виводи контролера даного інтерфейсу.

Мінімальну кількість виводів мікроконтролера яку потрібно задіяти 21 шт.

Для вибору АЦП розрахуємо похибку, яка виникає в процесі вимірювання переміщення, для вибору розрядності АЦП, тобто кількості біт.

Заданий діапазон вимірювання переміщення 0...0.5 мм;

Зміна вихідної напруги 0...1 В;

З конструктивних міркувань вибираємо 12 біт АЦП, на молодший розряд перетворення якого припадає зрівняння вимірювальної величини:

$$\frac{0.5\text{мм}}{4096} = \frac{x}{1} \Rightarrow x = \frac{0.5\text{мм}}{4096} = 0. \quad (3.1)$$

За допомогою даного типу АЦП ми отримаємо точність вимірювання переміщення  $\pm 0.1$  мкм, яка для нас є прийнятною.

Таблиця 3.2 – Порівняння 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 16M	–
Таймери	2	3	3, RTC
Паралельні порти	4	4	4
UART	1	1	1
SPI	–	1	1
ІІМ	–	2	4
АЦП	–	12bit/420kps/8ch/DMA	10bit/30kps/8ch
ЦАП	–	2x12bit/15μs	–
Додатково	–	Монітор живлення, WDT	WDT, BOD
Програмування	Паралельне	Паралельне/UART /користувач	Паралельне /SPI
Орієнтовна ціна, грн	53	667	77

### 3.2.2 Вибір тензорезисторів

Для вимірювання величини вібрації статора двигуна використано тензористивний перетворювач, похибки вимірювання якого безпосередньо впливають на результат вимірювання.

Точність роботи тензорезисторів залежить від характеристик матеріалу, конструкції тензорезисторів основи на яку вони наклеєні чи приварені.

Основні фактори, які впливають на величину похибки - повзучість, механічний гістерезис і температурні похибки.

Розглянемо ці фактори і їх вплив на розроблений перетворювач.

Повзучість тензорезисторів проявляється як правило у вигляді затухаючого протягом процесу зміни опору при постійній деформації незалежно від її знаку при фіксованих значеннях впливаючих величин.

Величина повзучості виражається в процентах і визначається наступним чином :

$$n = \frac{\Delta \epsilon}{\epsilon} \cdot 100\%$$

де,  $\Delta \epsilon$  - абсолютне зменшення вимірювальної відносної деформації за визначений час  $t$  ;

$\epsilon$  - початково виміряна відносна деформація.

Повзучість тензорезисторів пов'язана з не ідеальністю пружних характеристик матеріалів основи і зв'язуючого матеріалу. Величина повзучості залежить від швидкості релаксації напружень в зв'язуючому матеріалі і основи тензорезистора, що визначається величиною вимірювальної деформації і швидкістю її наростання, а також температурою і вологістю навколишнього середовища. Величина повзучості не перевищує

0,5-1 % за год. 1 1-2% за 6 год.

Приймаємо  $n = 1,5 \%$

Механічний гістерезис тензорезисторів також в основному пов'язаний з не ідеальністю пружних характеристик основи і зв'язуючого матеріалу. Гістерезис має місце при циклічних навантаженнях переважно в межах перших циклів і проявляється у вигляді невідновлюваності відліку / при рівних деформаціях/ при навантаженні.

Величина гістерезису коливається в межах  $0,5 - 5 \%$  від діапазону вимірювань і залежить від конструкції тензочутливого елемента, величина вимірювальних деформацій  $E_{\max}$  і числа попередніх навантажень, матеріалу основи і зв'язуючого матеріалу, а також температури і вологості навколишнього середовища.

Приймаємо величину гістерезису  $\Gamma = 3\%$

Температурні характеристики тензорезисторів пов'язані з особливостями їх роботи при високих або низьких температурах і відповідними змінами їх опору.

Температурна характеристика опору тензорезистора визначається властивостями матеріалу чутливого елемента і об'єкта досліджень і залежить від густини струму живлення і властивостей основи зв'язуючого матеріалу, існуючими температурними характеристиками тензорезисторів:

- температурний коефіцієнт опору / ТКО /;
- температурний дрейф нуля ;
- температурна повзучість;

Температурний коефіцієнт опору тензорезисторів в діапазоні температур  $T - T_0 = \Delta T$

$$\frac{\Delta R_T}{R} = \beta_T \Delta T$$

де  $\frac{\Delta R_T}{R}$  - відносний приріст опору тензорезисторів при дії температури;

$\beta_T$  - температурний коефіцієнт опору / ТКО / тензорезисторів.

$\beta_T \pm 1 \cdot 10^{-5} / K$  для константової решітки

$\alpha_{ov}$  - температурний коефіцієнт розширення матеріалу об'єкта дослідження.

$$\alpha_{ov} = 11 \cdot 10^{-6} / \text{K} \text{ для сталі У8А;}$$

$\alpha_{тз}$  - температурний коефіцієнт розширення матеріалу тензочутливого елемента.

$$\alpha_{ov} = 1,25 \cdot 1/\text{K} \cdot 10^{-5} \text{ для константу.}$$

$$\delta_{\text{аб}} = \frac{\delta_{\text{м}} \cdot \mu \cdot \eta \cdot a \cdot b}{\text{...}}$$

де a,b - сумарна довжина прямолінійних і петлевих ділянок решітки;

$\eta$  - коефіцієнт втрати чутливості на петлевих ділянках

$$\eta = 0,5$$

$\mu$  - коефіцієнт рівний 0.3 - 0.5

$\delta_{\text{м}}$  - значення тензочутливості матеріалів

$$\delta_{\text{м}} = 2.1$$

$$\delta_{\text{аб}} = \frac{\delta_{\text{м}} \cdot \mu \cdot \eta \cdot a \cdot b}{\text{...}}$$

$$\delta_{\text{аб}} = \frac{2.1 \cdot 0.3 \cdot 0.5 \cdot a \cdot b}{\text{...}}$$

$$\delta_{\text{аб}} = \frac{2.1 \cdot 0.3 \cdot 0.5 \cdot a \cdot b}{\text{...}}$$

Отже, температурна похибка тензорезистора становить  $\sim 0.07\%$  Сумарна теоретична похибка вимірювання вібрації :

$$\delta_{\text{вим}} = 1.5 + 3 + 0.07 = 4.37 \%$$

Особливістю наклеєних тензорезисторів є неможливість їх повторного використання.

Тому при визначенні характеристик проводять градуювання тензорезистора, при цьому використовують спеціальні засоби, наприклад установки УД - 1, УГТВ - 1 , УГТН - 1

### 3.3 Опис алгоритму роботи

Перед початком вимірювань статор 1 досліджуваного двигуна (без підшипникових щитів) встановлюють на стіл 11, а його ротор 2 кріплять між бабками за допомогою центровочних заглиблень у валі ротора і осьового переміщення правої бабки гвинтовим механізмом 6.

Вузол, який забезпечує рух робочого стола 11, складається з крокового двигуна 12, муфти і гвинтової пари.

Кроковий двигун кріпиться до корпусу за допомогою скоби.

Вимірювальні датчики вібрації Д закріплені безпосередньо на корпусі статора за допомогою спеціальної скоби. вплив вібрації статора двигуна на

Стенд працює наступним чином. Встановлюємо статор досліджуваного двигуна на столі і закріплюємо ротор в бабках. Датчики встановлюємо на корпус статора двигуна.

Далі необхідно запустити на виконання керуючу програму для ЕОМ. Програма через інтерфейс подає керуючі імпульси на кроковий двигун і забезпечує періодичну зміну зазору між ротором і статором. Після кожного заданого лінійного інтервалу переміщення стола включаються електромагніти 7 і фіксують стіл відносно кожної з трьох направляючих за допомогою цангових зажимів. В цьому положенні подається живлення на обмотки статора і послідовно знімаються покази з вібродатчиків. Перед наступним циклом переміщення цанги розфіксуються. Аналіз вимірювань проводить ЕОМ і подає користувачу у зручній для нього формі.



## 4 ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

### 4.1 Основні положення

Основні завдання, які підлягають вирішенню в цій частині є такими:

- характеристика технічного рівня установки;
- планування технологічної підготовки виробництва спроектованої установки (визначення трудомісткості і обсягу робіт конструкторської підготовки виробництва, визначення трудомісткості і обсягу робіт технологічної підготовки виробництва);
- визначення економічної ефективності нової установки (розрахунок затрат на виготовлення і використання нової установки, розрахунок затрат на виготовлення нової установки, визначення лімітної ціни нової установки, визначення затрат по експлуатації нової установки);
- розрахунок економічного ефекту від виготовлення і експлуатації приладу за розрахунковий період.

На завершенні роботи зробити необхідні висновки і пропозиції щодо тих завдань, які перераховані вище.

### 4.2 Характеристика технічного рівня проектуючої установки

Дана установка призначення для контролю середнього і зовнішнього діаметрів гвинта установочного. Контроль відбувається за допомогою двох півкалібрів. Вимірювання проводиться на двох вимірювальних позиціях, на які гвинт установочний подається по направляючих з магазину.

Серійність випуску даного приладу можна взяти з того, що випуск деталі (деталь на КР з технічного приладобудування) є одним з основних елементів приладу, прийнято 3000 шт. в рік, тому припускаємо, що випуск даної установки становить 3000 шт. в рік.

Конструктивні особливості “Установки для випробування на повзучість трубчатих зразків при сумарній дії згину і кручення” впливають з того, що

потрібно розробити і спроектувати для того, щоб сама установка відповідала тим вимогам щодо якості і точності, які перед нею ставляться.

Таблиця 4.1 - Показники технічного рівня і якості установки

Показники	Одиниця показника	Значення показників		Результати диф. оцінки технічного рівня спроектованої установки
		Проектуючого приладу	Заміновального приладу (різьбогир)	
Призначення	коэф.	1	1	В
Надійність	коэф.	1	0,8	В
Продуктивність	шт./год.	2	1	В
Уніфікація і стандартизація	коэф.	0,9	0,7	В
Екологічні	коэф.	0,95	0,95	В
Безпеки	коэф.	0,8	0,8	В

Результати диференційної оцінки технічного рівня і якості проектуючої установки в порівнянні з кращими світовими досягненнями позначаються так:

“П” – перевищує; “В”- відповідає; “Н” – не відповідає.

Розрахуємо комплексний показник якості проектуючої установки за формулою:

$$P_k = \sum_{i=1}^n K_i \times D_i ;$$

де  $P_k$  – комплексний показник якості;

$K_i$  – відносні показники якості;

$D_i$  – коефіцієнти вагомості одного одиничного показника якості, який визначає його відносну значимість ( $\sum_{i=1}^n D_i = 1$ )

Отже, комплексний показник якості буде:

$$P_k = \sum_{i=1}^n K_i \times D_i = 1 \times 0,3 + 1,42 \times 0,3 + 1,5 \times 0,1 + 1,28 \times 0,15 + 1 \times 0,1 + 1,18 \times 0,15 = 1,758$$

Числа 1,42; 1,5; 1,28; 1; 1,18 - відносні показники якості: показники призначення, надійності, продуктивності, уніфікації і стандартизації, екологічні і показники безпеки.

#### 4.3 Планування технічної підготовки виробництва проектуючої установки

Даний підрозділ включає:

- визначення трудомісткості і обсягу робіт конструкторської підготовки виробництва;
- розрахунок трудомісткості і обсягу робіт технологічної підготовки виробництва.

##### 4.3.1 Визначення трудомісткості і обсягу робіт конструкторської підготовки виробництва.

Трудомісткість окремого етапу конструкторської підготовки визначається за формулою:

$$T_{ki} = H_{ик} \times O_n \times K_C \times K_\Gamma \times K_\Phi$$

- $H_{ик}$  – норма часу на одну облікову одиницю конструкторської підготовки в розрахунку на одну деталь і-того вузла в залежності від ступеня складності і новизни цього вузла;
- $O_n$  - об'єкт конструкторської підготовки виробництва;
- $K_C$  – коефіцієнт серійності виробництва;

- $K_r$  – коефіцієнт габаритності в залежності від маси проектуючих конструкцій;
- $K_\phi$  – величина поправочних коефіцієнтів.

Етапи конструювання:

Технічне завдання:

$$T_{k1} = 122 * 0,6 * 0,5 = 36,6 \text{ (нормо-годин)}$$

Технічна пропозиція:

$$T_{k2} = 651 * 1 * 0,1 = 65,1 \text{ (нормо-годин)}$$

Ескізний проект:

$$T_{k3} = 672 * 1 * 1,1 * 0,45 = 332 \text{ (нормо-годин)}$$

Технічний проект:

$$T_{k4} = 6,8 * 1 * 1,8 * 1,1 * 1 = 13,46 \text{ (нормо-годин)}$$

Робочий проект:

$$T_{k5} = 7,9 * 1 * 2 * 1,1 * 1 = 17,38 \text{ (нормо-годин)}$$

Розробка робочої документації:

$$T_{k6} = 8,1 * 1 * 1 = 8,1 \text{ (нормо-годин)}$$

Розробка емпіричних схем виробу:

$$T_{k7} = 323 * 1 * 1 = 323 \text{ (нормо-годин)}$$

Програми і методика випробувань:

$$T_{k8} = 270 * 1 * 1 = 270 \text{ (нормо-годин)}$$

Складання технічних умов:

$$T_{k9} = 270 * 1 * 1 = 270 \text{ (нормо-годин)}$$

Участь у відладці дослідного взірця:

$T_{k10} = 6\%$  трудомісткості технічного і робочого проектів.

$$T_{k10} = 1,85 \text{ (нормо-годин)}.$$

Результати розрахунку трудомісткості конструкторської підготовки виробництва зводимо в таблицю 4.2

Таблиця 4.2 - Розрахунок трудомісткості конструкторської підготовки виробництва

Назва конструктор. документації	Стадії проектування	Кількість облікових одиниць	Норма часу	Трудомісткість загал. обсягу робіт	Кваліфікація виконавця (розряд)
1	2	3	4	5	6
Технічне завдання	A4	2	122	36,6	5
Технічна пропозиція	A4	2	651	65,1	4
Ескізний проект	A1	2	672	332	4
Технічний проект	A1	2	6,8	13,46	4
Робочий проект	A1	2	7,9	17,38	3
Розробка робочої документації	A4	4	8,1	8,1	3
Розробка емпіричних схем виробу	A1	8	323	323	3
Програми і методики випробувань	A4	3	240	240	3
Складання технічних умов	A4	5	270	270	3
Участь у відладці дослідного взірця	-	-	-	1,85	3
Всього по КПВ	X	X	X	≈1300	

#### 4.3.2 Визначення трудомісткості і обсягу робіт технологічної підготовки виробництва.

У відповідності із ЭСТПВ встановленні такі етапи технологічної підготовки виробництва. Технологічний контроль креслень, складання місцевих технологічних маршрутів, розробка технологічних процесів, проектування і виготовлення технологічного оснащення і наладка і впровадження технологічних процесів.

Трудомісткість технологічної підготовки виробництва визначається за формулою:

$$T_{TI} = H_{\text{чт}} * N_{\text{д}},$$

де  $T_{TI}$  - технологічної підготовки виробництва по і-тому етапі ;

$H_{\text{чт}}$  – норма часу на проектування технологічного процесу виготовлення однієї деталі;

$N_{\text{д}}$  – кількість облікових одиниць (найменувань деталей).

Результати розрахунку зводимо в таблицю 4.3

Таблиця 4.3 - Розрахунок трудомісткості технологічної підготовки виробництва

Етапи технологічної підготовки виробництва	Кількість облікових одиниць	Норма часу на одну облікову одиницю	Трудомісткість загального об'єму робіт (люд./год.)	Кваліфікація виконавців
Розробка маршрутної технології	23	10,7	246,1	4
Розробка укрупленої технології	33	31,6	1042,8	3
Розробка операційної технології	35	90,2	3157	3
Всього на ТПВ	X	X	4445,9	X

#### 4.4 Визначення економічної ефективності установки

4.4.1 Економічний ефект визначається по умовах використання нової установки за розрахунковий період:

$E_{rp} = R_{rp} - Z_{rp}$ ; де

$E_{rp}$  – економічний ефект за розрахунковий період;

$R_{rp}$  – вартісна оцінка результатів використання нової установки за розрахунковий період;

$Z_{rp}$  – вартість оцінки результатів нової установки за розрахунковий період.

Розрахунковий період, за який визначається економічний ефект, розраховується за формулою:

$$T_p = T_{тн} + T_v + T_c;$$

де  $T_p$  – величина розрахункового періоду;

$T_{тн}$  – тривалість робіт по ТПВ;

$T_v$  – тривалість виготовлення нової установки;

$T_c$  – тривалість часу використання нового приладу.

Визначається за формулою:

$$T_c = \frac{100 \cdot (P_v + B_d - L_v)}{P_v \cdot N_a}; \text{ де:}$$

$T_c$  – строки служби приладу;

$P_v$  – початкова вартість установки;

$B_d$  – вартість демонтажу;

$L_v$  – залишкова вартість приладу;

$N_a$  – норма амортизаційних відрахувань.

Розрахуємо значення строку служби за формулою:

$$T_c = \frac{100 \cdot (P_v + B_d - L_v)}{P_v \cdot N_a} = \frac{100 \cdot (2921 + 400 - 250)}{2921 \cdot 18,8} = 5,6 = 5 \text{ років};$$

Економічний ефект визначається по умовах використання нової установки за розрахунковий період, за формулою:

$$E_{pp} = P_{pp} - Z_{pp} = 14605 - 11000 = 3605 \text{ (грн)}$$

#### 4.4.2 Розрахунок затрат на виготовлення нової установки

Затрати на виготовлення розраховуємо за формулою:

$$Z_{ВП} = \sum_{t=1}^m (Z_{нет} + Kt - Л\phi) \cdot Kn_{pt},$$

де  $Z_{ВП}$  – затрати на виробництво нової установки за розрахунковий період;

$Z_{нет}$  – поточні затрати на виробництво нового приладу в t-ому році.

Затрати на виробництво нової установки, включаючи амортизаційні відрахування., за розрахунковий період слід визначати за формулою:

$$Z_{ВП} = \sum_{t=1}^m Z_{нет} \cdot Kn_{pt};$$

Затрати на сировину і матеріали розраховують на основі норми їх витрат і відповідних цін за формулою:

$$M_3 = \sum_{i=1}^n H_{mi} \cdot Ц_{oi},$$

Де  $M_3$  – затрати на сировину і матеріали;

$H_{mi}$  – норма затрат і-тих сировину і матеріали;

$Ц_{oi}$  – оптова ціна за одиницю витрат:

$$M_3 = 15 * 30 = 150 \text{ (грн)}$$



Із визначеної суми затрат вираховується величина повернутих відходів. Їх розмір можна прийняти на рівні 2-3% від затрат сировини і матеріалів. Величина повернутих відходів становить 9 (грн). Треба додати транспортно-заготівельні затрати на рівні 6-10% вони будуть становити 27 (грн) Результати розрахунку затрат на сировину і матеріали вводимо в таблицю 4.4

Таблиця 4.4 - Визначення затрат на сировину і матеріали

Найменування матеріальних ресурсів	Одиниця виміру	Норми витрат на виготовлення	Ціна за одиницю часу	Затрати на сировину і матеріали	Величина відходів (грн)	Затрати на сировину і матеріали без	Транспортно-заготівельні	Загальна сума затрат на сировину і матеріали (грн)
1. Сировина і матеріали		40	1,3	50	2,5	47,5	5	50
Сталь5 (45) Чавун			1,45 1					
2. Допоміжні матеріали, що використовуються для установки		0,3	0,6	4,8	-	4,8	-	4,8
Каучук, резина			0,65					
Разом		15,3		54,8		52,3		54,8

Розрахунок вартості купованих готових напівфабрикатів і виробів проводиться за формулою:

$$K_{ад} = \sum_{i=1}^n H_i * C_{ui} ,$$

де  $K_{ад}$  – вартість сировинних напівфабрикатів і деталей, що входять в прилад;

$N_i$  – кількість і-тих купованих деталей, що входять в установку;

$C_{пі}$  – оптова ціна одиниці і-тих купованих деталей.

Розрахункова вартість купованих напівфабрикатів, деталей і виробів збільшується на величину транспортно-заготівельних витрат в розмірі 6-10% від преїскурантної вартості.

Результати, купованих деталей, розрахунку витрат, зводимо в таблицю 4.5.

Таблиця 4.5 - Розрахунок затрат на куповані деталі

Найменування комплектуючих виробів	Кількість на 1 виріб, шт	Ціна за одиницю, грн	Транспортно-заготівельні затрати, грн	Загальні затрати на куповані деталі, грн
1. Пневмоциліндр	5	80	40	440

Величина затрат на підготовку і освоєння виробництва нового приладу визначається:

$$ЗПо = ЗПод * 100 / ЗПав = 9306 * 100 / 75 = 12408 \text{ (грн);}$$

$ЗПо$  – затрати на підготовку і освоєння виробництва;

$ЗПАВ$  – питома вага основної і додаткової зарплати.

Доля затрат на підготовку і освоєння виробництва, яка відведена на 1 прилад, визначається:

$$ЗПол = ЗПо * 0,5 / Nп$$

$Nп$  – середньорічна програма випуску приладів.

$$ЗПол = 12408 * 0,5 / 3000 = 20,68 \approx 21 \text{ (грн);}$$

Сума затрат на утримання і експлуатацію обладнання розраховується за в 5 до основної зарплати виробничих працівників.

Проценти цих затрат визначаються за формулою:

$$P_{ue} = Z_{ue} * 100 / Z_{об4}$$

$P_{ue}$  – процент витрат на утримання і експлуатацію обладнання;

$Z_{ue}$  – затрати на утримання і експлуатацію обладнання;

$Z_{об}$  – основна зарплата виробничих працівників.

$$P_{ue} = 75 * 100 / 93 * 4 = 20,16\%$$

Величина позавиробничих затрат розраховується в % до виробничої собівартості і визначається за формулою:

$$P_{ав} = P_{В} * Z_{з} * 100 / C_{вз};$$

Затрати на паливо та технологічні цілі визначається так:

$$Z_{пт} = \sum_{i=1}^n H_{ni} * C_{ni} * Z_{nm} = 3,5 * 0,9 = 3,15 \text{ (грн)};$$

Затрати енергії на технологічні цілі визначається за формулою:

$$Z_{ет} = \sum_{i=1}^l H_{ei} * T_{ei}, \text{ де } Z_{ei} = 50 * 0,17 = 8,5 \text{ (грн)}$$

$Z_{ei}$  – затрати на енергію;

$H_{ei}$  – норма витрат і-того виду енергії на виготовлення однієї установки;

$T_{ei}$  – тариф за одиницю витрат.

В розрахунку затрат на технологічне паливо треба врахувати транспортно-заготівельні витрати в розмірі 6-10% від вартості, воно становитиме 0,315 грн і загальна сума буде рівною 3,465 грн

Затрати на основну заробітну плату виробничих працівників зайнятих виготовленням установки, визначається на основі даних про трудомісткість виготовлення всіх деталей по видах робіт, величину тарифних ставок відповідних розрядів, та процент зарплат, що входять до основної зарплати робітників.

$$Z_0 = \sum_{i=1}^n P_i * P_{Ci} * K_d,$$

де  $Z_0$  – затрати на основну заробітну плату;

$P_i$  – трудомісткість  $i$ -тих видів робіт по виготовленню установки;

$P_{Ci}$  – величина тарифної ставки, що відповідає середньому розрядові  $i$ -тих видів робіт;

$K_d$  – коефіцієнт доплат, що входять до основної заробітної плати.

Результати розрахунку трудомісткості робіт по виготовленні установки зводимо у таблицю 4.6

Таблиця 4.6 - Розрахунок трудомісткості робіт по виготовленню установки

Перелік деталей, вузлів, що виготовляються	Трудомісткість робіт, нормо-годин			
	Заготівель них	Механічн их	Гальваніч них	Фарбуваль них
1	2	3	4	5
1. Стіл	12	3	1,5	0,3
2. Стійка вертикальна	15	5	2	0,3
3. Клин проміжний	8	2,5	1	0,3
4. Підстави	4	1,5	0,5	0,3

прийомного магазину				
5. Напрямяюча вихідна	7	2,3	0,7	0,3
6. Направляюча вхідна	7	2,3	0,7	0,3
7. Направляюча базова	8	2,5	1	0,3
8. Півкалібр верхній	10	2,8	1,25	0,3
9. Півкалібр нижній	10	2,8	1,25	0,3
Сума	81	24,7	9,9	2,7

Величина тарифної ставки, яка відповідає середньому тарифному розрядові і-тих видів робіт визначається так:

$T_{Ci} = T_{C1} * T_{Hc}$ , де:

$T_{C1}$  – величина тарифної ставки 1-го розряду.

Середній тарифний коефіцієнт визначається так:

$$T_{Hc} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i * P_{ij}}{\sum_{i=1}^n P_{ij}};$$

$K_i$  – тарифні коефіцієнти і-тих розрядів;

$P_{ij}$  – трудомісткість і-тих робіт j-тих розрядів.

Результати розрахунку зарплати виробничих робітників зводимо в таблицю 4.7

Таблиця 4.7 - Розрахунок затрат на зарплату робітників

Види роботи і розряди	Трудомісткість робіт (норми-години)	Годинна тарифна ставка відповідно	Величина тарифної зарплати, тис. грн	Коефіцієнт доплати до	Коефіцієнт доплаткової	Величина доплаткової	Величина основної зарплати, грн	Сума основної і доплаткової зарплати, грн
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Заготівельні процеси								
1 розряду			23,1					
2 розряду			26,105					
3 розряду			31,92					
4 розряду			14,175					
2. Механічна обробка								
1 розряду	11	0,70	7,7					
2 розряду	10,5	0,763	8,0115					
3 розряду	8	0,84	6,72					
4 розряду	6	0,945	5,67					
Сума			0,110					82,5

Відрахування на соціальне страхування визначається в % до всієї зарплати виробничих робітників і становить 37,5%, отже це становить 30,93 грн.

До затрат на підготовку і освоєння виробництва відносяться затрати на проектування, розробку технологічного процесу, проектування інструменту і технологічного оснащення, якість виробів. Дані розрахунки ведеться в такій послідовності:

- визначається чисельність конструкторів і технологів за формулою:
- 

$$ЧПТ = Тчн / Бч * Кел;$$

$$ЧПТ = 396,8 / 73 * 1,1 = 5 \text{ (чол.)}$$

- проводити розподіл працівників на кваліфікаційні групи;
- розраховується сума зарплати працівників за окладами:

$$ЗПо = \sum_{i=1}^n O_i * ЧП_{ii} * 12;$$

ЗПо – для зарплати працівників, зайнятих ТПВ;

$O_i$  – розмір місячних окладів  $i$ -тих категорій працівників;

$$ЗПо = 470 * 12 = 5640 \text{ (грн)}$$

- визначається величина основної і додаткової зарплат працівників:
- 

$$ЗПод = Зпо * (1 + Кд);$$

ЗПод – сума основної і додаткової зарплат робітників;

Кд – коефіцієнт додаткової зарплати:

$$ЗПод = 5640 * (1 + 0,65) = 9306 \text{ (грн)}$$

Знаючи питому вагу основної і додаткової зарплати в затратах на підготовку і освоєння приладу-аналогу, величина затрат на підготовку і освоєння виробництва нового приладу визначається за формулою:

$$ЗПо = \frac{ЗПод * 100}{ЗП_{пв}},$$

де Зпо – затрати на підготовку і освоєння виробництва;

ЗПпв – питома вага основної і додаткової зарплати в затратах на підготовку і освоєння виробництва.

$$ЗПо = \frac{9306 * 100}{37} = 25151 \text{ (грн)};$$

Величина позавиробничих затрат розраховується в % до виробничої собівартості.

Її значення визначається за формулою:

$$Ппв = \frac{ПВЗз * 100}{Свз};$$

Ппв – процент позавиробничих затрат.

ПВЗз – сума позавиробничих затрат заводу.

Свз – виробнича собівартість всієї продукції заводу.

$$\text{Ппв} = \frac{5500 \cdot 100}{4381500} = 0.125\%$$

Таблиця 4.8 - Величина поточних затрат на виготовлення приладу в 2003 році (тис.грн)

Статті калькуляції	Сума затрат по варіантах (тис.грн)	
	Базовий варіант	Проектний варіант
1	2	3
1. Сировина і матеріали за мінусом відходів	0,01	0,05
2. Куповані вироби	-	0,44
3. Паливо і енергія	0,004;0,0067	0,00315;0,0085
4. Основна і додаткова зарплата робітників	0,275;0,0255	0,375;0,0375
5. Нарахування на соціальні страхування	0,021	0,030
6. Витрати на підготовку і освоєння в-ва	1,602	0,408
7. Витрати на утримання і експлуатацію	0,001	0,094
8. Позавиробничі витрати	0,022	0,036
Всього	8,602	2,264

#### 4.4.3 Визначення лімітної ціни нової установки

Лімітна ціна – максимальна оптова ціна, яка відповідає певним технічно-економічним параметрам нової установки, відображає покращення її споживчих властивостей і зацікавлює соживача нової установки в його використанні.

Розраховується за формулою:

$$\text{Цл} = \text{Спм} + \text{Пн};$$

Цл – лімітна ціна нової установки;

Спм – максимальний рівень повної собівартості нової установки;



Пн – нормативна величина прибутку (15% від собівартості).

Собівартість нової устаткування визначається за формулою:

$$C_{пм} = 0,85 * C_{па} * Пн;$$

Спа – повна собівартість приладу взірця;

$$C_{пм} = 0,85 * 1700 * 1,758 = 2540 \text{ (грн)};$$

$$Цл = 2540 + 381 = 2921 \text{ (грн)}.$$

#### 4.4.4 Визначення затрат по експлуатації устаткування

Розрахунок затрат по експлуатації устаткування за розрахунковий період визначається за формулою:

$$Z_{еп} = \sum_{t=w}^m (ПЗевt + Kt - Lt) * Knpt ;$$

$$Z_{еп} = (94 + 10 - 15) * 1,5 = 133,5 \approx 134 \text{ (грн)}$$

Поточні закупки по використанню устаткування розрахувати за двома напрямками:

- а) експлуатаційні витрати в робочому процесі де використовується прилад;
- б) витрати на експлуатацію приладу;

Величина поточних експлуатаційних витрат за весь строк експлуатації устаткування складається з таких статей:

$$Z_з = \sum_{i=1}^t Z_{моi} + \sum_{i=1}^t Z_{мдi} + \sum_{i=1}^t Z_{днi} + \sum_{i=1}^t Z_{еi} + \sum_{i=1}^t Z_{рi} + \sum_{i=1}^t Z_{іi} + \sum_{i=1}^t Z_{бi} + \sum_{i=1}^t Z_{ні} + \sum_{i=1}^t Z_{днi} ;$$

Затрати на основні матеріали розраховуються так:

- а) базового періоду:

$$Z^б_{моi} = \sum_{i=1}^n Mo_i * Co_i ;$$

Мо<sub>і</sub> – річні витрати і-того матеріалу в техн. процесі;

Со<sub>і</sub> – ціна одиниці і-того основного матеріалу, що використовується в технологічному процесі.

$$Z^б_{моi} = 1 * 47,5 * 3,3 = 1556,75 \text{ (грн)}$$

- б) проектного варіанту:

$$З^{пмоі} = \sum_{i=1}^n M'oi * Цoi ;$$

$$M'oi = Ивм * N;$$

$$M'oi = 15 * 1 = 15 \text{ (грн);}$$

$$З^{пмоі} = 15 * 3,3 = 49,5 \text{ (грн)}$$

а) базового варіанту:

$$З^{бмді} = \left( \sum_{i=1}^n (Ндмі * Цді) * \frac{П2}{П1} \right);$$

Ндмі – річна норма витрат і-того допоміжного матеріалу по експлуатації;

Цді – ціна одиниці і-того допоміжного матеріалу;

П2 – річна продуктивність нової установки;

П1 – річна продуктивність замінюваного приладу.

$$З^{бмді} = \left( \sum_{i=1}^n (Ндмі * Цді) * \frac{П2}{П1} \right) = (4,8 * 1,6) * 2 / 1 = 15,36 \text{ (грн);}$$

б) проектного варіанту:

$$З^{пмді} = \sum_{i=1}^n (H'дм * Цді) = 4,8 * 1,6 = 7,18 \text{ (грн);}$$

Затрати на основну і додаткову зарплати вз нарахуванням визначаються

так:

а) базового варіанту:

$$З^{дпі} = \frac{t1}{60} TCi(1 + Kдо)(1 + Kдд)(1 + Kвз) * П2, \text{ де}$$

t1 – час однієї виміральної дії замінювального приладу;

РСі – годинні тарифні ставки робітників і-того розряду;

Кдо – коефіцієнт доплати;

Кдд – коефіцієнт додаткової зарплати;

Квз – коефіцієнт відрахувань на зарплату.

$$З^{бзпі} = \frac{25}{60} * 0,7(1 + 1,35) * (1 + 1,1) * (1 + 0,375) * 600 = 1187,5 \text{ (грн);}$$

б) проектного варіанту:

З^{пдп} =

$$\frac{t2}{60} TCi(1 + Kдо)(1 + Kдд)(1 + Kвз) * П2 = \frac{6}{60} * 0,7(1 + 0,4) * (1 + 0,11) * (1 + 0,52) * 600 = 99,20$$

Затрати на енергію розраховуються за формулою:

а) базового варіанту:

$$Z^6_{ei} = M_i * (t_1/60) * P_2 * a;$$

$M_i$  – потужність споживана в технологічному процесі де використовується замінювана установка;

$a$  – тариф за квт/год, (грн)

$$Z^6_{ei} = 1500 * (45/60) * 1 * 0,14 = 157,5 \text{ (грн);}$$

б) проектного варіанту:

$$Z^p_{ei} = M_i * (t_2/60) * a = 1300 * (25/60) * 2 * 0,14 = 75,83 \text{ (грн);}$$

Затрати на ремонт приладу і технологічного обладнання складаються з:

$$Z_{ri} = Z_{rpi} + Z_{roi};$$

$Z_{rpi}$  – затрати на ремонт приладу;

$Z_{roi}$  – затрати на ремонт технологічного обладнання.

Затрати на ремонт приладу розраховують так:

а) базового варіанту:

$$Z^b_{rpi} = Z_{rbi} * (P_2/P_1) * K_{пн} * K_{еф};$$

$$Z^b_{rpi} = 9 * 2/1 * 1,6 * 0,5 = 14,4 \text{ (грн);}$$

Затрати на ремонт технологічного обладнання, продуктивність якого зростає в результаті підвищення надійності приладу:

а) базового варіанту:

$$Z_{roi} = (V_{то} * P) / 100 * (P_2/P_1) = 16250 * 0,7 / 100 * 2/1 = 227,5 \text{ (грн);}$$

б) проектного варіанту:

$$Z_{roi} = V_{то} * P / 100 = 113,15 \text{ (грн);}$$

Затрати на ремонт приладу в і-тому році його експлуатації можна розрахувати за формулою:

$$Z_{rpi} = V_{mi} + Z_{pi} * (1 + K_{пн}/100);$$

$$Z_{rpi} = 8,4 + 37,8 * (1 + 0,8/100) = 46,5 \text{ (грн);}$$

Отже, затрати на ремонт установки і технологічного обладнання становлять:

а) базового варіанту:

$$Зр=14,4+227,5=241,9\approx 242 \text{ (грн);}$$

б) проектного варіанту:

$$Зр=12+113,75=126 \text{ (грн);}$$

Річні затрати на заробітну плату за зміну (ремонт) елементів розраховуються:

а) базового варіанту:

$$\begin{aligned} З\Pi^6 &= \left( \sum_{i=1}^n E_{ji} \cdot t_1 / 60 \cdot TC \right) \cdot (1 + K_{\partial o}) \cdot (1 + K_{\partial \partial}) \cdot (1 + K_{\partial z}) \cdot (\Pi 2 / \Pi 1) = \\ &= (4 \cdot 45 / 60 \cdot 1,2) (1 + 0,4) (1 + 0,1) (1 + 0,6) (2 / 1) = 14,78 \text{ (грн.);} \end{aligned}$$

б) проектного варіанту:

$$\begin{aligned} З\Pi^{\Pi} &= \left( \sum_{i=1}^n E_{ji} \cdot t_1 / 60 \cdot TC \right) \cdot (1 + K_{\partial o}) \cdot (1 + K_{\partial \partial}) \cdot (1 + K_{\partial z}) = \\ &= (3 \cdot 50 / 60 \cdot 2,3) (1 + 0,4) (1 + 0,11) (1 + 0,52) = 19,84 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

Затрати на інструмент (обробний і вимірювальний) враховується лише у випадках його втрачання або коли його вартість висока і розраховують так:

а) базового варіанту:

$$З^6_{ii} = \sum_{i=1}^{l_0} \frac{t_{oi} \cdot 2}{C_{oi}} \cdot Ц_i + \sum_{u=1}^{l_6} \frac{t_{6ui} \cdot 2}{C_{6ui}} \cdot Ц_i;$$

де  $t_{oi}$  – час обробки  $i$ -тим інструментом одного виробу для замінювального приладу;

$C_{oi}$  – стійкість  $i$ -того виду обробного інструменту, год.;

$Ц_i$  – ціни одиниці  $i$ -того інструменту;

$t_{6ui}$  – час вимірювань  $i$ -тим інструментом одного виробу для замінюваного приладу;

$C_{6ui}$  – стійкість  $i$ -того виду вимірювального інструменту, год;

$l_0, l_6$  – кількість найменувань обробного і вимірювального інструментів;

$$З^6_{ii} = 25 \cdot (0,3 \cdot 2 / 450) \cdot 347 \cdot (0,1 \cdot 2 / 100) \cdot 150 = 15,4 \text{ (грн);}$$

б) проектного варіанту:

$$З^{\Pi}_{ii} = 35 \frac{0,3 \cdot 2}{450} \cdot 34 + 47 \frac{0,4 \cdot 2}{90} \cdot 150 = 64,25 \text{ (грн)}$$

Втрати від браку можна визначити:

а) базового варіанту;

$$З^б_{пі} = В_{бр} * Т_{р} * П_{вб};$$

$В_{бр}$  – вартість браку в результаті одного відпаду;

$Т_{р}$  – число годин роботи установки на протязі року;

$П_{вб}$  – параметр потоку відпадів приладу, що замінюється.

$$З^б_{пі} = 5 * 5 * 0,4 = 10 \text{ (грн)};$$

б) проектного варіанту:

$$З^п_{пі} = В_{бр} * Т_{р} * Т_{вн};$$

$Т_{вн}$  – параметр потоку відпадів нової установки;

$$З^п_{пі} = 10 * 25 * 0,5 = 125 \text{ (грн)};$$

Затрати на періодичні перевірки і наладки установки визначають за формулою:

а) базового варіанту:

$$З^б_{пі} = Н_{пл} * З_{пл} * 2/1$$

$Н_{пл}$  – кількість перевірок приладу на протязі одного року;

$З_{пл}$  – величина затрат на одну перевірку.

$$З^б_{пі} = 2 * 5 * 2/1 = 20 \text{ (грн)};$$

б) проектного варіанту;

$$З^п_{пі} = Н_{пл} * З_{пл} = 2 * 5 = 10 \text{ (грн)};$$

Величина умовно-постійних затрат з врахуванням продуктивності нової установки може бути розрахована так:

а) базового варіанту:

$$З^б_{упі} = З'_{упі} [(2/1 - (2/1 - 1)) К_{дп}];$$

$З'_{упі}$  – величина умовно-постійних затрат в і-тому році без врахування зростання продуктивності нової установки;

$К_{дп}$  – коефіцієнт, який враховує долю приросту умовно-постійних затрат на 1% приросту продуктивності нової установки.

$$З^б_{упі} = 15 [(2/1 - (2/1 - 1)) * 0,5] = 22,5 \text{ (грн)};$$

б) в проектному варіанті величина умовно-постійних затрат на коефіцієнт зростання продуктивності нової установки не коректується.

Розрахунки затрат (експлуатаційних) по роках служби зводимо в таблицю 4.9

Таблиця 4.9 - Розрахунки експлуатаційних затрат по роках служби приладу

Перелік статей затрат	Роки служби приладу							
	1-й		2-й		3-й		4-й	
	Заміна приладу	Нова установка	Заміна приладу	Нова установка	Заміна	Нова установка	Заміна приладу	Нова установка
1	2		3		4		5	
Основні матеріали	0,01	0,05	0,017	0,05	0,3	0,15	0,3	0,55
Допоміжні матеріали	-	2805	-	2805	-	2805	-	2805
Основна і додаткова зарплата	55,3	99,3	55,7	99,4	55,9	99,5	56,5	100
Нарахування на зарплату	1,3	2,7	1,3	2,7	1,3	2,8	1,4	2,9
Енергія	0,15	0,35	0,15	0,35	0,15	0,35	0,15	0,40
Ремонт приладу і технологічного обладнання	21,3	24,7	21,4	24,75	21,45	24,75	21,5	24,8
Інструменти	0,35	0,505	0,355	0,515	0,360	0,525	0,4	0,55
Втрати від браку	150,3	410,3	199,2	425,05	230,6	450,3	279,8	870
Періодичні перевірки і наладки установки	10,8	0,9	10,8	0,9	10,8	0,9	10,8	0,9
Умовно-постійні витрати	1,33	-	1,33	-	1,33	-	1,33	-
Разом	240,9	538,8	283,4	553,7	321,9	579,2	372,1	999,5

#### 4.4.5 Розрахунок економічного ефекту від виготовлення і експлуатації установки за розрахунковий період

Економічний ефект від виготовлення і експлуатації нової установки за розрахунковий період складається з 2-х частин.

а) економічний ефект від встановлення установки:

$$E_v = (Ц_p - З_{пвр}) - (Ц_b - З_{бвр});$$

$З_{пвр}$  – затрати на виготовлення нової установки;

$З_{бвр}$  – затрати на виготовлення замінювального приладу.

$$E_v = (2921 - 2264) - (1700 - 1680) = 1850 - 20 = 757 \approx 760 \text{ (грн)};$$

б) економічний ефект від експлуатації установки:

$$E_e = Z_{\text{епр}}^b * T_{e2} / T_{e1} - Z_{\text{епр}}^n;$$

$Z_{\text{епр}}^b$  – затрати на експлуатацію замінювального приладу за розрахунковий період, приведені до розрахункового року.

$Z_{\text{епр}}^n$  - затрати на експлуатацію нової установки за розрахунковий період, приведені до розрахункового року.

$$E_e = 236,8 * 5 / 10 - 93,7 = 46,85 \text{ (грн)};$$

$$E_{vb} = E_v + E_e = 750 + 46,85 = 796,85 \approx 797 \text{ (грн)};$$

Результати розрахунків економічної ефективності проміжних рішень занесемо в таблицю 4.11

Таблиця 4.11 - Техніко-економічні показники порівнюючих варіантів

№ п/п	Показники	Одиниця виміру	Показники		Результати
			Базового варіанту	Проектного варіанту	
1	Строк служби	років	10	5	+
2	Комплексний показник якості	коефіцієнт	0,9	1,752	+
3	Оптова ціна	тис.грн	2,200	2,921	-
4	Приведені витрати на виготовлення	тис.грн	1,5	0,97	+
5	Приведені поточні експлуатаційні витрати	тис.грн	1,16	0,675	+
6	Приведені разові експлуатаційні витрати	тис.грн	0,096	0,066	+
7	Приведена залишкова вартість	тис.грн	0,05	0,075	-
8	Економічний ефект	тис.грн		0,797	-

Таблиця 4.10 - Розрахунок приведених затрат на виготовлення і використання приладу за розрахунковий період

Показники	РОКИ						Приведені затрати за розрахунковий період
	2020			2021			
	Сума затрат	Коеф.при ведення	Приведен і затрати	Сума затрат	Коеф.при ведення	Приведен і затрати	
1. Затрати на виготовлення приладу, тис.грн	А. Базовий варіант						18,0
	1. Зокрема на виготовлення установки						
	1,4	1,2	1,15	1,5	1,2	1,25	
1. Поточні експлуатаційні затрати, тис.грн	2. Затрати на експлуатацію установк						1,56
	0,12	1,2	0,1	0,14	1,2	0,116	
2. Разові експлуатаційні витрати, тис.грн	0,01	1,2	0,083	0,012	0,007	0,007	0,132
3. Залишков а вартість прилад, ти с.грн	0,05	1,2	0,41	0,05	1,2	0,041	0,60
1. Затрати на виготовлення установки	Б. Проектний варіант						12,24
	1. Затрати на виготовлення установки						
	0,97	1,2	0,8	1,07	1,2	0,89	
1. Поточні експлуатаційні затрати, тис.грн	2. Затрати на експлуатацію установки						9,7
	0,81	1,2	0,675	0,95	1,2	0,79	
2. Разові експлуатаційні витрати, тис.грн	0,067	1,2	0,056	0,067	1,2	0,056	0,8
3. Залишков а вартість прилад, ти с.грн	0,075	1,2	0,625	0,075	1,2	0,625	0,9



#### 4.6 Висновки і пропозиції

Виконавши необхідні розрахунки, щодо технологічної підготовки виробництва проектуючої установки, визначення трудомісткості і обсягу робіт конструкторської підготовки виробництва, визначення трудомісткості і обсягу робіт технологічної підготовки виробництва, визначення економічної ефективності установки і визначення економічного ефекту від виготовлення і експлуатації установки за розрахунковий період і зробивши порівняння нової установки з базовою, ми отримали певні позитивні результати в таких показниках як: комплексний показник якості, показник залишкової вартості і показник економічного ефекту. Однак є певні затрати на виготовлення, на експлуатацію і на вартісну оцінку. Даний прилад на рахунок якості, точності, перевищує базовий, а це головне на сьогоднішній день, бо потреба нової установки в народному господарстві є велика.

Ще однією перевагою нової установки над базовим приладом є підвищення ефективності нової установки над базовою, що вказує на технологічну конструкцію нової установки, як на більш вдосконалену і маючу більш високі показники на рахунок якості і точності.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 5.1 Охорона праці

#### 5.1.1 Аналіз пристрою з точки зору охорони праці

Оскільки преткований пристрій (автомат для розсортування листових деталей) виготовляється на підприємстві, то небезпечні для життя людини ситуації виникають під час монтажних, регулювальних і налагодочних робіт. Тому для зменшення ймовірності електротравматизму повинні виконуватися наступні основні правила:

- всі доступні для дотику струмоведучі частини обладнання повинні бути ізольовані;

- все електрообладнання підлягає заземленню;

- робочий електроінструмент повинен мати живлення не вище

36 В;

- забороняється використовувати обладнання з пошкодженою ізоляцією;

- робоче місце повинно зберігатися у чистоті і порядку.

Усі роботи проводяться у спеціальних приміщеннях.

При проведенні монтажних робіт є небезпека отруєння організму людини свинцем, тому робочі місця монтажників повинні бути обладнані витяжною вентиляцією, а працівники повинні дотримуватись правил виробничої гігієни.

Монтажно-складальні і регулювальні роботи пов'язані із значним напруженням зору, тому правильно організоване освітлення має велике значення.

Проведемо детальніший аналіз впливаючих факторів.

### 5.1.2 Техніка безпеки при електрозварювальних роботах

При виконанні електро- та газозварювальних робіт причинами нещасних випадків можуть бути ураження електричним струмом, дія променів електричної дуги на очі, опіки від безпосередньої дії дуги і бризків розплавленого металу, отруєння шкідливими газами, вибухи посудин і вибухових речовин.

Зварювальний апарат складається з понижувального трансформатора, дроселя зі змінним індуктивним опором (для регулювання величини струму) і проводів, які підмикаються до електрододержака і до виробу, що зварюється. Первинна обмотка трансформатора вмикається в мережу змінного струму (220 або 380 В), а вторинна обмотка (на напругу 65...100 В) коротко замикається електродом на виріб. Бувають також зварювальні апарати постійного струму.

Перед роботою електрозварювальний апарат, а також вироби чи конструкції, які зварюються, мають бути заземлені мідними чи алюмінієвими проводами. Для заземлення використовують металеві конструкції будівель і споруд, а також трубопроводи, які мають надійне сполучення з землею. Не можна використовувати для заземлення трубопроводи з горючими рідинами чи газами. Рекомендується використовувати зварювальні проводи в гумових шлангах і довжиною не більш як 10 м. Електрододержак має бути заводського виготовлення, а також необхідна добра ізоляція ручки і упорне кільце, яке не допускало б доторкання до електрода.

При електрозварювальних роботах використовують такі захисні засоби: спецодяг, спецвзуття, щитки й захисні окуляри із світлофільтрами, брезентові рукавички. При роботі всередині котлів і резервуарів користуються діелектричними рукавичками, галошами, ковриком, шоломом. Ці роботи виконуються за нарядом-допуском двома робітниками, один з яких знаходиться зовні ємкості й тримає у руках канат, прикріплений до пояса зварювача всередині ємкості. При цьому переносна лампа має живитися напругою не більш як 12 В.

При заміні електрода зварник може торкатися рукою тільки одного полюса, бо при доторканні до обох полюсів він може опинитися під напругою

65...70 В (при зварюванні напруга знижується до 15...30 В). Тому при виконанні електрозварювальних робіт у місцях підвищеної небезпеки (струмопровідна підлога, висока вологість тощо) використовують апаратуру автоматичного вимкнення холостого ходу.

На зварювальній ділянці цеху обов'язкові проходи і проїзди відповідно 1...1,5 м і 2,5 м. Висота зварювального приміщення має бути 4,5...5 м із загальнообмінною приблизно-витяжною і місцевою витяжною вентиляцією. Температура у приміщенні не повинна бути нижчою за 12...15°C. Зварювальні роботи виконують у спеціальних кабінах розміром від 1,5x1,5 до 2,5x2,5 м. площею не менш як 3 м<sup>2</sup> і висотою 1,8 м; підлоги - цегляні чи бетонні. При роботі на відкритому повітрі передбачаються зонти чи навіси з вогнетривких тканин для захисту від сонця і опадів, а для захисту від випромінювань дуги-ширми (екрани) заввишки не менш як 1,2 м. До електрозварювальних робіт допускаються особи не молодші за 18 років, які пройшли навчання і перевірку знань.

При газовому зварюванні та різанні металів використовують такі горючі гази, як ацетилен, водень, природний газ. Ацетилен - вибухонебезпечний газ, тому при його використанні необхідно строго дотримуватися правил техніки безпеки. Карбід кальцію перевозять і зберігають у герметичній тарі (закритих барабанах) окремо від кисню. Необхідно виключити небезпеку попадання з них вологи. Кисень подається до зварювальних постів у балонах під тиском 15 МПа, а в пальник він надходить по шлангах, де змішується з ацетиленом. Щоб не допустити утворення вибухової суміші ацетилену з повітрям, необхідно виконати попереднє продування киснем (при запалюванні спочатку відкривають кисневий кран, а потім ацетиленовий).

Приміщення газозварювальних ділянок обладнується припливно-витяжною вентиляцією, а кожний зварювальний пост - місцевим відсмоктуванням. Ацетиленові генератори встановлюють тільки в окремих приміщеннях з вогнетривких матеріалів.

При газозварювальних роботах необхідно працювати у захисних окулярах, шкіряних рукавичках, прогумованих фартухах. Відстань від генератора до місця зварювання та інших джерел вогню на повинна бути меншою від 10 м. Генератори для роботи можна встановлювати у приміщеннях, якщо об'єм приміщення не менший за 300 м<sup>3</sup>.

Оскільки при використанні точкової зварки для зварювання рефлекторів використовують високу напругу і струм, то даліше розглянуто захист від ураження електричним струмом, використання заземлення і занулення.

### 5.1.3 Захист від ураження електричним струмом

Основні причини нещасних випадків від дії електричного струму такі:

- випадковий дотик або наближення на небезпечну відстань до струмоведучих частин, які знаходяться під напругою;
- поява напруги дотику на металевих конструкціях електрообладнання (корпусах, кожухах і т.п.) у результаті пошкодження ізоляції або з інших причин;
- поява напруги на відімкнених струмоведучих частинах, на яких працюють люди, через помилкове вмикання установки;
- виникнення напруги кроку на поверхні землі у результаті замикання провoda на землю.

Основні заходи захисту людини від ураження електричним струмом:

- забезпечення недоступності струмоведучих частин під напругою для випадкового дотику;
- захисне заземлення, занулення і захисне вимкнення корпусів і кожухів електроустановок, на яких може виникнути напруга;
- застосування малих напруг;

- захист від випадкового дотику до струмоведучих частин застосування кожухів, огорож, подвійної ізоляції;
- контроль і профілактика пошкоджень ізоляції;
- застосування спеціальних електрозахисних засобів - переносних приладів і запобіжних пристроїв;
- організація безпечної експлуатації електроустановок.

Застосування малих напруг 6...12 В - це найбільшій ступінь безпеки. При цьому живлення споживачів здійснюється від акумуляторів, гальванічних елементів, випрямних установок, перетворювачів частоти, знижувальних трансформаторів на напругу 12, 24, 36, 42 В. Застосування малих напруг обмежується трудністю здійснення протяжної мережі. Тому малі напруги використовуються для ручного електрифікованого інструменту, переносних ламп, сигналізації. Напруга не вища від 42 В має застосовуватися у приміщеннях з підвищеною й особливою небезпекою для живлення переносних електроприймачів при неможливості виконання захисного заземлення або занулення, а також для світильників з лампами розжарювання, що розміщені над столом на висоті, меншій від 2,5 м. А при роботах з великими металевими поверхнями (наприклад, робота в котлах, бункерах) для живлення переносних світильників краще застосовувати напругу не вищу від 12 В.

Електричним поділом мережі можна різко зменшити небезпеку ураження. Розгалужена мережа великої довжини має значну ємність і малий активний опір ізоляції відносно землі. Струм замикання на землю у такій мережі може бути великим. Якщо сильно розгалужену мережу з великою ємністю і малим опором ізоляції розділити на кілька невеликих мереж такої самої напруги, які будуть мати малу ємність і великий опір ізоляції, то небезпека ураження різко знизиться.

#### 5.1.4 Контроль і профілактика пошкоджень ізоляції

Профілактика ізоляції напрямлена на забезпечення її надійної роботи. Необхідно усунути механічне пошкодження, зволоження, хімічний вплив, запилення, перегрівання. Але навіть у нормальних умовах ізоляція "старіє", з'являються місцеві дефекти. Опір ізоляції зменшується, у місцях дефекту ізоляція вигоряє, відбувається так званий пробій ізоляції, у результаті чого може виникнути коротке замикання, що може, у свою чергу, призвести до пожежі або до ураження людей струмом. Для того щоб підтримувати діелектричні властивості ізоляції, необхідно систематично проводити профілактичні випробування ізоляції, огляди, замінити непридатну ізоляцію.

У приміщеннях без підвищеної небезпеки не менш як один раз на півроку перевіряють відповідність опору ізоляції нормі. При виявленні дефектів ізоляції, а також після монтажу мережі або її ремонту на окремих ділянках вимкненої мережі вимірюють опір ізоляції. Вимірювання здійснюють між кожним проводом і землею (проводом заземлення) або між проводами різних фаз. При цьому в силових мережах вимикають електропримачі, апарати, прилади, а в освітлювальних - викручують лампочки. Сила вимірюного опору ізоляції має бути не меншою від норми, зазначеної в правилах будови та експлуатації (для ділянки мережі напруга до 1000 В опір ізоляції повинен бути не менш 0,5 Мом) Для вимірювання використовують прилад Мегаомметр.

Застосовують також постійний (безперервний) контроль ізоляції під робочою напругою протягом усього часу роботи електроустановки без автоматичного вимкнення. Опір ізоляції відслідковують за шкалою приладу. При зниженні опору ізоляції до гранично допустимого рівня або нижче прилад подає звуковий або світловий сигнал.

На підприємствах широко застосовується випробування ізоляції підвищеною напругою. Цей метод найефективніший для виявлення місцевих дефектів ізоляції і визначення її міцності, тобто здатності тривало витримувати робочу напругу. Електричні машини і апарати випробовують струмом

промислової частоти, як правило, протягом 1 хв. Значення випробувальної напруги нормується залежно від номінальної напруги електроустановки і виду ізоляції. В електроустановках напругою понад 1000 В проводять усі види випробувань, а до 1000 В - тільки випробування підвищеною напругою і вимірювання опору.

#### 5.1.5 Захисне заземлення, занулення і захисне вимкнення

При пошкодженні ізоляції та однофазному замиканні струму на металевих частинах електричних машин, апаратів, ЛЕП може з'явитися напруга, достатня для ураження людини і виникнення пожежі. Захист від цього можна здійснити захисним заземленням (знижують напругу дотику і напругу кроку), зануленням (вимикають обладнання і знижують напруги дотику і кроку на період, поки не спрацює вимкнений апарат), або захисним вимкненням (вимикають пошкоджену ділянку мережі швидкодіючим захистом).

Захисне заземлення призначене для зниження потенціалу на корпусі електрообладнання до безпечної величини. Захисним заземленням називається навмисне електричне з'єднання із землею металевих неструмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою. Захисному заземленню підлягають корпуси електричних машин, трансформаторів, світильників та інших електроустановок, які доступні для дотику людини, і які не мають інших видів захисту.

Галузь застосування захисного заземлення:

- мережі до 1000 В змінного струму - трифазні трипровідні з ізолюваною нейтраллю; однофазні двопровідні, ізолювані від землі, а також постійного струму двопровідні з ізолюваною середньою точкою обмоток джерела струму;

- мережі понад 1000 В змінного та постійного струму з будь-яким режимом нейтральної або середньої точки обмоток джерела струму.

Захисному заземленню підлягає обладнання:



- у приміщеннях з підвищеною небезпекою і в особливо небезпечних приміщеннях, а також у зовнішніх установках заземлення є обов'язковим при номінальній напрузі електроустановки понад 42 В змінного струму і 110 В постійного струму;

- у приміщеннях без підвищеної небезпеки заземлення є обов'язковим при напрузі 380 В і вище змінного струму та 440 В і вище постійного струму;

- у вибухонебезпечних приміщеннях заземлення виконується незалежно від величини напруги.

Заземлюючий пристрій складається із заземлювача (одного або кількох металевих елементів, заглиблених вертикально у ґрунт) і з'єднувальних провідників. Розрізняють заземлювачі штучні, призначені виключно для заземлення, і природні (металеві конструкції і комунікації іншого призначення, які знаходяться в землі). Для штучних заземлювачів використовують сталеві труби діаметром 35...50 мм або кутникову сталь (40x40...60x60 мм) завдовжки 2,5...3 м; пруткову сталь діаметром не меншим від 10 мм. Вертикальні заземлювачі над поверхнею землі (або підлоги) з'єднуються зварюванням у контур сталююю смугою перерізом не меншим від 4x12 мм або круглого перерізу діаметром не меншим від 6 мм.

Для природних заземлювачів можна використати металеві конструкції й арматуру залізобетонних конструкцій будівель, що з'єднані з землею; прокладені в землі водопровідні труби і свинцеві оболонки кабелів. Забороняється використовувати для цього трубопроводи з пожежовибухонебезпечними рідинами і газами, алюмінієві оболонки кабелів і алюмінієві провідники.

Заземлюючі пристрої діляться на два типи: виносні та контурні. Заземлювачі виносного заземлюючого пристрою розміщуються на деякій відстані від обладнання, яке заземлюється. Контурний заземлюючий пристрій характеризується тим, що його заземлювачі (або електроди) розміщуються на невеликій відстані один від одного (кілька метрів) по контуру (периметру)

майданчика навколо обладнання, яке заземлюється, а також у середині цього майданчика, чим забезпечується кращий ступінь захисту.

У промислових будівлях прокладають магістраль заземлення (у середині приміщення вздовж стін), до якої приєднують паралельно заземлюючі проводи від корпусів обладнання (послідовне вмикання заземлюючого обладнання не допускається). При цьому приєднання заземлюючої магістралі до заземлювача (штучного або природного) виконується у двох місцях. З'єднання заземлюючих провідників між собою і із заземлювачами виконується, як правило, зварюванням, а з корпусами машин і обладнання - зварюванням чи за допомогою болтів.

Для зв'язку вертикальних електродів, а також для самостійного горизонтального електрода використовують смугову сталь перерізом 4x12 мм. Для установки вертикальних заземлювачів попередньо викопують траншею глибиною 0,7...0,8 м, після чого забивають труби або кутники. Верхні кінці устромлених у землю вертикальних електродів з'єднують сталюю смугою з допомогою зварювання. У таких самих траншеях прокладають також горизонтальні електроди (смуга на ребро).

Заземлення контролюють оглядом і вимірюванням опору заземлювачів. Зовнішній огляд здійснюється не менше одного разу на шість місяців, а в приміщеннях з підвищеною небезпекою і в особливо небезпечних приміщеннях - один раз на три місяці. Вимірювання опору заземлення проводиться не менше одного разу на рік, а також після капітального ремонту і тривалої бездіяльності установки.

Зануленням називається навмисне електричне з'єднання з нульовим захисним провідником металевих неструмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою. Нульовий захисний провідник - це провідник, який з'єднує занулюючі частини з глухозаземленою нейтральною точкою обмотки джерела струму або з її еквівалентом.

Занулення застосовується у чотирипровідних мережах напругою до 1000

В із заземленою нейтраллю. З метою зменшення тривалості режиму замикання на корпус прокладається нульовий провід, який з'єднується із заземленою нейтраллю джерела і повторними заземленнями. При зануленні корпуси електрообладнання з'єднуються не із заземлювачами, а з нульовим проводом.

Занулення перетворює замикання на корпус на однофазове коротке замикання, у результаті чого спрацьовує максимальний струмовий захист (плавкий запобіжник, автомат) і селективно вимикає пошкоджену ділянку мережі. Крім цього, ще до спрацювання захисту струм короткого замикання зумовлює перерозподіл напруг у мережі, який веде до зниження напруги корпусу відносно землі. Таким чином, занулення зменшує напругу дотику і обмежує час, протягом якого людина, яка доторкнулася до корпусу, може потрапити під дію напруги.

Вимоги до занулення полягають у тому, що провідники занулення повинні вибиратися так, щоб при замиканні на корпус або на нульовий захисний провід виникав струм короткого замикання, який перевищував би не менш як у три рази номінальний струм плавкого елемента найближчого запобіжника; при захисті мереж автоматичними вимикачами з електромагнітними розчіплювачами, струм короткого замикання повинен перевищувати значення струму установки при номінальному струмі до 100 А не менш як у 1,4 раза, а при струмі понад 100 А - не менш як у 1,25 раза.

Повна провідність нульового захисного провідника в усіх випадках не повинна бути меншою від 50% провідності базового провідника. Обов'язкова безперервність нульового захисного провідника від кожного корпусу до заземленої точки джерела живлення, тому в мережі нульових захисних провідників не повинно бути роз'єднуючих пристосувань і запобіжників.

Контроль занулення здійснюється після монтажу, ремонту або реконструкції електроустановки і періодично відповідно до системи планово-попереджувальних ремонтів. Контроль включає зовнішній огляд мережі,

вимірювання опорів у петлі струмоведучий - нульовий захисний проводи і вимірювання опорів робочого та повторного заземлень.

Захисне вимкнення - це швидкодіючий захист, що забезпечує автоматичне вимкнення електроустановки при виникненні в ній небезпеки ураження людини струмом. Така небезпека може виникнути при замиканні фази на корпус, при зниженні опору ізоляції мережі нижче певної межі, а також у випадку доторкання людини до струмоведучої частини, яка знаходиться під напругою.

У всіх цих випадках небезпека ураження зумовлена напругою дотику  $U_{dot}$  або струмом, який проходить через людину ( $U_{dot}=I_l R_l$ ).

Принцип захисту людини в цьому випадку полягає в обмеженні часу протікання через тіло людини небезпечного струму. Пристрій захисного вимкнення постійно контролює мережу і при зміні її параметрів, що зумовлені підімкненням людини в мережу, вимикає всю мережу або окрему її ділянку. Усі пристрої захисного вимкнення складаються із датчика, перетворювача і виконавчого органу. Бувають такі види пристроїв, які реагують на напругу корпусу відносно землі, на струм замикання на землю, на напругу нульової послідовності, на напругу фази відносно землі, на оперативний струм.

Пристрої захисного вимкнення повинні відповідати таким вимогам: висока чутливість, здатність здійснювати самоконтроль справності, достатня надійність.

Захисне вимкнення застосовується тоді, коли інші захисні заходи (заземлення, занулення) неможливі (в умовах вічної мерзлоти і т.п.), коли вони ненадійні і дорогі або коли до безпеки обслуговування ставляться підвищені вимоги (у шахтах, кар'єрах), а також при пересувних електроустановках. Галузь застосування пристроїв захисного вимкнення не обмежена: вони можуть використовуватися в мережах будь-якої напруги з будь-яким режимом нейтралі. Але найпоширеніші вони в мережах до 1000 В (із заземленою та

ізолюваною нейтраллю). Захисне вимкнення є незамінним для ручних електроінструментів.

## 5.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

### 5.2.1 Оцінка стійкості роботи підприємства в надзвичайних ситуаціях природного характеру

Кожний об'єкт в залежності від особливості його виробництва і інших характеристик має свою специфіку. Але об'єкти мають багато спільного: виробничий процес здійснюється, як правило, в середині споруд і будівель, самі споруди випадків виконані з уніфікованих елементів, територія об'єкту насичена інженерними, комунальними і енергетичними лініями, окремо розташовані технологічні установки, мережа внутрішнього транспорту, системи зв'язку і управління, складське господарство, різноманітні будівлі і споруди адміністративного, побутового і господарського призначення.

Принципами стійкості промислового підприємства в надзвичайних ситуаціях є єдина нормативна і директивна база, яка включає:

- Конституцію України;
- закон про цивільну оборону України;
- положення ЦО;
- нормативні документи по стійкості об'єктів;
- директиви начальника штабу ЦО України.

Стійкість роботи промислового підприємства складається із:

- стійкості інженерно-технічного комплексу (будівель, споруд, систем енерго-, газо-, водозабезпечення, технологічного обладнання і.т.п.) до дії зовнішніх факторів при аваріях, катастрофах, стихійному лихові, а також при застосуванні щодо них сучасної зброї;

- стійкості виробничої діяльності (захист виробничого персоналу, надійність системи управління, постачання поновлення роботи в найкоротші терміни).

Фактори, від яких залежить стійкість роботи об'єктів в надзвичайних ситуаціях мирного і воєнного часу:

1. надійність захисту робітників і службовців;
2. безпечність розташування об'єкту відносно зон можливих руйнувань;
3. можливість інженерно-технічного комплексу протистояти ударній хвилі будь-якого вибуху і вражаючим діям ядерної зброї;
4. безперервність постачання електроенергією, паливом, сировиною, газом і всім необхідним для випуску продукції;
5. надійність керування виробництвом силами і засобами цивільної оборони;
6. підготовленість підприємства до поновлення виробництва.

Для всіх виробничих об'єктів незалежно від профілю виробництва і призначення, характерні запальні фактори, які впливають на підготовку об'єкта до роботи в надзвичайних ситуаціях мирного і воєнного часу. До цих факторів належать район розміщення об'єкту, внутрішнє планування і забудова території об'єкту, системи енергопостачання, технологічний процес, виробничий зв'язок об'єкту, системи управління, підготовленість об'єкту до відбудови виробництва і інше.

Район розміщення об'єкта вивчається за картою (планами). Проводиться аналіз топографічного розміщення об'єкту:

- характер забудови території яка оточує об'єкти (структура, густота, тип забудови);
- наявність на цій території підприємств, які можуть бути джерелами виникнення вторинних факторів ураження;
- природні умови навколишньої місцевості.

З'ясовуються метеорологічні умови району. При вивченні споруд і будівель об'єкту дається характеристика споруд основного і допоміжного виробництва, споруд, які не будуть використані у виробництві основної продукції в надзвичайних ситуаціях. Встановлюються основні особливості їх конструкції, вказують технічні дані, необхідні для розрахунків дії ударної хвилі, світлового випромінювання і можливих вторинних факторів ураження. А

власне: конструкція, поверхня, довжина і висота, вид каркасу, світлові отвори, покрівля, перекриття. Вказується кількість працівників і службовців, які одночасно перебувають у будівлі, наявність вбудованих і близько розміщених сховищ.

При оцінці території об'єкту визначається вплив густоти і типу забудови, можливість виникнення і розповсюдження пожежі створення завалів входів у сховища.

Вивчення технологічного процесу проводиться з розрахунком специфіки виробництва і змін у виробничому процесі в надзвичайних ситуаціях.

На підприємствах зв'язаних із застосуванням значної кількості сильнодіючих отруйних і горючих речовин, встановлюється їх кількість, оцінюються токсичні властивості, надійність їх зберігання. Визначається їх необхідний мінімум запасів цих речовин, які можуть перебувати на території об'єкту.

Особливу увагу приділяють дослідженню систем газопостачання, оскільки газ з джерела енергії може перетворитись у дуже агресивний вторинний фактор ураження.

Дослідження системи управління об'єктів проводиться на основі вивчення стану пунктів управління і вузлів зв'язку, надійності системи управління виробництвом, розстановки сил. Визначаються також джерела поповнення робочої сили, аналізуються можливості взаємозаміни керівного складу об'єкту. Особлива увага приділяється вивченню системи оповіщення.

При аналізі системи матеріально-технічного постачання дається коротка характеристика цієї системи в нормальних умовах і можливих змін у зв'язку з переходом на випуск нової продукції, оцінюються наявні і планові запаси і можливі продовження строки роботи без постачання.

Підготовка об'єкту до відбудови виробництва визначається на основі вивчення характеру виробництва, складності його устаткування матеріалів.

5.2.2 Підвищення стійкості роботи підприємства, безпечність і можливість інженерного комплексу протистояти надзвичайним ситуаціям

З системою забезпечення стійкості роботи важливих виробничих підприємств в надзвичайних ситуаціях мирного і воєнного часу завчасно проводиться комплекс організаційних і інженерно-технічних заходів цивільної оборони, спрямованих на забезпечення захисту населення та підвищення стійкості роботи об'єкту, на утворення необхідних умов для безперебійної роботи.

Під стійкістю роботи промислових підприємств розуміють їх можливість в умовах надзвичайних ситуацій мирного і воєнного часу виробляти продукцію в запланованому обсязі і номенклатурі, а при слабких пошкодженнях відновлювати виробництво в мінімальні терміни.

Нові промислові підприємства повинні будуватись з врахуванням вимог, виконання яких сприяє підвищенню стійкості інженерно-технічного комплексу об'єкту.

Будівлі і споруди на об'єкти необхідно розміщувати розсереджено. Відстань між будівлями повинна забезпечувати протипожежні розриви. Ширина протипожежного розриву  $\alpha_p$  визначається за формулою:

$$\alpha_p = H_1 + H_2 + 15\text{м};$$

де  $H_1$  і  $H_2$  – висоти сусідніх будинків.

Висока стійкість до дії ударної хвилі властива залізобетонній будівлі з металевими каркасами.

Для підвищення стійкості до пожеж в будівлях повинні застосовуватись вогнестійкі конструкції, а також вогнетривка обробка горючих елементів будівлі. В складських приміщеннях повинно бути якомога менше вікон і дверей. Складські приміщення для зберігання легкозаймистих речовин повинні розміщуватись в окремих блоках заглиблено або напівзаглиблено біля кордонів об'єкту або за його межами.



Дороги на території об'єкту повинні бути з твердим покриттям і забезпечувати зручний і найкоротший шлях між виробничими будівлями, спорудами і складами; в'їздів на територію об'єктів повинно бути не менше двох з різних напрямків.

Системи побутової і виробничої каналізації повинні мати не менше двох випусків в міську каналізаційну мережу і пристосування для аварійних викидів.

Електрозабезпечення повинно здійснюватись від енергосистеми, до складу якої входять електростанції, що працюють на різних видах палива. Великі електростанції потрібно розташовувати одну від одної і від великих міст на відстані, не менше двох радіусів зон можливих руйнувань.

Електроенергію на ділянки належить подавати по належних кабелях, прокладених в землі на глибині 0,8 – 1,2 м.

Для підвищення стійкості постачання об'єктів водою необхідно, щоб система водопостачання[об'єктів] здійснювалась не менше ніж від двох незалежних джерел.

На багатьох виробничих об'єктах газ використовується як паливо, а на хімічних підприємствах і як вихідна сировина. Газопровідні станції необхідно розташовувати за межами міста з різних сторін. Газова мережа закольцовується і прокладається під землею на глибині 0,6 – 1,7 м.

На газовій мережі у визначених місцях повинні бути встановлені автоматичні відключаючі пристрої, які спрацьовують від надлишкового тиску ударної хвилі.

## 6 ЕКОЛОГІЯ

### 6.1 Актуальність охорони навколишнього середовища

#### 6.1.1 Загальні положення

З часів утворення людського суспільства на Землі воно задовільняло свої потреби за рахунок навколишнього середовища.

При цьому довгий час діяльність людства не завдавала помітних змін природі. Але з появою машин вплив на природу антропогенних факторів різко зріс. Внаслідок цього відновлюваний потенціал природи став меншим дії суспільства на неї, що викликало початок необоротної зміни навколишнього середовища.

Взаємодія виробничо-господарських та природних процесів привела до порушення взаємних зв'язків між елементами живої та неживої природи.

Очевидна можливість прямування до помітної деградації біосфери, а в наш вік науково-технічної революції – до екологічної кризи.

Основними причинами цієї кризи є:

- історично вкорінена думка, що самоочищуюча спроможність природи безмежна;
- не виправдана надія на адаптацію тварин та людей до змін;
- демографічний вибух, який спричинений експоненціальним ростом населення планети;
- інтенсивний розвиток науки, промисловості і транспорту з відповідним різким ростом викидів та відходів, споживацька спрямованість науково-технічної революції, вичерпання природних ресурсів.

Розвиток науки і техніки, який ми називаємо науково-технічною революцією, грозить нам:

- отруєнням повітря, води і ґрунту відходами промисловості і сільського господарства;
- гострим браком чистої води, а може і кисню, повітря;
- виснаженням мінеральних ресурсів;
- порушенням біологічної і кліматичної рівноваги.

На даний час вже з'явилися такі негативні наслідки:

- збільшення різноманітних промислових відходів;
- теплове забруднення та кліматичні катастрофи;
- радіоактивне забруднення;
- суттєве зменшення непоновлюваних сировинних ресурсів: палива, чистої води, металів, будівельних матеріалів.

Сучасний екологічний стан України і всі нові небезпеки, що виникають, являються наслідком дії двох факторів:

1. відомчого і технократичного мислення керівних і планових органів;
2. громадської інертності і екологічної безграмотності інженерно-технічних працівників і населення в цілому.

### 6.1.2 Законодавчі аспекти

Згідно Закону України про охорону навколишнього середовища від 25.06.1991 року при відповідному міністерстві створена інспекція по економічній експертизі проектів, яка здійснює державну експертизу всіх проектів, в тому числі нової техніки, технології, матеріалів. Для цього кожний проект повинен мати розділ “Охорона навколишнього середовища”, в якому основним питанням є розробка заходів по ресурсозберіганню та енергозберіганню, а також створенню маловідходних та безвідходних технологій.

Так економія однієї тони сталі дає змогу зменшити на десять тон витрати руди та на вісімнадцять тон твердих та газоподібних відходів. Зменшення

витрат сталі на 25% на Україні дозволило б зупинити один гірничо-збагачувальний комбінат з відповідним зменшенням витрат ресурсів та викидів. Така ж ситуація при використанні кольорових металів, кабельної продукції та виробів радіоелектроніки.

6.2 Забруднення довкілля, що виникнуть в результаті виробництва та впровадження установки для випробування на повзучість

Джерелом забруднення називається технологічний агрегат, що виділяє в процесі експлуатації шкідливі речовини.

Згідно ГОСТ 17.2.1.04-77 джерела викидів речовин поділяються на організовані і неорганізовані. Організований промисловий викид – викид, який надходить у атмосферу через спеціально збудовані газовідводи, повітроводи і труби. Неорганізованим називається викид, що надходить у атмосферу у вигляді направлених потоків газу у результаті порушення герметичності обладнання, відсутності чи незадовільної роботи відсосів у місцях перевантаження чи зберігання продукту.

У відповідності до ГОСТ 17.2.3.02-78 для кожного джерела забруднення атмосфери повинна бути встановлена гранично-допустима норма викиду, що являє собою науково-технічний норматив. Встановлення нормативів гранично-допустимого викиду шляхом розрахунку встановлено в ОНД-86 з врахуванням вимог ГОСТ 17.2.3.02-78 і СНиП 1.02.01-85.

Основним джерелом забруднення при прокатці металу є полум'яні печі і пресове обладнання.

При використанні полум'яних печей при нагріванні викидаються такі гази: CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>. Загальнообмінною вентиляцією від пресів і ковочних машин на 1 т палива викидається 3 кг CO та 2,2 кг SO<sub>2</sub>. Вентиляційне повітря забруднене парами та продуктами згоряння мастил.

Тому, що при плавці 1т металу у відкритих чавуннолиттєвих вагранках виділяється 900 - 1200 куб. м газу, що містить CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, пари мастил, пил.

При обробці заготовок, верстати з емульсійним охолодженням виділяють за 1 годину на 1 кВт потужності

- води - 150г.
- туману емульсола - 0,0063г.

а шліфувальні відповідно:

- води - 150г.
- туману емульсола - 0,165г.

При шліфуванні виділяється пил, кількість якого залежить від діаметра шліфувального круга і становить від 117 до 310г\год.

Основними видами забруднення стічних вод на розроблюваному підприємстві є завислі тверді речовини, головним чином механічного пошкодження, і забруднення стічних вод мінеральними мастилами та іншими нафтопродуктами, що виділяються при прокатці металу.

### 6.1.3 Заходи по зменшенню негативного впливу на довкілля

У даному дипломному проєкті такими заходами вважаємо:

- зменшення ваги пристрою, а значить і зменшення видобутку сталі для виготовлення пристрою;

- зменшення ваги заготовок для виготовлення пристрою (для валів замість прокату вибираємо штамповики і т. д. ).

Для очищення повітря в основному використовують суху та мокру очистку за рахунок застосування гравітаційних, інерційних, відцентрових сил та фільтрування через пористі перетинки. В апаратах з мокрою очисткою широко використовують контакт газу з рідиною, внаслідок чого нерозчинні частинки збільшуються у розмірах, розчинні зникають.

Для очищення повітря вибираємо фільтри тканинні, які вловлюють частинки з розмірами 0,9 – 100 мкм.

Для вловлювання із стічних вод нерозчинних забруднень використовують відстійники неперервної дії.

По напрямку руху рідини в споруді відстійники поділяються на два основних типи: горизонтальні і вертикальні. В залежності від призначення в технологічній схемі очисної станції відстійники поділяються на первинні і вторинні. Первинні відстійники служать для попереднього освітлення стічних вод, які поступають на очистку, а вторинні – для освітлення вод, які пройшли попередню очистку.

Використовуємо вертикальні відстійники з до  $10000 \text{ м}^3 / \text{добу}$ .

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Результатом роботи над даною дипломною роботою магістра є інформаційна система вимірювання для дослідження впливу зазору між статором і ротором на вібрації електродвигунів

В процесі проектування пророблено наступні питання:

1. проведено аналіз об'єкту контролю та патентний пошук;
2. зроблено опис конструкції, розглянуто принцип роботи установки;
3. проведено розрахунки гвинтової пружини, підшипника та ходового гвинта;
4. зроблено розрахунок математичної моделі впливу некорельованої еліптичності ротора і статора на виникнення вібрацій електродвигуна;
5. розроблено електронний блок керування вимірювальною системою;
6. проведено економічне обґрунтування розробки, розроблено заходи по охороні праці, навколишнього середовища і цивільному захисту.

Конструкторські розрахунки проводились з використанням обчислювальної техніки..

Впровадження результатів дасть можливість здійснювати автоматизовану роботу інформаційна система вимірювання та підвищити точність роботи.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Е.Я. Красковский, Ю.А. Дружинин, Е.М. Филатова. Расчет и конструирование механизмов пиборов и вычислительных систем. – М.: Высшая школа, 1991. – 414с.
2. А.В. Гордон, А.Г. Сливинская. Электромагниты постоянного тока. – М.: Высшая школа, 1960. – 158с.
3. Л.А. Казаков. Электромагнитные устройства РЭА. – М.: Энергия, 1991. – 440с.
4. Я.И. Кожевников, Я.М. Есипенко, С.М. Раскин. Механизмы. - М.: Высшая школа, 1960. – 672с.
5. В.И. Анурьев. Справочник конструктора машиностроителя. В 3-х Т. – М.: Машиностроение, 1971. –786с.
6. Л.И. Якушев, Е.Ф. Бежеликова, В.И. Плиталов. Допуски и посадки ЕСДП СЭВ. – М.: И-во стандартов, 1978. – 236с.
7. 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.
8. <http://chiplist.ru/chips/KR1816VE51/>
9. [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)
10. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/doc2466.pdf>



# ДОДАТКИ