

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”

ТЕХНОЛОГІЯ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

Методичні вказівки

до виконання
лабораторних робіт

Київ 2009

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”

Затверджено на засіданні
кафедри виробництва приладів
протокол № 2 від “16” вересня 2009 р.

ТЕХНОЛОГІЯ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

методичні вказівки

до виконання лабораторних робіт
для студентів напряму підготовки
6.051003 «Приладобудування»,

Спеціальності: «Наукові, аналітичні та екологічні прилади та системи»

Затверджено Методичною радою НТУУ «КПІ»

Київ 2009

Технологія приладобудування: вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів напрямку підготовки 6.051003 «Приладобудування», 7.090902 «Наукові, аналітичні та екологічні прилади та системи» приладобудівного ф-ту / Уклад.: Автори: Шевченко В.В., Осадчий О.В., Симута М.О. – К.: НТУУ «КПІ», 2009. – 52 с.

*Гриф надано Методичною радою НТУУ «КПІ»
(Протокол № ____ від «____» _____ 20__ р.)*

Навчальне видання

ТЕХНОЛОГІЯ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

Методичні вказівки

До виконання лабораторних робіт
для студентів напряму підготовки
6.051003 «Приладобудування»,
Спеціальності: «Наукові, аналітичні та екологічні прилади та системи»

Укладачі: *Шевченко В.В., к.т.н., доцент*
Осадчий О.В., асистент
Симута М.О., асистент

Відповідальний редактор:
Румбешта В.О. д.т.н. професор

Рецензенти:
Гераймчук М.Д., д.т.н., професор

За редакцією укладачів

Надруковано з оригінал-макета замовника

Темплан 2008, поз. _____

Підп. до друку _____ Формат 60х84¹/₁₆. Папір офс. Гарнітура – Times.
Спосіб друку – ризографія. Ум. друк. арк. 3,95. Обл.-вид.арк. _____
Тираж 50 Зам. _____
Лабораторія офсетного друку НТТУ «КПІ»

НТУУ «КПІ» ВПІ ВПК «Політехніка»
Свідоцтво ДК № 1665 від 28.01.2004 р.
03056, Київ, вул. Політехнічна, 14, корп. 15
тел./факс(044)241-68-78

ЗМІСТ

Стор.

Лабораторна робота 1	
Розробка технологічного процесу складання приладів.....	4
Лабораторна робота 2	
Динамічне балансування в приладобудуванні.....	11
Лабораторна робота 3	
Розрахунок розмірних ланцюгів.....	19
Лабораторна робота 4	
Намотування кільцевих опорів потенціометрів.....	26
Лабораторна робота 5	
Технологія друкованого монтажу.....	33
Лабораторна робота 6	
Забезпечення параметричної точності елементів приладів.....	42
Література.....	51

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1

Розробка технологічного процесу складання приладів

Мета роботи: ознайомити студентів з методикою проектування технологічних схем складання та схем структурного складу і, на їх основі, з методикою проектування технологічного процесу складання.

Задачі роботи: розвиток навичок проектування технологічних процесів складання сучасних приладів. Ознайомлення студентів з елементами технології складання, а також з оформленням технологічної документації на складання.

Теоретичні положення

Складанням називають технологічний процес координування та з'єднання складальних елементів з заданими технологічними умовами. З технологічної точки зору складальні роботи можна поділити на п'ять груп:

1-ша група: операції по взаємному розташуванню та з'єднанню деталей та складальних одиниць — основні операції.

2-га група — додаткові операції по припасуванню деталей по місцю.

3-тя група — допоміжні операції (промивання, чистка та таке інше). За своїм характером ці операції не входять у основний складальний процес, але вводяться як підготовчі роботи для забезпечення якості основних операцій.

4-та група — операція настроювання та регулювання для забезпечення параметрів, що визначають якісний стан приладів у відповідності з технічними умовами.

5-та група — операції контролю та випробування приладів.

Види складання за ГОСТ 23887-79 можна розділити за наступними ознаками:

а) по стадії процесу складання:

— попереднє складання — складання заготовок, складових частин або виробу в цілому, які в наступному підлягають розбиранню;

— проміжне складання — складання заготовок для подальшої їх сумісної обробки;

— складання під зварювання — попереднє складання заготовок які підлягають з'єднанню за допомогою зварювання;

— остаточне складання — складання виробу або його складової частини після якої не передбачено їх розбирання при виготовленні.

б) за методом отримання з'єднань:

— слюсарне складання — складання за допомогою слюсарно-складальних операцій;

— монтаж — встановлення виробу або його складових частин на місці експлуатації;

— електромонтаж – монтаж електровиробів або їх складових частин, що мають струмопровідні виводи;

— зварювання;

— пайка;

— клепка;

— склеювання.

в) за переміщенням складаємого виробу:

— стаціонарна;

— рухома.

г) за організацією виробництва:

— поточне складання;

— групове складання;

д) за механізацією і автоматизацією складання:

— ручне;

— механізоване;

— автоматизоване;

— автоматичне.

е) за методом забезпечення точності замикаючої ланки:

— з повною взаємозамінністю;

— з неповною взаємозамінністю;

— селективне (групове) складання;

— з доробкою за місцем;

— з регулюванням.

Виробом називається будь-який предмет або набір предметів виробництва, що підлягають виготовленню на підприємстві.

До виробів основного виробництва слід відносити вироби призначені для поставки іншим підприємствам (до реалізації). До виробів допоміжного виробництва, що призначені тільки для власних потреб підприємства. Вироби, призначені для реалізації іншим підприємствам та що одночасно використовуються для власних потреб підприємства потрібно відносити до виробів основного виробництва.

Будь-який виріб складається з наступних елементів: деталь, складальна одиниця, комплекс та комплект.

Деталь – частина виробу, виготовлена без використання складальних операцій. Це найнижча структурна одиниця складання.

Складальна одиниця – це окрема функціональна частина виробу, отримана складальними операціями з простіших елементів, яка підлягає згодом стикуванню в єдиний прилад на даному підприємстві. Це основні структурні одиниці складання, що одержуються за своїми окремими технологічними процесами у вигляді незавершеного виробництва, які характеризуються певним функціональним призначенням у конструкції виробу. При цьому прості за складом складальні одиниці можуть об'єднуватись у процесі складання в складніші структурні пристрої, тобто переходити від нижчих ступенів шляхом об'єднання до вищих ступенів складання. Складальні одиниці складають з окремих деталей.

Комплекс — це пристрій, що складається з двох або більше окремих виробів, не з'єднаних на виробництві, які в подальшому підлягають складанню на місці експлуатації. Ці частини пристрою призначені для виконання єдиного завдання.

Комплект — це додаткові, не з'єднані з основним виробом окремі елементи, які мають допоміжний характер і входять у перелік обов'язкового постачання виробником. Наприклад, це різноманітні перехідники, штепсельні з'єднання з кабелями, стабілізатори або інші перетворювачі, індикатори, блоки живлення, контрольно-налагоджувальні пристрої для експлуатації приладів та їх періодичної перевірки, запасні елементи.

Створенню технологічного процесу складання передують розробка *схеми ступенів складання та технологічної схеми складання*, які є підготовчим етапом у проектуванні всього технологічного процесу складання.

Структурну схему приладу добре ілюструє побудова *схеми ступенів складання виробу* (рис.1.1), отриманої на основі аналізу конструкторської документації: креслень, специфікації, комплектувальних відомостей і технічних умов. Виріб розчленовується на окремі компоненти складання — складальні одиниці та деталі. Залежно від складності ці елементи розміщують за ступенями схеми складання. На нижчому, або першому, ступені схеми розміщують найпростіші, первинні складальні елементи — деталі. Вище ставлять прості отримані складанням вузли — складальні одиниці першого ступеню складання, далі їх з'єднують у складніші структури — складальні одиниці другого ступеня складання і так далі, залежно від складності елемента, аж до останнього верхнього ступеня схеми, де розміщується останній складальний елемент — виріб. Чим складніший прилад, тим більше ступенів. Вона використовується як карта комплектування при складанні. Але вона не відбиває порядку складання, не показує з чого починати складання і в якій послідовності його вести. Для повного уявлення проходження процесу складання розробляється *технологічна схема складання*, яку створює технолог-складальник на початку проектування технологічного процесу складання. Така схема наочно показує з чого починати складання, які деталі і складальні одиниці і в якій послідовності подавати їх на складання.

Проектування технологічної схеми складання починається з вибору *базової* деталі, з якої починається процес загального складання. За неї приймають складну деталь на яку встановлюють всі інші деталі та вузли. Вона розташовується з лівої сторони схеми. Складання показується рухом зліз на право: від базової деталі (складальної одиниці) до готового виробу (рис. 1.2).

Знизу на лінію загального складання подаються складальні одиниці складання, що показуються лініями складання складальних одиниць. Складання складальної одиниці також починається з базової деталі і для відмінності від загального складання в основному розташовується вертикально.

При розташування базової деталі зліва, окремі стандартні деталі та матеріали (клей, лак, мастило та інше) подаються на лінію складання зверху, а складальні одиниці та нестандартні (спеціальні) деталі знизу. Зверху, також, за допомогою окремих полиць доводять особливі види складальних робіт та

контролю, окрім простих робіт по встановленню та з'єднанню елементів виробу.

Згідно з обраним порядком подачі деталей та складальних одиниць на лінію складання за технологічною схемою складання призначають операції в технологічному процесі та проектують сам технологічний процес з розподіленням його на складальні операції та переходи.

Операцією технологічного процесу складання називають завершену частину цього процесу, що виконується над однією або сукупністю складальних одиниць, що одночасно складаються, одним робітником або групою робітників безперервно на одному робочому місці. Операції в технологічному процесі складання можна називати *скорочено*, залежно від:

- а) типу обладнання (наприклад: запресовочна, намотувальна);
- б) типу процесу (наприклад: регулювальна, зварювальна);
- в) операції, що виконуються складальником, слюсарем, монтажником мають назву: слюсарна, складальна, монтажна тощо.

Операції в технологічному процесі також можна називати *повно*. Наприклад: «Запресування кулькових підшипників на вісь диференціалу», «Склеювання прокладок з накладкою та тому подібне».

Нумерують операції арабськими цифрами по порядку або з проміжками.

Перехід складального процесу визначається як закінчена частина операції і виконується:

- а) над окремим методом з'єднання;
- б) при використанні одних і тих самих пристосувань та інструменту;
- в) при незмінному методі виконання робіт.

Приклади:

1. Напресувати на вал поз. ... черв'як поз. ...
2. Встановити на вал поз. ... зубчасте колесо поз. ...
3. Змонтувати вивід ... на пелюстці ... згідно ескізу, паяти припоєм ПОС-40 з флюсом каніфоль, тощо.

Нумеруються переходи арабськими літерами по порядку.

Розрізняють три основних типи виробництва:

1. Одиничне.
2. Серійне (дрібносерійне, серійне, багатосерійне)
3. Масове.

Ступінь розробки технологічного процесу складання в різних видах (типах) виробництва неоднакова.

У дрібносерійному виробництві розробку технологічного процесу складання закінчують створенням плану операції – маршрутною технологією.

У серійному та масовому виробництві розробляється докладна операційна технологія.

У лабораторній роботі необхідно врахувати, що проводиться серійне складання приладу, яке виконується в два етапи:

- а) складання складальних одиниць;
- б) загальне складання виробу.

Порядок проведення роботи

1. Ознайомитись з методикою проведення роботи.
2. Ознайомитись з призначенням та конструкцією приладу, що виданий в якості завдання.
3. Розібрати прилад або деякі його вузли.
4. Визначити складальні одиниці приладу та скласти схему ступенів складання.
5. Визначити базові деталі, з яких починається складання виробу та окремих складальних одиниць.
6. Побудувати схему структурного складу приладу та технологічну схему складання з зазначенням найменування всіх деталей та їх кількості.
7. Призначити операції, їх кількість та порядок (маршрутна технологія).
8. Спроекувати операційний технологічний процес складання.
9. Зібрати прилад. Здати виріб та інструменти керівникові роботи та прибрати своє робоче місце.

Вимоги до звіту

У звіті по роботі скласти технологічну документацію з технології складання. При цьому заповнюються наступні технологічні документи за ГОСТ 3.1105-74:

1. Карта комплектування, форма 1.
2. Маршрутна карта, форма 2.
3. Операційна карта, форма 3.

Контрольні питання

1. Що таке складання?
2. Що таке виріб, деталь, складальна одиниця?
3. Що таке базова деталь?
4. Що таке технологічний процес складання, операція, перехід?
5. Класифікація складальних операцій.

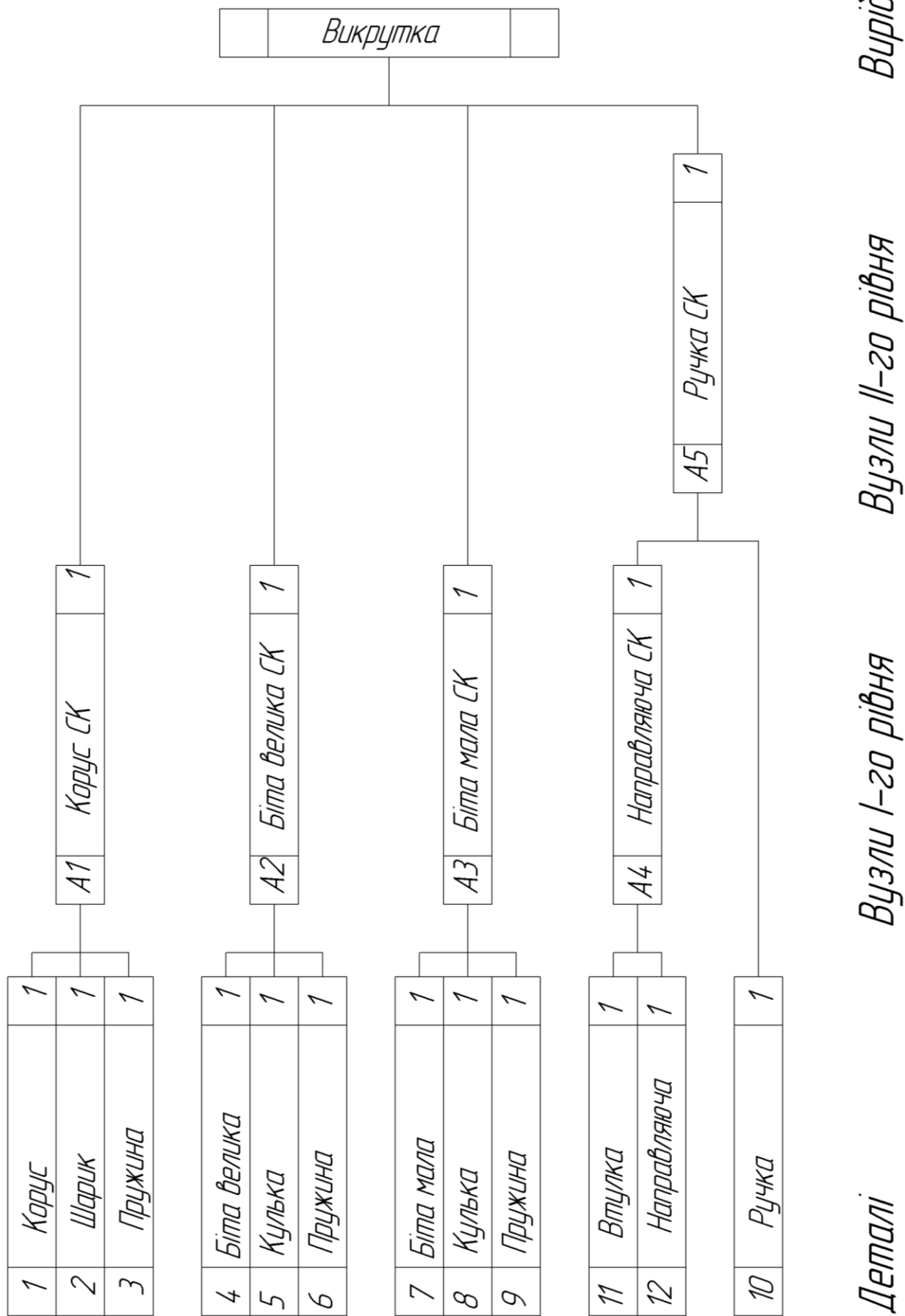


Рис. 1.1. Схема ступенів складання приладу

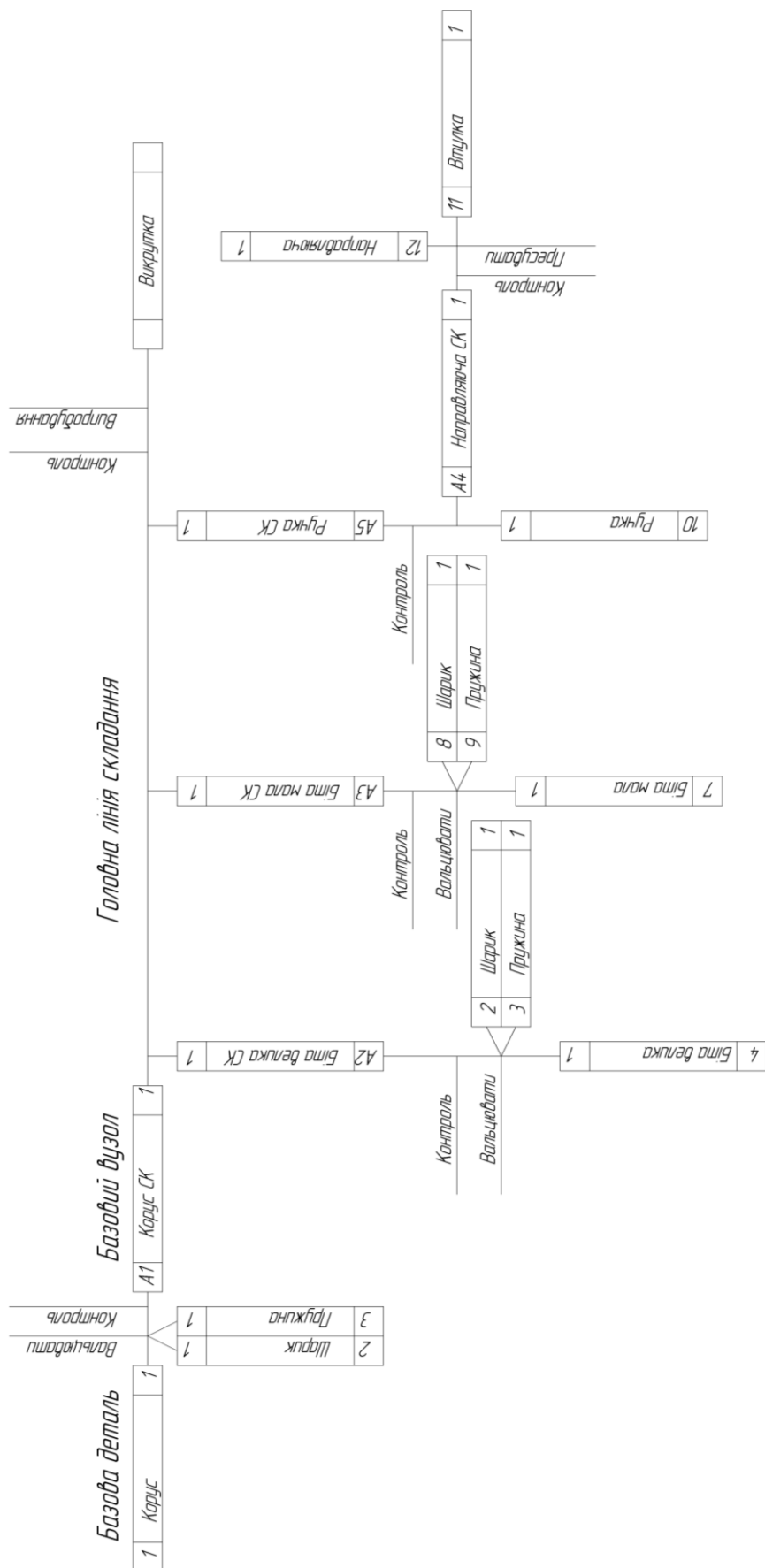


Рис. 1.2. Технологічна схема складання

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2

Динамічне балансування в приладобудуванні

Мета роботи: ознайомитись з технологічним процесом балансування в приладобудуванні та з електронною машиною для балансування.

Задачі роботи: отримати практичні навички при виконанні технологічного процесу динамічного балансування, вивчити прийоми виконання динамічного балансування та провести динамічне балансування ротору гіромотору.

Теоретичні положення

У конструкціях приладів часто зустрічається елементи, які обертаються під час роботи зі значними швидкостями, такі, як ротори, шестерні, несучі диски тощо, а також чутливі вузли, що повільно повертаються, такі, як провідникові рамки гальванометричних приладів, несучі рамкові підвіси, гірокільця карданного підвісу гіроскопічних систем тощо. На точність роботи всіх цих елементів, які обертаються чи повертаються, істотно впливає їх невірноваженість (незбалансованість), яка призводить до виникнення шкідливих збурюючих зусиль.

Елемент приладу, в якому при обертанні виникають збурюючі сили, називається невірноваженим, а величина таких сил характеризує його дисбаланс.

Причиною невірноваження є:

1. Різна щільність матеріалу тіла оберту.
2. Геометрична неточність поверхонь після виготовлення.
3. Неспіввісність опорних та робочих поверхонь.
4. Не точність складання виробу внаслідок зміщень його елементів.

Згідно з ГОСТ 19534-80 розрізняють три основні види невірноваженості як різні зміщення головної центральної осі інерції тіла (ГЦВІ) відносно осі обертання (ВО). Схематично вони зображені на рис. 2.1.

Статична невірноваженість (рис. 2.1, а) є тоді, коли ГЦВІ зміщена відносно ВО на величину ρ , але паралельна їй. Центр мас – центр ваги (ЦВ) тіла – завжди розміщений на ГЦВІ. У разі обертання такого ротора виникає відцентрова інерційна сила P_{in} . Основні характеристики такої невірноваженості

$$\rho \neq 0; \alpha = 0; P_{in} \neq 0; M_{in} = 0,$$

де ρ — величина зміщення ЦВ з ВО; α – кут нахилу ГЦВІ відносно ВО; P_{in} – інерційна сила; M_{in} – інерційний момент від відцентрових сил.

Моментна невірноваженість (рис. 2.1, б) є тоді, коли ГЦВІ не збігаються з ВО внаслідок нахилу на кут α , але ЦВ розміщений на осі

обертання. Основні характеристики такої невірноваженості:

$$\rho = 0; \alpha \neq 0; P_{ин} = 0; M_{ин} \neq 0.$$

Динамічна невірноваженість (рис. 2.1, в) є тоді, коли ГЦВІ розташована під кутом α до ВО, а ЦВ зміщено відносно осі обертання на величину ρ . Основні характеристики динамічної невірноваженості:

$$\rho \neq 0; \alpha \neq 0; P_{ин} \neq 0; M_{ин} \neq 0.$$

Останній випадок є загальним і основним різновидом дисбалансу в практиці.

Інерційна відцентрова сила $P_{ин}$ від зміщення центра мас на величину ρ є:

$$P_{ин} = m \Omega^2 \rho,$$

де m – маса ротора, Ω – кутова частота обертання ротора, рад/с.

Динамічне балансування представляє собою процес, що включає комплекс технологічних операцій по визначенню та встановленню невірноважених деталей та вузлів приладу, що обертаються, відносно їх вісі обертуту.

Усі ці причини обумовлюють необхідність врівноваження тіл обертуту після попередньої обробки та після складання. На першому етапі здійснюється статичне, а на другому – динамічне врівноваження. При статичному невірноваженні центр ваги ЦВ тіла обертуту зміщено відносно вісі обертуту, тобто головна центральна вісь інерції (ГЦВІ) не співпадає з віссю обертуту.

Статичне балансування виконується наступним чином: на роторі, який повільно самостійно повертається і встановлений своїми осями на гострі ножі балансувального пристосування на ножах під дією статичного моменту (рис. 2.2).

Статичне врівноваження проводять з метою зменшення робіт по динамічному балансуванню

Динамічна невірноваженість є наслідком відцентрового моменту і може бути знайдена тільки при обертанні та

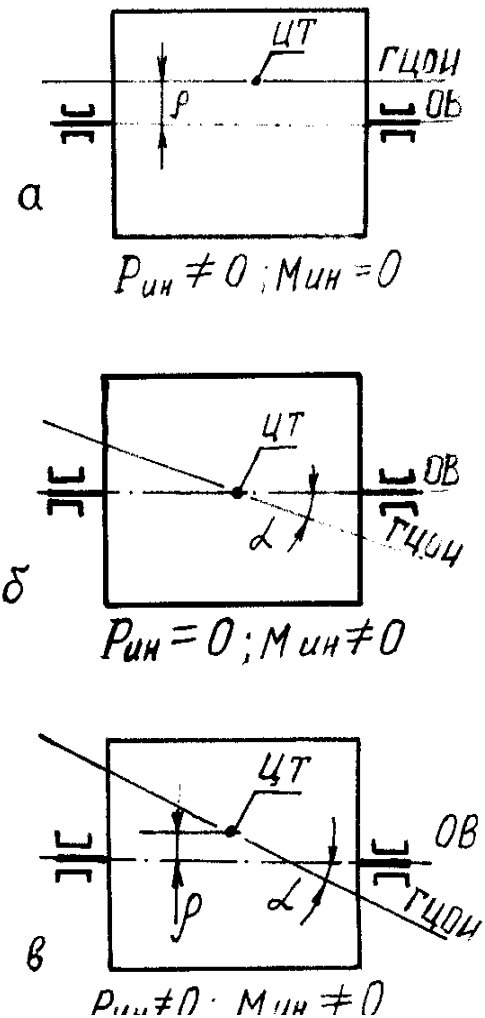


Рис. 2.1. Схеми різних видів незрівноваженості ротора: а – статична; б – моментна; в – динамічна

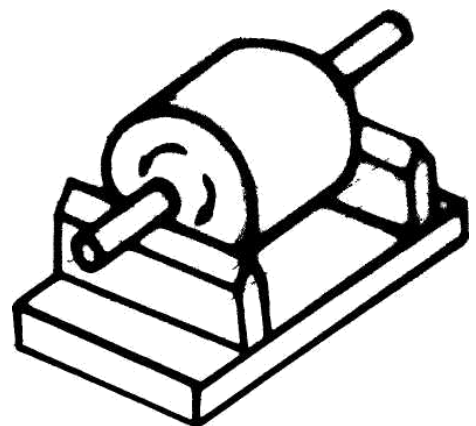


Рис. 2. 2. Загальний вигляд пристосування для статичного балансувального

скомпенсована корекцією ваги в двох площинах, що створюють компенсуючи пару сил. На рис. 2.3. маси m_H та m_y статично врівноваженого тіла однакові та розташовані на одному радіусі діаметрально протилежних точках площини А та В. Центр тяжіння S співпадає з конструктивної віссю обертання. Однак при обертанні виникає некомпенсована пара відцентрованих сил F_1 та F_2 , що викликають динамічну неврівноваженість. Пара сил прагне повернути вісь 0-0 на деякий кут довкола його центру тяжіння.

Відцентровану силу визначають за формулою

$$F = w^2 r m,$$

де w – кутова швидкість обертання деталі; r – радіус кола, на якому знаходиться неврівноважена маса m .

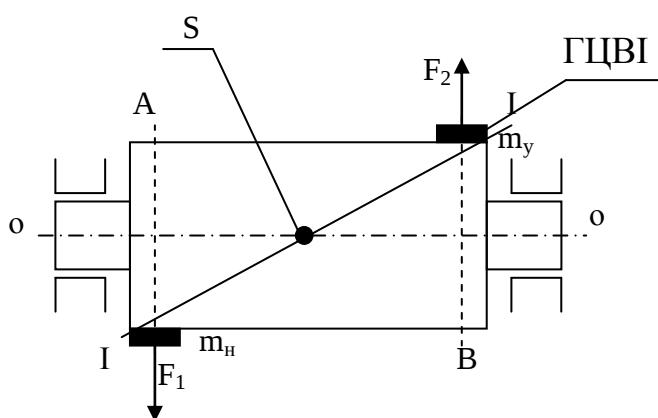


Рис. 2.3. Положення центру ваги S при динамічному врівноваженні

Точнішими є електронні балансувальні машини, оснащені високочутливими електронними блоками та датчиками, які працюють на великих швидкостях обертання ротора з частотою 15000...20000 об/хв, що значно збільшує їх чутливість до інерційних сил.

На рис. 2.4 показано спрощену блок-схему такої машини. Ротор 6, який балансується встановлюють на чутливі платформи-каретки, коливання яких уловлюється індукційними датчиками 1, що працюють по чергову. Підсилений у блоці 2 сигнал подається через модулятори 3 і 4 на пластини кругової розгортки 7 електронно-променевої трубки, причому на одну з пар сигнал надходить із зсувом на $\pi/2$ через фазозсувний блок 5 затримки. На екрані трубки сигнал розгортається в коло, радіус R якого пропорційний до дебалансу. Важке місце визначається координатним методом. Для цього на ротор темною фарбою наносять смугу, яка під час обертання ротора не відбиває промінь світла від джерела світла 8. Це вловлюється фотоелементом 9, сигнал з якого через підсилювач 10 надходить до керуючої сітки електронно-променевої трубки у вигляді зменшення запираючої напруги і на екрані висвічується світна точка 11 на відстані R від центра. Ця точка показує положення темної позначки на екрані. У машинах важке місце звичайно налагоджують на півосі А координат. Кут φ між віссю (ординатою) та

[illegible]

Рис. 2.4. Блок-схема електронної балансувальної машини

Конструктивне оформлення машини

Машина (рис. 2.4) виконана у вигляді столу 1 з правосторонньою тумбою. В тумбі розташовано електронний блок 2, під яким знаходяться два ящики 3, що висуваються. Над тумбою на поверхні столу на кронштейні 4, який обертається, розташовано показчик дисбалансу 5. На лівій половині столу розташована підвіска 6, що представляє собою литу плиту підвішену на амортизаторах. На плиті за допомогою гайок закріплено кронштейни 8, що мають можливість пересуватись вздовж плити для встановлення на розмір ротора, який балансується. На кронштейнах 8 закріплено датчики вібрації. На кільцевих пружинах за допомогою гвинтів призми встановлюється ротор. Призми зв'язані з датчиками вібрації штоками. Штифти слугують для обмеження пересування призми та для запобігання падіння ротору при поломці пружин.

У центрі плити між кронштейнами на пустотілому штоку у цанговому затискачі закріплено кронштейн 9. На кронштейні у цангових затискачах за допомогою гайок закріплено штоки з фотоголівками під кутом 90° один до одного. Шток з кронштейном може переміщуватись по висоті, а фотоголівки вздовж осі штоків для настроювання на розмір ротора.

Зліва від підвіски розташовані клеми 7 для підключення ротора. Під плитою столу знаходиться реле керування живленням ротора. Підвіска закривається зверху ковпаком 10, що відкидається, для захисту від пилу.

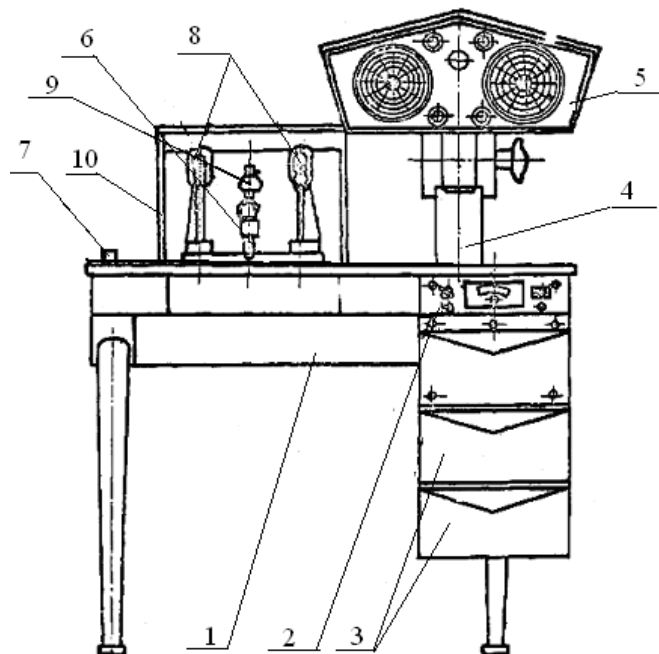


Рис. 2.5. Зовнішній вигляд машини для балансування

Технічний опис та інструкція з експлуатації електронної машини, для балансування (ЕМБ)

Призначення: електрона балансувальна машина призначена для візуального визначення величини та місця динамічного неврівноваження роторів гіромоторів при їх балансуванні у цехових та лабораторних умовах. Принцип дії ЕМБ засновано (рис. 2.6) на властивості керуемого фазочутливого випрямляча (фазовий детектор) виділяти з несинусоїдального вхідного сигналу постійної напруги сигнал, що є пропорційним активній компоненті вектора гармонії, з частотою, яка дорівнює частоті опорної напруги.

Ротор, що балансується, з нанесеною на нього смугою на дузі 180° встановлюється на призми підвісу. З фотоголівок знімають два опорних сигнали зі зсувом 90° та подаються на посилювач. Посилювач опорного сигналу призначено для посилення та формування опорних сигналів у правильні прямокутні імпульси напруги. З посилювача імпульси поступають на фазові детектори та блок автоматики. Блок автоматики містить частотомір та реле часу. Частотомір призначено для візуального контролю швидкості обертут ротора, що балансується та правильності роботи опорного посилювача.

Реле частоти призначено для підтримання швидкості обертут ротора у заданих межах та для сигналізації про те, що ротор набрав необхідну швидкість для виміру дебалансу.

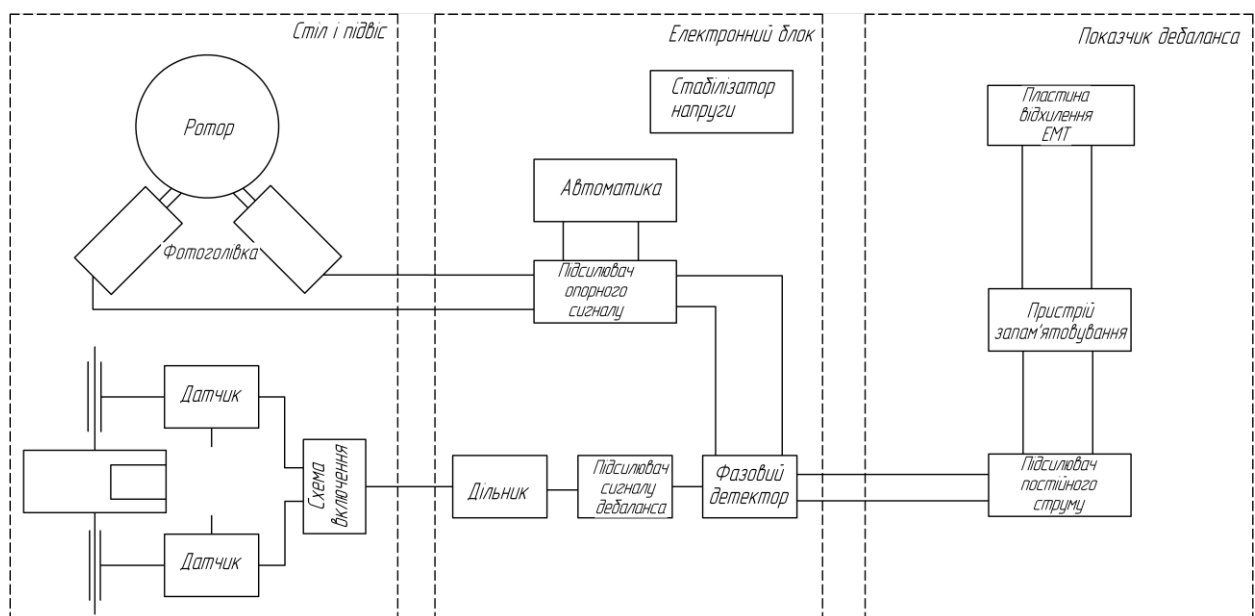


Рис. 2.6. Функціональна схема електронної машини, для балансування (ЕМБ)

Датчики вібрації, що пов'язані з опорами ротору, призначені для перетворення механічних коливань опор в електричні сигнали. З датчиків вібрації сигнали потрапляють на схему електричного включення впливу

площин балансування. Зі схеми включення взаємного впливу сигнали потрапляють на дільник, за допомогою якого відбувається зміна чутливості машини. З дільника сигнали поступають на вхід посилювача сигналу дисбалансу. Посилювач посилює сигнал дебалансування до величини, необхідної для нормальної роботи фазових детекторів.

Фазові детектори призначені для відокремлення постійних напруг, що пропорційні складовим сигналу дебалансування по двом взаємоперпендикулярним осям. Постійні складові напруги потрапляють на вхід посилювача постійного струму. Вихід посилювача постійного струму, крізь пристрій запам'ятовування пов'язано з відхиляючими пластинами електронно-променевих трубок. Посилювач постійного струму призначений для посилення напруг, пропорційних складових дебалансування, до величин, які необхідні для відхилення променя електронно-променевих трубок. Пристрій запам'ятовування призначений для запам'ятовування сигналу дебалансування на час балансування ротора. На екранах електронно-променевих трубок візуально визначається величина та місце динамічної невірноваженості ротору, який балансується, по двох площинах балансування.

Для одночасного виміру величини дебалансування у двох площинах в машині є два однакових тракти перетворення сигналу дебалансування, тобто дві схеми виводу, два дільника, два посилювача сигналу дебалансування, чотири фазових детектора та посилювача постійного струму (по два у кожному тракті відповідно до горизонтальних та вертикальних складових) та дві електронно-променеві трубки.

Послідовність технологічного процесу балансування роторів

1. Підготувати ротор до динамічного балансування;
2. В залежності від конструкції виробу покласти ротор на своїх робочих підшипниках в рамки балансування або в корпусі згідно технологічного процесу складання даного виробу;
3. Відрегулювати механічну систему підвісу та виставити розміри у відповідності з геометричними розмірами приладу, що балансується;
4. Забезпечити максимальну жорсткість пружних опор та кріплень механічної системи підвісу;
5. Встановити на механічну систему підвісу машини для балансування еталонний ротор (прилад) та визначити ціну поділки машини;
6. Встановити ротор (прилад) на механічну систему підвісу машини;
7. З'єднати провідники статора з відповідними клемами машини та подати напругу живлення у відповідності до ТУ на прилад;
8. Довести швидкість обертання ротору до прийнятної швидкості та визначити за шкалою індикатора дебалансу значення та місце невірноваженості;

Примітка: переміщуючи корегуючий вантаж у площині балансування методом колового обходу визначити “важке” місце, яке діаметрально протилежне положенню корегуючого вантажу.

9. Після визначення величини та місця дебалансу, якщо величина дебалансу не відповідає вимогам технічної документації на прилад, встановити ротор, що балансується на спеціальній підставці на столі свердлильного верстата та зняття необхідну кількість матеріалу ротора у “важкому” місці шляхом висвердлювання у площині балансування ротору.

Примітка: При висвердлюванні керуватись наступною формулою

$$h = \frac{M}{3,14 r \gamma i},$$

де M – маса вантажу, що корегує, г; h – глибина отвору, см; γ – щільність матеріалу ротора, г/см³; i – кількість отворів; r – радіус свердла, см.

10. Закінчивши балансування ротора по першій площині балансування провести балансування ротора по другій площині балансування.

Примітка: за наявності великого вихідного дебалансу ротора в обох площинах необхідно почергово балансувати їх у кожній з площин з поступовим зменшенням дебалансу в кожній з площин. Починати балансування треба у площині з більшою величиною дебалансу.

11. Після балансування ротора по другій площині, перевірити величину залишкового дебалансу в обох площинах балансування.

Примітка:

1. Якщо при цьому дебаланс ротора не буде перевищувати величини дебалансу, що оговорений в технічних вимогах на складання виробу, то балансування ротора можна вважати закінченим.
 2. В випадку, якщо дебаланс ротора перевищує вказану величину, то ротор потрібно де балансувати, виконати п.п. 8 – 13.
 3. Якщо після повторного балансування ротора його дебаланс не зменшується, необхідно визначити причину не балансування встановити її, керуючись технічними вимогами на складання
12. Максимальні величини дебалансу вписати у протокол.

Вимоги до звіту

1. Протокол оформлюється згідно з науково-технічною документацією.
2. У протоколі повинні бути:
 - мета роботи;
 - скорочені теоретичні відомості
 - блок-схема машини для балансування;
 - таблиця попереднього статичного балансування зразків;
3. Висновки з роботи.

Контрольні питання

1. Сутність статичного та динамічного балансування.
2. Блок-схема балансуєчої машини та призначення основних вузлів.
3. Пристрій балансуєчої машини.
4. Дебаланс та його види.
5. Послідовність технологічного процесу балансування роторів.

Таблиця 2.1.

Зразок	1	2	3	4	5
Величина дебалансу, г.					

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3

Розрахунок розмірних ланцюгів

Мета роботи: ознайомити студентів з практикою розрахунків розмірних ланцюгів та показати методи розрахунку, що використовуються у приладобудуванні.

Задачі роботи: розрахувати декілька розмірних ланцюгів, розв'язавши пряму та обернену задачі різними методами за вказівками викладача.

Опис роботи

Розмірним ланцюгом називають сукупність розташованих по замкненому контуру у визначеній послідовності розмірів, які координують взаємне розташування поверхонь або осей однієї або декількох деталей або складальних одиниць.

Розміри, які складають розмірний ланцюг, називають складовими ланками. Ланка розмірного ланцюга, яку отримують останньою при обробці деталі або в процесі складання виробу має назву замикаючої ланки. Збільшуючими є ланки, які при своєму збільшенні збільшують замикаючу ланку. Зменшуючи ланки при своїм збільшенні зменшують замикаючу ланку.

Розрахувати або розв'язати розмірний ланцюг – значить знайти величину замикаючої ланки та її допустимі відхилення. Для цього без

масштабу, але з дотриманням пропорцій будують схему розмірів, починаючи з вертикальних базових ліній, які обмежують область розповсюдження розмірного ланцюга (рис. 3.1).

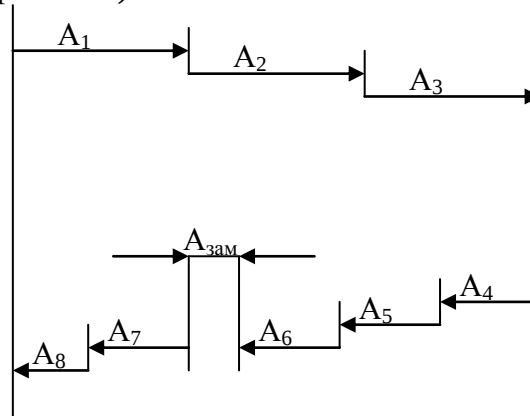


Рис. 3.1. Схема розмірного ланцюга

(→ - ланка, що збільшує; ← - ланка, що зменшує; $A_{зам}$ - замикаю ланка)

Номінальне значення замикаючої ланки знаходять різницею сум ланок, що збільшують або зменшують

$$A_{зам} = \sum_{i=1}^n A_{ізб} - \sum_{j=1}^p A_{jзм} ,$$

де n та p кількість ланок, що збільшують або зменшують відповідно.

При знаходженні допуску на замикаючу ланку можуть зустрітися дві задачі: пряма та обернена.

Пряма задача: за заданими відомими допусками складових ланок знайти допуск замикаючої ланки.

Обернена задача: за заданою відомою допусками замикаючої ланки знайти допуски на складові ланки розмірного ланцюга.

Метод повної взаємозамінності

Даний метод передбачає забезпечення необхідної точності складання за будь-яких можливих гранично допустимих відхилень розмірів деталей, які входять до єдиного розмірного ланцюга.

У ході організації складання цей метод є найпростішим, він не потребує додаткових налагоджувальних та регулювальних робіт і зводиться до звичайного стикування та послідовного з'єднання деталей даної складальної одиниці або виробу в цілому. Метод не забезпечує високої точності складання.

Оскільки гранично можливі похибки розмірів виготовлення деталей ΔA_i за умови придатності продукції дорівнюють відповідним межам допусків у їх абсолютному значенні, тобто $\Delta A_1 = |\delta_1|$, $\Delta A_2 = |\delta_2|$, ..., $\Delta A_{m-1} = |\delta_{m-1}|$, при цьому допуск замикаючої ланки дорівнює арифметичній сумі абсолютних значень допуску складових ланок

$$\delta_{зам} = \sum_{i=1}^{m-1} |\delta_i|, \quad (3.1)$$

де m – кількість ланок у розмірному ланцюгу; $|\delta_i|$ – допуски складових ланок; $\delta_{зам}$ – допуск замикаючої ланки.

Визначати точність складальних елементів зручніше починати з розгляду прямої задачі.

Пряма задача

Існують три методи розв'язання цієї задачі.

Координатний метод:

Знаходимо координату середини кожного допуску зі своїми знаками (+) або (–) згідно посадки допуску відносно базової основної лінії 0-0:

$$K = \frac{(BB) + (HB)}{2} \quad (3.2)$$

де BB та HB – верхнє та нижнє відхилення кожного допуску розмірної ланки зі своїм знаком (+) або (–). При цьому BB або HB можуть дорівнювати нулю.

Знаходимо допуск на замикаючу ланку $\delta_{зам}$ за формулою (3.1).

$$\delta_{зам} = \sum_{i=1}^{m-1} |\delta_i|.$$

Визначимо координату середини допуску $K_{зам}$ замикаючої ланки зі знаком

$$K_{зам} = \sum_{i=1}^n K_{ізб} - \sum_{j=1}^p K_{j_{зм}}, \quad (3.3)$$

де $K_{ізб}$ та $K_{j_{зм}}$ – координати середини допусків ланок, що збільшують та зменшують, зі своїми знаками (3.3).

Визначимо необхідні відхилення допуску замикаючої ланки

$$\begin{aligned} (BB)_{зам} &= K_{зам} + 0.5 * |\delta_{зам}| \\ (HB)_{зам} &= K_{зам} - 0.5 * |\delta_{зам}| \end{aligned}$$

Приклад:

Завдання:

Ланки, які збільшують			Ланки, які зменшують		
A_i	δ_i	K_i	A_j	δ_j	K_j
20	± 0.03	0	15	- 0.05	- 0.025
10	- 0.1	- 0.05	10	+ 0.05	+ 0.025

Розв'язок:

$$A_{зам} = (20 + 10) - (15 + 10) = 5$$

$$\delta_{зам} = 0,06 + 0,1 + 0,05 + 0,05 = 0,26$$

$$K_{зам} = (0-0,05) - (-0,025+0,025) = -0,05$$

$$(BB)_{зам} = -0,05+0,5*0,26 = +0,08$$

$$(HB)_{зам} = -0,05-0,5*0,26 = -0,18$$

Таким чином одержимо остаточну відповідь:

Замикаюча ланка $5^{+0,08}_{-0,18}$ мм.

Екстремальний метод з врахуванням номіналів:

На виробництві він має назву метод “максимуму - мінімуму”.

Максимальне та мінімальне значення замикаючої ланки визначається за формулами

$$\begin{aligned} A_{зам}^{max} &= \sum_{i=1}^n A_{i3б}^{max} - \sum_{j=1}^p A_{j3м}^{min}, \\ A_{зам}^{min} &= \sum_{i=1}^n A_{i3б}^{min} - \sum_{j=1}^p A_{j3м}^{max}, \end{aligned} \quad (3.4)$$

де суми максимальних та мінімальних величин ланок, які збільшують або зменшують, беруть з урахуванням їх номінальних значень.

Верхнє та нижнє відхилення допуску замикаючої ланки

$$\begin{aligned} (BB)_{зам} &= A_{зам}^{max} - A_{зам}, \\ (HB)_{зам} &= A_{зам}^{min} - A_{зам}, \end{aligned} \quad (3.5)$$

Приклад:

Вирішимо розмірний ланцюг екстремальним методом з урахуванням номіналів, користуючись даними попереднього прикладу.

Номінальне значення

$$A_{зам} = (20 + 10) - (15 + 10) = 5 \text{ мм.}$$

За (3.4) максимальне та мінімальне значення

$$A_{зам}^{max} = (20.03 + 10) - (14.95 + 10) = 5,08;$$

$$A_{зам}^{min} = (19.97 + 9.9) - (15 + 10.05) = 4,82.$$

За (3.5) граничні відхилення

$$(BB)_{зам} = 5.08 - 5 = +0,08 ;$$

$$(HB)_{зам} = 4.82 - 5 = -0,18.$$

Таким чином, замикаюча ланка $5^{+0,08}_{-0,18}$ мм.

Метод хоча і простіший за попередній, але загромождений розрахунками та великими дробовими цифрами.

Метод екстремальний без номінальний:

Цей метод найпростіший і рекомендується виробництву. У разі застосування методу визначають $(BB)_{зам}$ і $(HB)_{зам}$:

$$\begin{aligned}
 (BB)_{зам} &= \sum_{i=1}^n (BB_i)_{зб} - \sum_{j=1}^p (HB_j)_{зм} \\
 (HB)_{зам} &= \sum_{i=1}^n (HB_i)_{зб} - \sum_{j=1}^p (BB_j)_{зм} ,
 \end{aligned}
 \tag{3.8}$$

де (ВВ), (НВ) – верхнє і нижнє відхилення допусків складових ланок, які взято зі своїми знаками. Очевидно, що даний метод найтехнологічніший і простий у застосуванні.

Визначимо кінцеву відповідь у цифровому виді:

$$A_{зам} \begin{matrix} (BB)_{зам} \\ (HB)_{зам} \end{matrix} \text{ мм.}$$

Приклад:

Розв'яжемо попередній приклад за допомогою безномінального екстремального методу. Визначаємо

$$(BB)_{зам} = (+0.03 + 0) - (-0.05 + 0) = +0.08 ;$$

$$(HB)_{зам} = (-0.03 - 0.1) - (0 + 0.05) = -0.18.$$

Таким чином, одразу знайдемо $A_{зам} : 5_{-0.18}^{+0.08} \text{ мм.}$

Всі три методи повинні мати однакові відповіді.

Обернена задача

У цьому разі виходячи з умов роботи виробу технічними умовами задають точність замикаючої ланки розмірного ланцюга, тобто потрібну кінцеву точність складання. Слід визначати допуски на складові ланки, що забезпечують цю точність вихідного параметра, методом повної взаємозамінності простим стикуванням деталей. Це завдання на виробництві розв'язують за допомогою двох методів.

Метод рівності допусків

У простих розмірних ланцюгах із співмірними розмірами (тобто приблизно однаковими) допуски складових ланок беруть однаковими і прирівнюються до середнього допуску: $\delta_1 = \delta_2 = \dots = \delta_{cp}$. Тоді згідно з (3.1)

$$\delta_{cp} = \delta_{зам} / m - 1$$

Але в більшості випадків цей метод мало застосовується через несумірність розмірів, оскільки це приводить до значного розбігу квалітетів точності елементів розмірного ланцюга, що недопустимо.

Метод рівності квалітетів точності

Цей метод дає змогу оцінити точність складових елементів з урахуванням їх несумірності з використанням стандартних таблиць допусків

квалітетів точності. Згідно з ГОСТ 25346-82 будь-який допуск для розмірів від 1 до 500 мм визначається виразом

$$\delta = ai,$$

де a - число одиниць допуску, встановлене в кожному квалітеті точності (тобто a встановлює зв'язок допуску з квалітетом); i - величина одиниці поля допуску, що пов'язує допуск з номінальними розмірами ланок, в мкм:

$$i = 0.45\sqrt[3]{A} + 0.001A;$$

A – номінальний розмір, мм.

Виходячи з умови рівності квалітетів у всіх ланках розмірного ланцюга маємо $a_1 = a_2 = \dots = a_{m-1} = a_{cp}$. Тоді на основі 3.1 одержимо рівність:

$$\delta_{зам} = a_{cp} \sum_{j=1}^{m-1} i_j.$$

Орієнтоване число одиниць для розмірного ланцюга

$$a_{cp} = \frac{\delta_{зам}}{\sum_{j=1}^{m-1} i_j} = \frac{\delta_{зам} \cdot 10^3}{\sum_{j=1}^{m-1} (0.45\sqrt[3]{A_j} + 0.01A_j)}. \quad (3.6)$$

Одержаний результат коректують за табличним значенням a_T (табл. 3.1.), беручи найближче

Таблиця 3.1.

Квалітет	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT14
Число одиниць	7	10	16	25	40	64	100	160	350

Далі з таблиці допусків за одержаним квалітетом точності знаходять допуски на складові ланки і згідно з посадкою беруть знаки їх відхилень (+) або (–). Унаслідок коректування числа одиниць ($a_{cp} \neq a_T$) виникає розходження між допуском замикаючої ланки та сумою допусків інших ланок, тобто порушується рівність (3.1). Тому одну із складових ланок вважають компенсуючою і допуск на неї визначають за виразом

$$\delta_k = \delta_{зам} - \sum_{i=1}^{m-2} |\delta_i|. \quad (3.7)$$

За компенсуючу ланку беруть той розмір деталі, який можливо виготовити більш просто та економічно.

Верхнє та нижнє відхилення допуску компенсуючого розміру A_k визначають методом рівності допусків із рівняння зв'язку між координатами середин допусків замикаючої ланки і складових ланок (3.3)

$$K_k = \pm [K_{зам} - \left(\sum_{i=1}^n K_{i_{зб}} - \sum_{j=1}^m K_{j_{зм}} \right)],$$

(знак (+) беруть тоді, коли компенсуюча ланка A_k є збільшуючою, знак (–) тоді, коли вона зменшуюча).

Суми координат середин допусків складових ланок беруться без

урахування компенсатора. Його верхнє та нижнє відхилення допуску

$$\begin{aligned}(BB)_K &= K_K + 0,5\delta_K \\ (HB)_K &= K_K - 0,5\delta_K.\end{aligned}$$

Визначимо кінцеву відповідь компенсатора у цифровому вигляді:

$$A_K \rightarrow A_{K(HB)_K}^{(BB)_K} \text{ мм.}$$

Наприклад: $8_{-0,43}^{+0,18}$ мм.

Розв'язання методом екстремальним без номінальним

Таку відповідь можна отримати більш простим методом. Визначив необхідний квалітет точності в даному ланцюгу за допомогою (3.6) і таблиці 3.1. знаходять компенсуючу ланку через вираз (3.7).

Тоді, якщо компенсатор є збільшуючи ланка, то маємо:

$$\begin{aligned}(BB)_{KЗБ} &= ((BB)_{Зам} - (\sum_{i=1}^{n-1} (BB_i)_{ЗБ} - \sum_{j=1}^p (HB_j)_{ЗМ})), \\ (HB)_{KЗБ} &= ((HB)_{Зам} - (\sum_{i=1}^{n-1} (HB_i)_{ЗБ} - \sum_{j=1}^p (BB_j)_{ЗМ})).\end{aligned}$$

Якщо компенсатор - зменшуюча ланка, то маємо:

$$\begin{aligned}(BB)_{KЗМ} &= -((HB)_{Зам} - (\sum_{i=1}^n (HB_i)_{ЗБ} - \sum_{j=1}^{p-1} (BB_j)_{ЗМ})), \\ (HB)_{KЗМ} &= -((BB)_{Зам} - (\sum_{i=1}^n (BB_i)_{ЗБ} - \sum_{j=1}^{p-1} (HB_j)_{ЗМ})).\end{aligned}$$

Визначимо відповідь значення компенсатора в цифровому виді, вона повинна відповідати попередній:

$$A_K \rightarrow A_{K(HB)_K}^{(BB)_K} \text{ мм.}$$

Порядок проведення роботи

1. Ознайомитись з методикою проведення лабораторної роботи.
2. Ознайомитись з кресленнями, які видані для розрахунку розмірних ланцюгів.
3. Вибрати розміри заданого розмірного ланцюга, які впливають на величину замикаючої ланки.
4. Накреслити схему розмірного ланцюга.
5. Визначити номінальне значення замикаючої ланки.
6. Визначити допуск замикаючої ланки.
7. Встановити його граничні відхилення.
8. В випадку оберненої задачі знайти допуски складових ланок та допуск відхилення для замикаючої ланки.
9. Накреслити таблиці допусків до кожного розмірного ланцюга.

Вимоги до звіту

1. Креслення схеми розмірного ланцюга.
2. Розрахунки розмірного ланцюга.
3. Креслення таблиці допусків до кожного розмірного ланцюга.

Примітка: Використання прямої чи оберненої задачі та методи їх розв'язання задається викладачем, виходячи зі складності розмірного ланцюга.

Контрольні питання

1. В чому заключається різниця між повною та неповною взаємозамінністю?
2. Чому дорівнюють допуски замикаючої ланки при повній та неповній взаємозамінності?
3. Від чого залежить число одиниць допуску?
4. Чому дорівнюють коефіцієнти асиметрії та розсіювання для різних законів?
5. Як графічно виражаються різні закони розподілу похибки?
6. В яких випадках використовують пряму задачу, а в яких – обернену?
7. Від чого залежить допуск складової ланки при розв'язанні оберненої задачі?
8. Що таке розмірний ланцюг?
10. Які бувають розмірні ланцюги?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4

Намотування кільцевих опорів потенціометрів

Мета роботи: ознайомити студентів з методом намотування дровових опорів на кільцеві каркаси, з пристроєм та налагоджуванням намотувального верстатау, з методами контролю закономірності опорів намотування потенціометра.

Задача роботи: привити студентам практичні навички по самостійному проведенню розрахунків кільцевих потенціометрів та налагоджуванню намотувального верстатау.

Зміст роботи

1. Ознайомитись з даною методикою проведення роботи.
2. Вивчити намотувальний верстат СНТ-8 та порядок його налаштування.
3. Провести необхідні розрахунки параметрів потенціометра.
4. Налаштувати верстат та провести намотування потенціометра по даним

- розрахунку.
5. Зняти характеристику потенціометра.
 6. Зробити висновки про точність потенціометра.

Теоретичні положення

Технологічний процес одержання дротяних потенціометрів багато в чому аналогічний виготовленню обмоток електроелементів і складається з наступних етапів:

1. Виготовлення потрібної форми каркасу.
2. Підготовка проводу.
3. Намотування потенціометрів на машинах.
4. Закладення кінців проводу – струмопроводів.
5. Контроль характеристик і складання.

Основна вимога, з якої виходять при виготовленні кільцевих потенціометрів, заключається в забезпеченні необхідної точності і закономірності опору намотування на куті оберту повзуна струмознімача. Допуски, що визначають цю точність, в багатьох випадках виражаються малими величинами (0,1 – 0,2%) від величини загального опору обмотки. Опір обмотки визначають за формулою

$$R = \rho \frac{L}{S} = \rho \frac{4L}{\pi d^2}, \quad (4.1)$$

де ρ – питомий опір проводу, Ом·мм²/м; L – довжина проводу, м; S – площа поперечного перетину, мм²; d – діаметр проводу, мм.

Довжина проводу на тороїді визначається як

$$L = l_{\epsilon} W,$$

де l_{ϵ} – довжина одного витка, м; W – число витків в потенціометрі.

$$W = \frac{\pi d^2 R}{4 \rho l_a}.$$

Довжина одного витка може бути визначена згідно рис. 4.1 за формулою

$$l_{\epsilon} = 2h + 1,14b + \pi d_{op}, \quad (4.2)$$

де h – висота перетину каркасу, мм; b – товщина перетину каркасу, мм; d_{op} – діаметр проводу з ізоляцією, мм.

З наведених вище формул видно, якщо значення величин ρ , d , D_{cp} , h , b , t_n будуть змінними, будуть змінними і значення l_{ϵ} , W , R , відповідно, і закономірність опору намотування в залежності від кута оберту повзуна буде відрізнятися від розрахованої.

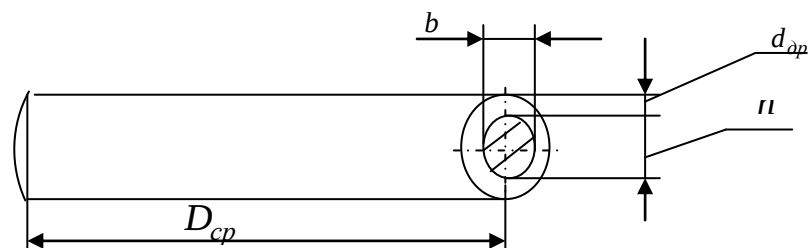


Рис. 4.1. Загальний вигляд проводу.

Крок намотування визначають за формулою:

$$t_n = \frac{\pi D}{W} = \rho \frac{4 D_{cp} l_g}{R d^2}, \quad (4.3)$$

де D_{cp} - середній діаметр каркасу, мм.

Виникають такі технологічні похибки як витягування проводу при намотуванні та нерівномірність укладання проводу на каркас. Через неодноразовості дії цих факторів при намотуванні та випадковості їх характеру визначити аналітичним шляхом величину і характер сумарної похибки опору обмотки потенціометра не є можливим. Тому аналіз точності виготовлення кільцевих потенціометрів проводиться шляхом зняття графічних характеристик дійсного опору в залежності від кута оберту повзуна. Намотаний потенціометр попередньо по торцю зачищають шкуркою до повного зняття ізоляції. Потім проводиться вимір загального дійсного опору R_o та шляхом зрівняння його з розрахованим R_p знаходиться загальна похибка

$$R_o - R_p = \Delta R_{заг}. \quad (4.4)$$

Проводиться зняття характеристики опору по окремим ділянкам оберту повзуна (через 45° або 90°).

Середній розрахований опір знаходиться за формулою:

$$R_p = \sum_{i=1}^k R_{ip}^{cp}; R_{ip}^{cp} = \frac{R_p}{K}, \quad (4.5)$$

де K – кількість ділянок на потенціометрі.

Шляхом порівняння дійсного опору ділянок зі середнім розрахованим R_{ip}^{cp} знаходиться проміжна помилка:

$$R_{io} - R_{ip} = \Delta R_i. \quad (4.6)$$

Будується графік характеристик опору по куту оберту повзуна (рис. 4.2) та графік характеристики проміжних помилок (рис. 4.3).

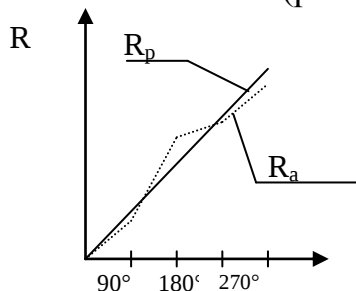


Рис. 4.2. Характеристики опору по куту оберту повзуна

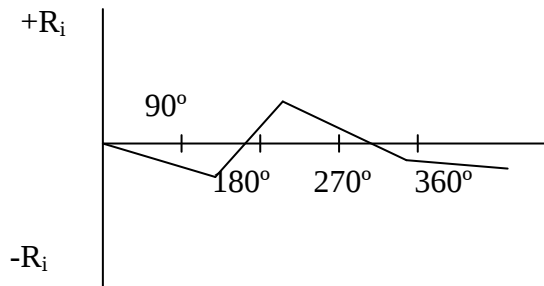


Рис. 4.3. Характеристики проміжних похибок

При побудові графіка характеристик потенціометра по осі абсцис відкладають кути оберту у градусах або номери діляниць, а по осі ординат у обраному масштабі – опори окремих діляниць і загальне, як дійсне, так і розраховане. Будується ломана крива $R_o = f(\alpha)$ або характеристика дійсного опору, що досліджується, і пряма $R_p = f(\alpha)$ як теоретична характеристика. На графіку характеристик проміжних похибок по ординаті вверх або вниз відкладають в обраному масштабі на точках оберту величини похибок та загальну похибку (рис. 4.3.).

Обладнання та інструмент

Верстат СНТ-8 призначений для кругового намотування тороїдів. Робота верстата напівавтоматична та поділяється на три етапи:

1-й етап: Встановлення каркаса на робочому столі.

Для встановлення виробу на столі необхідно:

- а) зняти зі шпулі замок;
- б) сумістити прорізь шпулі та човникової голівки;
- в) закріпити виріб на робочому столі;
- г) знову вставити замок у шпулю.

2-й етап: Заповнення шпулі проводом.

На стійці верстата закріплюється котушка з проводом. Він з котушки направляється через ролик в паз шпулі та засувом закріплюється у отворі замка. Шпуля за допомогою пружини віджимної зчіплюється з човником та, обертаючись з ним за годинниковою стрілкою, намотує на себе необхідну кількість дроту.

3-й етап: Перемотування проводу зі шпулі на каркас.

Вільний кінець проводу перекидається через зйомник та ролик, який вкладає, та закріплюється на тороїді. При обертанні човника проти годинникової стрілки він розчіплюється зі шпулею та проводить намотування дроту на тороїд. Одночасно за кожен оберт човника тороїд обертається на визначений кут подачі, якій можна регулювати, по ходу верстата.

Типова конструкція станка з замкнутим запасом проводу заснована на роботі кільцевої шпулі 5, яка розташована поруч з човником 4 і обертається навколо тієї ж вісі, що і човник (рис. 4.4). Човник 4 є зубчатим колесом з

внутрішнім або зовнішнім зчеплення; він має відкидний або знімаємий сектор 3 для введення човника в отвір тороїдальної серцевини 6. на обідку човника розміщені один або декілька направляючих роликів 2 і знімач 1. Човник 4 обертається в роликів направляючих.

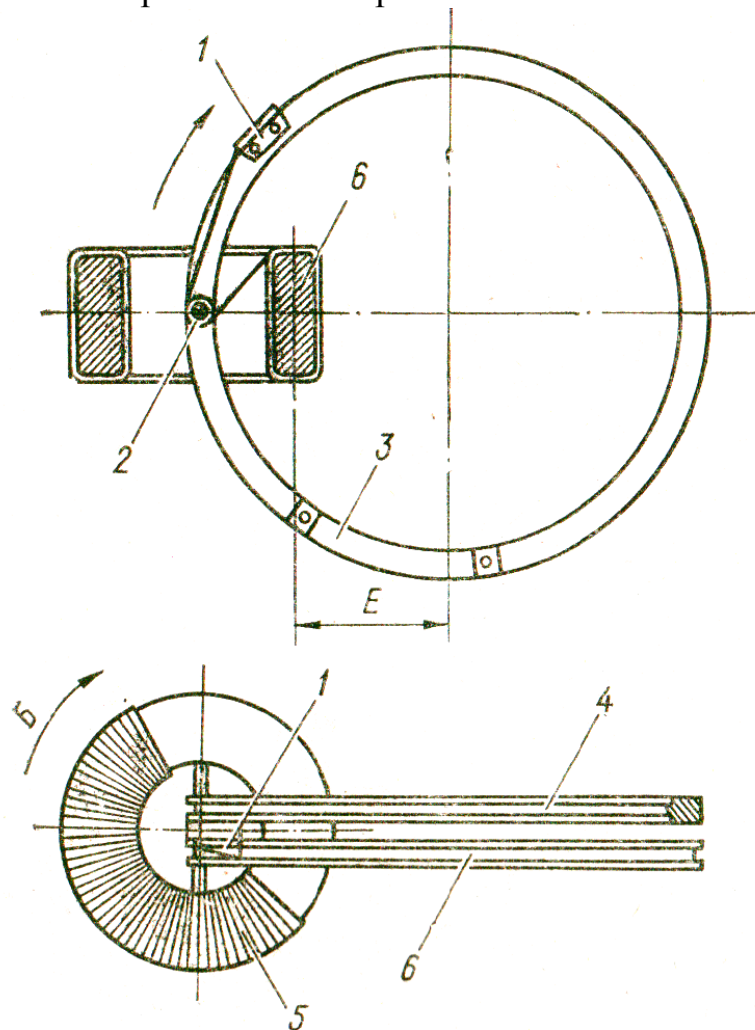


Рис. 4.4. Основний механізм укладання проводу

Механізм приводу 6 отримує рух від електродвигуна 1 через ремінну передачу 2. Рух з валика ручного приводу 18 через зубчаті колеса 11 і 12 передається на розподільний вал 13. З розподільного валу рух передається в трьох напрямках (рис. 4.5).

1-й напрям – привід човника. Човник 3 отримує обертання через зубчаті колеса 12, 11, 9, 10, 8, 7 і 6 та ролик 4.

2-й напрям – привід лічильника. При намотуванні проводу шпуля 5 з'єднується з човником 3. При цьому зубчате колесо 12 і ексцентрик 14, що знаходяться на розподільчому валику 13, обертаються проти годинникової стрілки. При обертанні ексцентрика 14 важіль 15 передає коливальні рухи механізму лічильника 16, які той фіксує. Так відбувається відлік числа обертів шпулі.

Довжина проводу, що намотується на шпулю, в метрах визначається числом обертів шпулі. Перед намотуванням проводу зі шпулі на серцевину

скидають показання лічильника за допомогою кнопки 17. При скиданні показань лічильника важіль необхідно вручну поставити в верхнє положення. Відлік числа витків при укладці проводу на виріб відбувається аналогічно, але при цьому зубчате колесо 12 і ексцентрик 14 обертається за годинниковою стрілкою.

3-й напрям – подача каркаса. Механізм подачі призначений для передачі руху від приводу до столиків кругової та секційної намотки. Ексцентрик 14 задає кулісі 19 поворотно-поступовий рух. Куліса 19 через тягу 21 задає коливальний рух важелю 22, що несе собачку 29. Собачка через храпове колесо 28, циліндричні колеса 35 і 36, черв'ячну пару 34 і 33 передає переривчастий обертовий рух на вісь 32 і столик секційної намотки 54. Цей ланцюг забезпечує укладку проводу на серцевину з визначеним кроком.

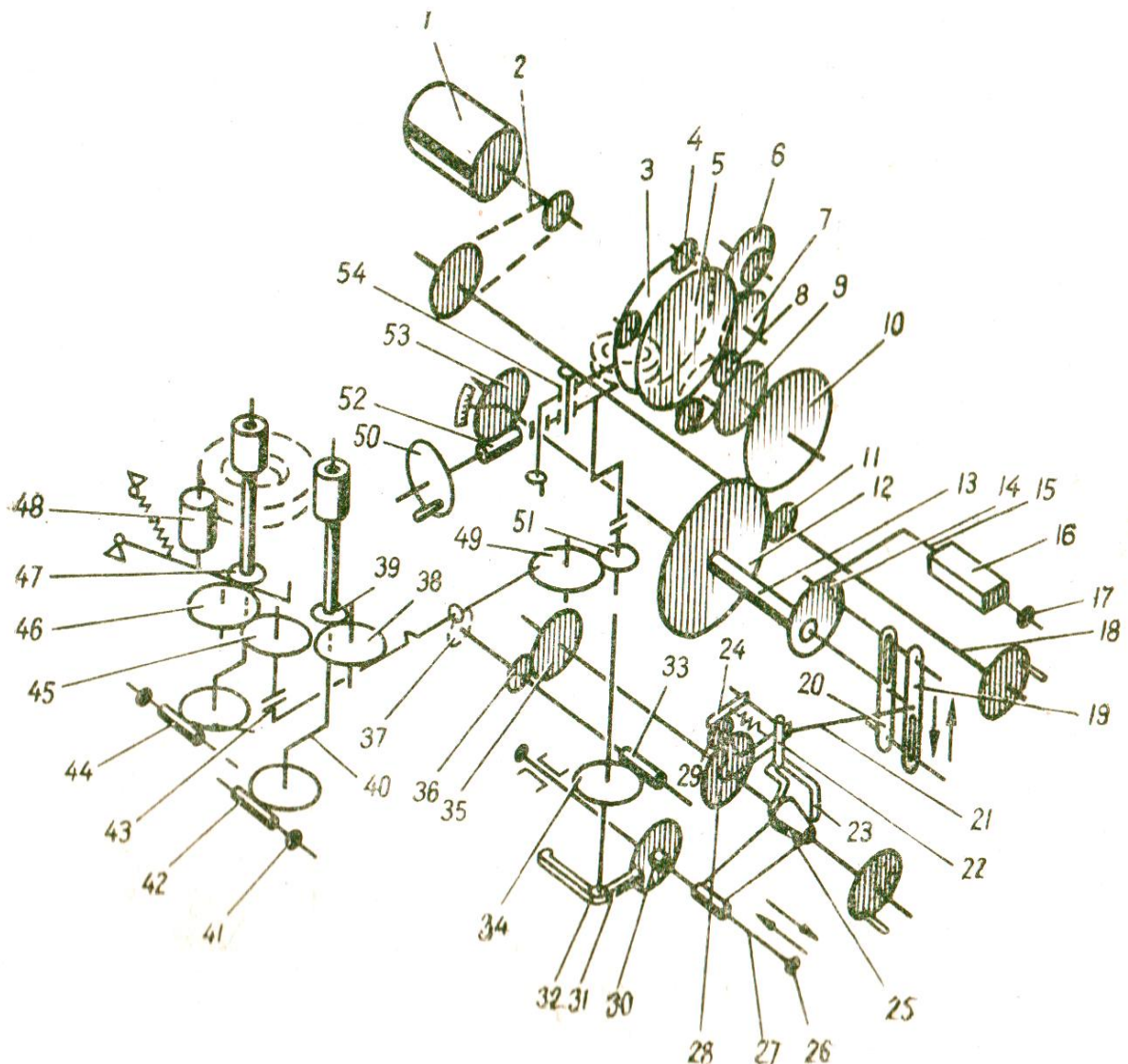


Рис. 4.5. Кінематична схема верстата

Величина подачі (крок) регулюється в процесі роботи поворотом куліси 20, з допомогою маховика 50 і черв'ячної пари 52 і 53. при повороті куліси змінюється кут качання важеля 22, що несе собачку. Собачка обертає храпове колесо. Реверсування подачі здійснюється переміщенням ручки 26 і

валику 27, на якому закріплено поводок 25, важіль, що повертає 23. Важіль зв'язаний з при жимом 24, перемикаючим собачку 29. Собачка входить в зчеплення з храповим колесом 28 правим і лівим зубом, роблячи таким чином реверсивні подачі. Автоматичне реверсування подачі при секційній намотці здійснюється упорами 31, які закріплюються на осі 32. При обертанні осі 32 упори почергово, за допомогою диска 30, переміщують валик 27 то праворуч, то ліворуч, створюючи таким чином реверсивні подачі при секційному намотуванні.

При намотці проводу на шпулю – подачу вимикають. Для цього рукояткою 37 виводять циліндричне прямозубе колесо 36 з зчеплення з колесом 35. При роботі на станку для кругового намотування рух від вісі 32 через зубчасті колеса 45, 46, 47, 38 і 39 приводяться в рух ролики 48, між якими зажато тороїдальну серцевину T . Для суміщення вісі серцевини з віссю 32 робочого столика 54 призначено пристрій, який дозволяє за допомогою маховика 41, черв'ячної пари 42 і 44 і важеля 40 переміщувати вісь обертання шестерні 39 і ролику 48.

Налагоджування верстата

При налагоджуванні на верстаті монтується столик для кругової намотки. Потім зі шпулі виймають замок і встановлюють сердечник таким чином щоб через його отвір шпуля та човник проходили з рівномірним зазором. На шпулю встановлюють замок. Кінець проводу з котушки закріплюється на шпулі. Потім, повернувши човник, вводять його зуб в отвір шпулі вмикають правий реверс і намотують на шпулю необхідну кількість проводу. Потім провід відрізається, його кінчик зачищають, перекидають через знімач і закріплюють на тороїдальному сердечнику.

Вихідні дані

Опір потенціометра – 3,5 Ом

Діаметр проводу – 0,2 мм.

Матеріал	Мідь	Сталь	Ніхром
Значення ρ , Ом·мм ² /м	0,017	0,15	1,1

Порядок проведення роботи та оформлення звіту

1. Вивчити методику розрахунку потенціометра.
2. По даному викладачем завданню провести розрахунок потенціометра.

3. Ознайомитись з конструкцією верстата для намотування та методикою його налагоджування.
4. Разом з лаборантом провести намотування потенціометра за даними розрахунку.
5. Провести зачищення витків та зняти характеристику потенціометра загальну та його 4-х ділянок, розбив довжину намотування на 4 рівні частини. Дані занести до таблиці 4.1.
6. Провести розрахунок опорів ділянок та знайти помилки ΔR_i . Дані занести до таблиці 4.1.
7. Побудувати графіки характеристик потенціометра та проміжних помилок по аналогії з рис. 4.2. та 4.3.
8. Зробити висновки по точності потенціометра.
9. Оформити звіт де міститься табл 4.1. та графіки рис. 4.2. та 4.3.

Контрольні питання

1. Робота намотувального верстата.
2. Розрахунок параметрів тороїдальної намотки.
3. Технологічний процес тороїдальної намотки.
4. Кінематична схема верстата.
5. Порядок роботи з верстатом.

Таблиця 4.1.

Номер ділянки (K)	Розрахунковий опір (R_p), Ом	Дійсний опір ділянок та загальний опір (R_o), Ом	Проміжна та загальна помилка, ΔR , Ом
1			
2			
3			
4			

Лабораторна робота 5

Технологія друкованого монтажу

Мета роботи: вивчити методи паяння, провести монтаж навісних елементів на друковану плату та перевірити працездатність схеми.

Задачі роботи: привити навички проведення процесу паяння друкованих

схем, а також контролю вихідних параметрів нескладних електронних пристроїв.

Обладнання, інструмент, пристосування, матеріал

1. Паяльник, 25 Вт.
3. Флюс.
4. Припій.
5. Пінцет.
6. Лупа 4^x.
7. Блок живлення.
8. Осцилограф.
9. Мультиметр комбінований.

Опис роботи

Складання друкованих плат з електрорадіоелементів (ЕРЕ) та інтегральних схем (ІС) є першим необхідним етапом монтажу приладу чи системи. Вона характеризується тим, що ЕРЕ та ІС геометрично розміщуються на друкованій платі згідно із складальним кресленням.

Так як складання є першим етапом монтажу, то дефекти складання в разі, коли вони залишаються не виявленими, негативно впливають на подальші етапи монтажу і є причиною додаткових витрат.

Незалежно від методу складання можна сформулювати принцип складання друкованих плат: компоненти повинні бути так встановлені та з'єднані на друкованій платі або платах, щоб в результаті створити всі необхідні зв'язки електричної схеми вузла.

Перед монтажем всі ЕРЕ повинні проходити вхідний контроль за електричними параметрами. Організація вхідного контролю залежить від типу виробництва. В масовому виробництві контроль здійснюють на спеціальних стендах, де на шкалах приладів нанесені граничні значення параметрів ЕРЕ. Інколи вхідний контроль здійснюють разом з підготовкою до монтажу.

Підготовка ЕРЕ до монтажу включає наступні операції

- розпаковка елементів;
- вхідний контроль;
- формування виводів;
- обрізання виводів;
- лудіння виводів.

В індивідуальному виробництві всі ці роботи виконують вручну.

У масовому виробництві згинання та обрізання виводів ЕРЕ

виконуються на спеціальних напіваавтоматах, а лудіння виконується в спеціальних установках – електричних лудильниках.

Лудіння полягає у нанесенні на поверхонь деталі шару припою. Він повинен задовольняти наступним вимогам:

- Температура плавлення повинна бути не менш, ніж на 50°C нижче температури плавлення матеріалів деталей, які паяються.
- Мати достатньо велику механічну міцність.
- Мати достатньо високу теплопровідність.
- Лудіння ЕРЕ повинно проводитись тими ж припоями, що і наступне паяння.

При лудінні ЕРЕ чутливих до теплового впливу, дозволяється лудіння припоєм з пониженою температурою плавлення.

Лудіння введів ЕРЕ та проводів включає наступні етапи:

1. Зняття ізоляції з кінців проводів.
2. Видалення окисної плівки з поверхонь деталей.
3. Лудіння поверхонь, які паяються.

Методи зняття ізоляції залежать від її типу та бувають:

1. Механічний
 - а) абразивний;
 - б) металевими щітками;
 - в) дисковими ножами;
2. Тепловий
 - а) прямою ниттю, за допомогою накаливання проводу з нихрому;
 - б) спіраллю з того ж проводу;
 - в) в середовищі інертних газів;
 - г) з відсмоктуванням газів.
3. Хімічний (органічними розчинниками).
4. Фізичний (ультразвуковий).
5. Комбінований.

Перед лудінням проводиться чистка поверхонь від окиснення та жирових забруднень органічними розчинниками (бензин, бензол, фреон – 113 тощо) за допомогою кистей, тампонів, ультразвуком. Метод очистки залежить від матеріалу деталі, її габаритних розмірів тощо.

Видалення окисної плівки проводиться різними способами:

1. Механічний – зачищенням;
2. Фізико-хімічний
 - а) ультразвукове паяння;
 - б) паяння у газовому нейтральному середовищі;
 - г) паяння у вакуумі.
3. Хімічний
 - а) флюсове паяння;
 - б) паяння в активному середовищі;
 - в) паяння самофлюсуючими припоями.

Встановлення ЕРЕ на друковану плату складається із наступних операцій:

- подача ЕРЕ в зону встановлення;
- орієнтування виводів відносно монтажних отворів;
- фіксація ЕРЕ в потрібному положенні.

Встановлюють ЕРЕ в такій послідовності: резистори, конденсатори, мікросхеми. Розміщення ЕРЕ на друкованій платі повинне сприяти спрощенню технологічного процесу і можливості застосовувати механізацію. Найзручніше розташовувати всі елементи на тій стороні плати, де немає друкованих провідників. Таке розташування полегшує процес паяння. При розміщенні ЕРЕ необхідно дотримуватися паралельності. Всі ЕРЕ повинні бути міцно закріплені на платі, щоб не було зміщень при механічному впливі.

Закріплення ЕРЕ виконується в основному за допомогою виводів. Виводи вставляють в отвори і підгинають, після чого з'єднують з печатним провідником паянням. Таке з'єднання забезпечує механічну міцність і електричний контакт.

Встановлення і закріплення ЕРЕ на друкованих платах може бути здійснене повністю на автоматичних лініях. Застосування автоматичних і механічних пристроїв має сенс тільки в багатосерійному чи масовому виробництвах, так як ці пристрої складні і дорого коштують.

Одним з останніх етапів у складанні друкованих плат є паяння. *Паянням* називають процес з'єднання металевих або металізованих поверхонь елементів за допомогою проміжного сплаву, якій покриває місце з'єднання в розплавленому стані і далі кристалізується. Такий проміжний сплав називається *припоєм*, температура його плавлення має бути набагато нижчою від температури плавлення з'єднувальних елементів. Розплавлення основного металу відсутнє, так як температура паяння завжди нижче температури плавлення матеріалу деталі.

При паянні необхідно забезпечити механічне закріплення і електричний контакт між провідником і ЕРЕ. Паяння проводиться на повітрі з застосуванням різних флюсів, які захищають поверхні з'єднуваних елементів від окислення в процесі нагріву.

Окремі технологічні операції, що забезпечують якісні паяні з'єднання наступні:

- очищення поверхневого шару металевих поверхонь від забруднення за допомогою флюсу;
- нагрівання припою вище точки плавлення;
- витіснення флюсу припоєм;
- розтікання рідкого припою по металевій поверхні – процес змочування;
- дифузія атомів з твердої металевої фази в рідкий припій і навпаки – утворення сплавної зони;
- наступна обробка паяних з'єднань – очищення, коли видаляються флюси, що сприяють корозії.

Залежно від температури плавлення, припої бувають легкоплавкі

($T_{пл.} < 350^{\circ}\text{C}$) та тугоплавкі ($T_{пл.} > 500^{\circ}\text{C}$). Для друкованого монтажу ЕРЕ застосовуються легкоплавкі припої (табл. 5.1).

Паяння легкоплавкими припоями виконується вручну звичайними електропаяльниками різної потужності (15...300Вт) або автоматизовано різними методами.

Такий метод з'єднання застосовують в основному для електромонтажних робіт для з'єднання провідників, рідше – для одержання маломіцних утворень із простих деталей. Найбільшого застосування для цього випадку одержали олов'яно-свинцеві припої марки ПОС (ПОС-30, 40, 61, 90), цифра в назві показує відсоток олова в припої (ПОС-30 та ПОС-40 – звичайні найширше застосовуванні припої для складально-монтажних робіт, а припій ПОС-61 застосовується для розпаювання електронних схем, мікроелектромонтажу радіоелектронних пристроїв та процесорної техніки).

Для забезпечення якості паяння та його швидкості використовують різні флюси, мета яких:

- швидке і повне змочування металевої поверхні завдяки впливу сил поверхневого натягу;
- видалення окисленої плівки на контактуючих поверхнях, а також розчинення і видалення продуктів реакцій при температурі нижче температури плавлення припою;
- захистити поверхню, що паяється від окислення, в процесі паяння.

Залежно від хімічних властивостей флюси бувають:

- кислотні (активні);
- безкислотні;
- антикорозійні;
- активовані.

При електромонтажі найбільше використання отримали безкислотні флюси (табл. 5.2). У відповідальних з'єднаннях використовують спиртоканіфольні флюси.

Залишки флюсу повинні легко видалятися або бути нейтральними, тобто не повинні змінювати електричні параметри початкового матеріалу і не викликати корозії.

Паяння проводиться різними методами в залежності від виду монтажу та ЕРЕ. Методи паяння повинні задовольняти вимоги поточного виробництва і гарантувати надійність зпаюваних з'єднань (щоб менше 1% зпаюваних з'єднань підлягали наступному допаюванню). Ручне паяння паяльником застосовується тільки під час ремонтних робіт для паяння стержневих виводів ЕРЕ. Паяння друкованих плат вручну не повинно застосовуватися, бо воно значно зменшує міцність і надійність, технологічність та являється конструктивно та економічно недоцільним.

При паянні компонентів зі стержневими виводами (дискретних ЕРЕ, ІС в пластмасових корпусах зі стержневими виводами, що виступають над платою до 3 мм), де для контактування використовується тільки та сторона друкованої плати, де проводиться паяння використовується *метод паяння*

зануренням. В цьому методі металеві поверхні зі сторони паяння під час занурення в паяльну ванну покриваються припоєм. Інколи металеві поверхні на платі захищають від змочування припоєм, залишаючи вільними контактуючі поверхні зі стержнями, щоб запобігти утворенню перемичок та зекономити припой. Це селективне паяння досягається за допомогою *паяльних масок*, які утворюють шляхом покриття провідників захисним паяльним лаком. Паяльна маска залишає чистими тільки ті місця, які повинні бути покриті припоєм. Для інших металевих провідників захисний паяльний лак є не тільки відштовхувальною припой речовиною, але на основі свого складу (модифікована епоксидна смола) засобом корозійного захисту.

При паянні зануренням складена плата стороною паяння опускається в розплавлений припій (*паяльна ванна*). При цьому на стороні паяння всі виводи ЕРЕ, що виступають із монтажних отворів, з'єднуються з контактними площадками плати. Одночасно всі металеві поверхні (провідники, монтажні отвори) змочуються припоєм, оскільки вони не покриті паяльною маскою. В платах з металізованими отворами припій повинен піднятися до установочної сторони, завдяки чому підвищується надійність контакту.

У процесі паяння, зануренням (рис. 5.1) друковану плату 3 з елементами встановлюють і закріплюють у пристосуванні 2, підвищеному на вібраційній голівці – магнітострикторі 1. Плату спочатку поміщають у ванну із розплавленим флюсом (розчин каніфолі в етиловому спирті) на 4...5 с, а потім переносять до ванни 4 з розплавленим припоєм ПОС-61 за температури $245(\pm 5)^{\circ}\text{C}$, яка автоматично підтримується електро-нагрівачем 5.

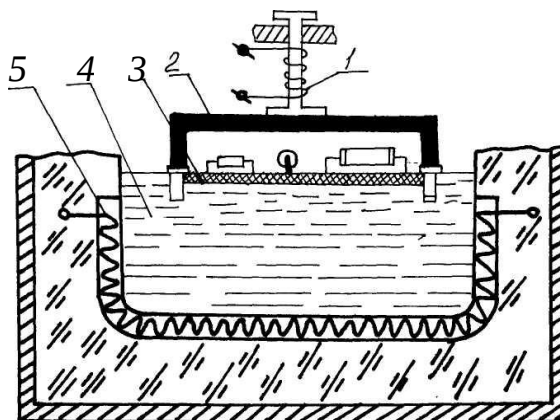


Рис. 5.1. Схема механізованого паяння зануренням

Щоб втрати тепла ванни були незначні, сторона паяння друкованої плати попередньо підігрівається. Завдяки цьому вдається також запобігти теплового удару чутливих до нагріву базових матеріалів.

Також щоб не змінилися умови паяння, необхідно підтримувати постійний температурний режим паяльної ванни. Температура паяння повинна бути за можливістю низькою, щоб зменшились втрати припою за рахунок окислення. Продукти окислення плавають на поверхні ванни і забруднюють її. Перед паянням вони повинні бути видалені, так як є перепорою до утворення якісних паяних з'єднань й іноді у вигляді плівки залишаються на друкованій платі.

При паянні зануренням паяльна ванна поряд з віддачею певної кількості припою і теплоти виконує ще й функцію активізації флюсу. Флюс наноситься на сторону паяння зануренням, розбризкуванням, намазуванням або валиками. Летючі компоненти під час сушіння при попередньому

підігріві випаровуються. Активна частина флюсу (каніфоль) рівномірно вкриває паяну поверхню. При зануренні в розплавлений припой флюс стає активним, відновлюються окисли і витісняються припоєм разом з продуктами відновлення з паяних з'єднань. На металевій очищеній поверхні здійснюється процес паяння.

Методи паяння зануренням поділяються на методи зі спокійною та переміщуваною поверхнею ванни:

- паяння зануренням з вертикальним переміщенням;
- паяння зануренням з нахилом плати;
- паяння з використанням коливальних рухів;
- поверхневе паяння і паяння протягуванням;
- маятникове паяння;
- струменеве паяння (спосіб *sylvania*);
- каскадне паяння;
- паяння хвилею припою.

Паяння хвилею припою найбільш придатне при контактуванні стержневих ЕРЕ з друкованою платою. Переважна більшість всіх односторонніх друкованих плат і друкованих плат з металізованими отворами в масовому виробництві контактують за допомогою хвильового паяння.

Паяння хвилею припою (рис. 5.2.) якісніше, оскільки не дає загального перегрівання плати. Розплавлений електронагрівальною спіраллю 10 припій в керамічній ванній 6 прокачується насосом 12 навколо профільного обтічника 11, який разом з відбивачем 2 утворює зверху хвилю рідкого припою. При цьому дуже чітко витримується температура припою в межах $245 \pm 3^\circ \text{C}$ для підтримання його текучості в певному стані, що забезпечує якісну пайку. Цей тепловий режим підтримується автоматично за допомогою термостату 8, який регулює температуру. Воно вимірюється термопарою 9.

Хвиля припою залишається вільною від окислів завдяки постійному рухові і друкована плата теоретично занурюється тільки на невеликій площі.

Паяння хвилею припою

виконується в п'ять етапів:

1. *Фіксація* змонтованої плати в транспортній рамі.
2. *Флюсування* – на сторону паяння наноситься флюс.
3. *Сушіння й попереднє підігрівання* – друкована плата злегка підігрівається і частково продувається гарячим повітрям. При підігріванні з флюсу вивітрюється розчинник. Після цього друковані плати потрапляють на ділянку, де вони підігріваються зі сторони паяння за допомогою нагрітої

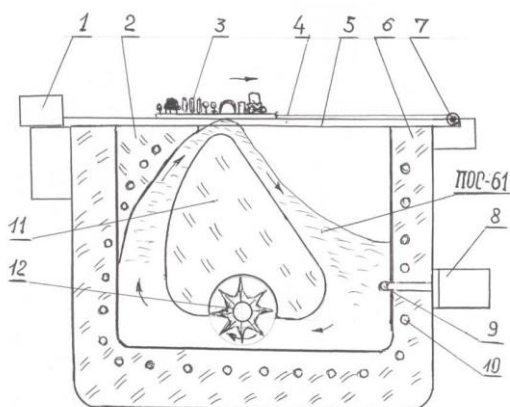


Рис. 5.2. Схема механізованого паяння хвилею припою

шляхом теплової радіації плити. Це підготовлює відновлювальну дію флюсу, що починає плавитися при температурі вище 130°C. Друга мета попереднього нагріву – уникнути теплового удару друкованої плати.

4. *Паяння.* При цій операції плата проводиться через гребінь хвилі. При цьому в першій фазі флюс стає активним. Утворюється металева поверхня, і після цього флюс, разом з продуктами реакції, витісняється припоєм.

5. *Охолодження, промивання та сушіння вузла (після пайки з маслом).*

По закінченню процесу електромонтажу місця паяння контролюють візуально та електровимірювальними приладами. Візуально (за допомогою 4-х кратної лупи) місце паяння перевіряється на:

- а) відсутність забруднювання;
- б) якість паяння;
- в) відсутність залишків флюсу.

Електричний монтаж перевіряється:

а) омметром (пробником) на відповідність принциповій електричній та монтажній схемі;

б) на стендах для випробування – за електричними параметрами.

Таблиця 5.1. Основні дані припоїв та їх використання

Марка	Хімічний склад, %	Температура плавлення, °C	Призначення
ПОС-90	Олово(89-90); сурма(0,15), свинець – решта.	222	Для паяння деталей і складальних одиниць, що в подальшому покриваються сріблом чи золотом
ПОС-61	Олово(59-61); сурма(0,8), свинець – решта.	190	Для паяння відповідальних деталей, коли не припустимий високий нагрів в зоні пайки та потребується підвищена механічна міцність
ПОС-40	Олово(39-40); сурма(1,5-2), свинець – решта.	235	Для пайки менш відповідальних струмопровідних деталей, коли допустимий більш вищий нагрів
ПОС-30	Олово(29-30); сурма(1,5-2), свинець – решта.	256	Для лудіння та паяння менш відповідальних механічних деталей з міді, її сплавів, сталі
ПОС-18	Олово(17-18); сурма(2-2,25), свинець – решта.	277	Для паяння при пониженій вимозі до міцності шву, для лудіння перед паянням
ПОС-4-6	Олово(3-4); сурма(5-6), свинець – решта.	265	Для паянням зануренням у ванну з розплавленим припоєм
ПОСК-50	Олово(49,0-51,0); свинець (32); кадмій(17-19).	145	Для паяння деталей з міді та її сплавів, що не допускають місцевого перегріву
ПОСВ-33	Олово(32,4-34,4); свинець (32,3- 34,3); вісмут(49,0- 51,0).	130	Для паяння плавких запобіжників; міді, срібла, нанесення на кераміку методом впалювання і паяння константану

Таблиця 5.2. Безкислотні флюси

Найменування	Склад	Температура паяння, °C	Область використання
Хлористий цинк	Водний розчин хлористого цинку	263	Деталі з чорних та кольорових металів
ВТС	Вазелін, триетанолмін, саліцилова кислота	Не нижче 170	Монтажні з'єднання, деталі з міді, латуні, бронзи, срібла, платини та їх з'єднання
Каніфоль	Каніфоль натуральний	200	Для паяння монтажних з'єднань та деталей з міді, латуні та бронзи
Флюс з аніліном	Анілін солянокислий, каніфоль	200	Для паяння монтажних з'єднань та деталей з чорних та кольорових металів
ЛТІ	Багатокомпонентний склад	250	Для паяння сталевих, мідних, бронзових, срібляних деталей
КЕЦ, ФІМ	Багатокомпонентний склад		Для паяння деталей з чорних, кольорових та дорогоцінних металів

Порядок виконання роботи

1. Отримати у викладача завдання.
2. Отримати у лаборанта необхідні для роботи інструменти, матеріали та інструкції.
3. Вивчити інструкцію.
4. Провести розведення схеми та дати на перевірку викладачу.
5. Установити елементи на плату та запаяти.
6. Перевірити правильність та якість монтажу зовнішнім оглядом.
7. Перевірити схему на стенді.

Вимоги до звіту

У звіті по роботі необхідно відмітити якість паяння. Перевірити правильність схеми та намалювати сигнал “вхід-вихід”. Написати технологію складання заданої схеми. Привести характерні особливості даної схеми.

Контрольні питання

1. Монтаж друкованих плат електронних вузлів.
2. Процес паяння.
3. Припій, види припоїв.

4. Флюс, види флюсів.
5. Види паяння.
6. Механізоване паяння.
7. Технологічний процес складання друкованих плат.
8. Контроль технологічного процесу паяння.

Лабораторна робота 6

Забезпечення параметричної точності елементів приладів

Мета роботи: ознайомити студентів з практикою визначення параметричної точності при виготовленні елементів приладів, у яких вихідним параметром є фізична величина, яка визначає точність роботи приладу.

Задачі роботи: визначити точність вихідного параметру функціонального елемента або пристрою приладу по прямій або оберненій задачі за вказівками викладача.

Загальні поняття

У приладобудуванні велике значення має параметрична точність, так як сучасні прилади мають у своїй конструкції різнобічні функціональні та перетворюючі елементи, що працюють на базі різних фізичних параметрів: механічних (жорсткість пружини, мембран, сильфонів; точність передачі зубчастих редукторів тощо); електричних (точність опору резисторів та потенціометрів, ємності конденсаторів, індуктивності котушок); магнітних, оптичних та інших характеристик.

Усі ці фізичні параметри елементів приладів є похідними цілого ряду первісних характеристик, з якими вони знаходяться у визначеній функціональній залежності, що визначається рівняннями зв'язку або передаточними функціями

$$Q_0 = \varphi_0(q_1; q_2; \dots; q_n) = \varphi_0(q_i), \quad (6.1)$$

де Q_0 – номінальне значення вихідного фізичного параметру; $q_1; q_2; \dots; q_n$ – первісні. Що визначають його характеристики у своєму номінальному (розрахунковому) значенні.

Із-за похибок виготовлення первісні характеристики мають свої похибки Δq_i , які обмежують на виробництві допусками δ_i .

Тоді реальна величина фізичного параметру має вигляд

$$Q = \varphi[(q_1 + \Delta q_1) \dots (q_n + \Delta q_n)] = \varphi(q_i + \Delta q_i),$$

де $Q = Q_0 + \Delta Q$, а $\Delta Q = Q - Q_0$ - є похибка виготовлення вихідного фізичного параметру.

Для знаходження такої похибки використовують ступеневий диференціальний ряд Тейлора для ряду незалежних змінних, з якого знаходять таку похибку:

$$Q = \varphi_0(q_i) + \frac{\partial \varphi_0(q_i)}{\partial q_1} \Delta q_1 + \frac{\partial \varphi_0(q_i)}{\partial q_2} \Delta q_2 + \dots + \frac{\partial \varphi_0(q_i)}{\partial q_n} \Delta q_n,$$

Тоді з (6.3) похибка вихідного параметра дорівнює

$$\Delta Q = \sum_{i=1}^n \frac{\partial \varphi_0(q_i)}{\partial q_i} \Delta q_i = \sum_{i=1}^n \dot{a}_i \Delta q_i,$$

де $\dot{a}_i$ - частні похідні (коефіцієнти впливу) є частні передаточні функції від кожної первісної характеристики q_i до вихідної Q_0 .

Пряма задача

Коли задана точність первісних характеристик та по ним визначається точність вихідного фізичного параметру.

Так як передаточні функції між фізичним параметром та вхідними характеристиками зазвичай у техніці задаються дробовими функціональними ступеневими залежностями типу $Q_0 = b^\alpha c^\beta / d^\gamma e^\nu$, то первісні характеристики поділяються на збільшуючи та зменшуючи. Збільшуючи – це ті, які стоять у чисельнику та при збільшенні збільшують Q_0 та мають $(+\dot{a}_i)$, а зменшуючи – ті, що стоять у знаменнику та мають $(-\dot{a}_i)$.

Точність на виробництві задається допусками $\Delta q_i \rightarrow \delta_i$ та вони мають свої відхилення: $(BO) \rightarrow (+)$ або $(HO) \rightarrow (+)$.

Таку задачу розв'язують двома методами:

1. Метод часткового диференціювання

На виробництві задається залежність

$$\delta_Q = \sum_{i=1}^n (\dot{a}_i \delta_i). \quad (6.2)$$

Задані δ_i своїми $(BO)_i$ та $(HO)_i$.

Необхідно знайти δ_Q та його $(BO)_Q$ і $(HO)_Q$.

З урахуванням $(+\dot{a}_i)$, $(-\dot{a}_i)$ та $(BO)_i$ і $(HO)_i$ отримуємо:

$$\begin{aligned}(BO)_Q &= \sum_{i=1}^m \left(+\dot{a}_i \right) (BO)_i + \sum_{j=1}^p \left(-\dot{a}_j \right) (HO)_j, \\ (HO)_Q &= \sum_{i=1}^m \left(+\dot{a}_i \right) (HO)_i + \sum_{j=1}^p \left(-\dot{a}_j \right) (BO)_j.\end{aligned}\tag{6.3}$$

Наприклад: Визначити можливий розподіл жорсткості Z (Н/мм) гвинтової пружини пневмодреселю за відомими допусками вхідних величин.

Жорсткість такої пружини дорівнює

$$Z_0 = \frac{P}{h} = \frac{Gd^4}{8D^3n} \text{ (Н/мм)},$$

де G — модуль пружності другого роду на кручення має $\delta_G \rightarrow (BO)_G$, d — діаметр дроту пружини з допуском $\delta_d \rightarrow (HO)_d$; D — середній діаметр пружини з допуском $\delta_D \rightarrow (BO)_D$, n — число витків пружини з допуском $\delta_n \rightarrow (HO)_n$ (на долю витка).

Тоді згідно (7.6) знаходимо відхилення допуску на Z

$$\begin{aligned}(BO)_Z &= \left[\frac{\partial Z_0}{\partial G} (BO)_G + \left(-\frac{\partial Z_0}{\partial h} (-HO)_n \right) \right], \\ (HO)_Z &= \left[-\frac{\partial Z_0}{\partial d} (HO)_d + \left(-\frac{\partial Z_0}{\partial D} (+BO)_D \right) \right].\end{aligned}$$

Підставляємо значення, диференціюємо та знаходимо δ_Z .

2. Метод відносної точності

Попередній метод є наглядним, але сильно нагромадженим розрахунками по диференціюванню.

Для заданих ступеневих функцій $Q_0 = \prod (q_i^{\alpha_i})$, де α_i - показник ступеню при первісної характеристики, визначаючій ступень впливу її на вихідний параметр Q_0 , який має свій знак. Якщо q_i стоїть у чисельнику, то в них $(+\alpha_i)$, а якщо — у знаменнику, то $(-\alpha_j)$, як зменшуючий фактор. Показник ступеню може бути й дробовим, а також $(\alpha < 1)$, що вказує на малу кореляцію q_i та Q_0 .

У формалізованому вигляді часткового диференціювання можна замінити двома арифметичними діями:

- 1 — поділ функції на q_i ;
- 2 — множення функції на α_i , тобто

$$\left(\frac{\partial \prod q_i^{\alpha_i}}{\partial q_i} \right) \rightarrow \left(\frac{\partial \prod q_i^{\alpha_i}}{\partial q_i} \right) \times (\alpha_i) = \alpha_i \frac{Q_0}{q_i}.$$

Тоді вираз (6.5) з диференціюванням можна замінити на метод відносної точності характеристика

$$\delta_Q = \sum_{i=1}^n a_i \delta_i = \sum_{i=1}^n (\alpha_i \frac{Q_0}{q_i}) \delta_i = Q_0 \sum_{i=1}^n \alpha_i \frac{\delta_i}{q_i}. \quad (6.4)$$

З врахуванням можливих варіантів знаків (+) та (-) при показниках ступеню α_i та відхиленнях (BO) та (HO) і допусків δ_i отримуємо рівняння розв'язання задачі:

$$(BO)_Q = Q_0 \sum_{i=1}^m \left(+ a_i \right) (BO)_i + \sum_{j=1}^p \left(- a_j \right) (HO)_j,$$

$$(HO)_Q = Q_0 \sum_{i=1}^m \left(+ a_i \right) (HO)_i + \sum_{j=1}^p \left(- a_j \right) (BO)_j.$$

Наприклад: попередній приклад за жорсткістю пружини при розв'язанні поданим методом буде мати вигляд:

$$Z_0 = G^1 d^4 8^{-1} D^{-3} n^{-1}.$$

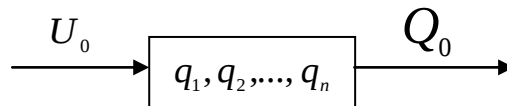
Відхилення допусків на Z буде:

$$(BO)_Z = Z_0 \left((+\alpha_G) \frac{(BO)_G}{G} + (-\alpha_n) \frac{(HO)_n}{n} \right),$$

$$(HO)_Z = Z_0 \left((+\alpha_d) \frac{(-HO)_d}{d} + (-\alpha_D) \frac{(BO)_D}{D} \right).$$

Розв'язання значно спрощується.

Визначення точності функціональних перетворень, як зубчастий редуктор або дровотвий потенціометр мають деяку особливість. Так як при цьому потрібно враховувати вхідний сигнал та який перетворювачем перетворюється в вихідний іншого рівня (редуктор) або іншої фізичної природи Q_0 за схемою



Так наприклад при оберті контактного бігунка на кільцевому дровотвому потенціометрі на кут γ ($U_0 = \gamma$) змінюється опір потенціометра ($Q_0 = R_\gamma$).

При цьому потрібно враховувати величину вхідного сигналу та його варіацію у межах допуску δ_U .

Перетворювач характеризується своїм коефіцієнтом перетворення $K_0 = \partial Q_0 / \partial U_0$ та функціональна залежність для елемента (6.1) буде мати вигляд

$$Q_0 = U_0 \varphi(q_i).$$

А дійсна, з врахуванням похибок та допусків буде

$$Q = U \varphi(q_i + \Delta q_i).$$

Тоді величина похибки ΔQ або допуск перетворювача буде мати наступний вигляд

$$\delta_Q = K_0 \delta_u + \sum_{i=1}^n K_i \delta_i,$$

де K_i — частний коефіцієнт перетворення кожною ланкою перетворювача, що дорівнює $K_i = \partial Q_0 / \partial q_i$, часткової похідної вихідного Q_0 по кожній q_i .

Тоді метод часткового диференціювання для поданого випадку розв'язується за виразами:

$$(BO)_Q = K_0(BO)_U + \left(\sum_{i=1}^m \dot{K}_i \right) (BO)_i + \sum_{j=1}^p \left(-\dot{K}_j \right) (HO)_j,$$

$$(HO)_Q = K_0(HO)_U + \sum_{i=1}^m \left(+\dot{K}_i \right) (HO)_i + \sum_{j=1}^p \left(-\dot{K}_j \right) (BO)_j.$$

При розв'язанні такої задачі більш простим методом відносної точності маємо:

$$(BO)_Q = Q_0(\alpha_u \frac{(BO)_U}{U_0} + (\sum_{i=1}^m \left(+\dot{\alpha}_i \right) \frac{(HO)_i}{q_i} + \sum_{j=1}^p \left(-\dot{\alpha}_j \right) \frac{(BO)_j}{q_j})),$$

$$(HO)_Q = Q_0(\alpha_u \frac{(HO)_U}{U_0} + (\sum_{i=1}^m \left(+\dot{\alpha}_i \right) \frac{(BO)_i}{q_i} + \sum_{j=1}^p \left(-\dot{\alpha}_j \right) \frac{(HO)_j}{q_j})).$$

Обернена задача

При розробці нового приладу конструктору часто необхідно мати визначену задану величину вихідного фізичного параметру Q_0 , точність якого він задає необхідними відхиленнями $(BO)_Q$ і $(HO)_Q$ найбільш простим та економічним способом. Для цього він обирається з всієї множини визначаючих характеристик q_i одну, найбільш технологічну, яка проста у виконанні на виробництві та робить її компенсатором - q_k , а на всі інші q_i з поданої передаточної функції виконуються за економічно вигідними допусками δ_i . Задача зводиться до визначеного необхідного допуску на заданий компенсатор, щоб задовольнити умовам.

1. Метод часткового диференціювання

З виразу (6.2) відокремлюємо компенсатор q_k з допуском δ_k

$$\delta_Q = \sum \dot{a}_i \delta_i = \sum_{i=1}^n a_i \delta_i + (\dot{a}_k \delta_k).$$

Визначаємо необхідний за умовою допуск на компенсатор:

$$\delta_k = \frac{1}{\dot{a}_k} (\delta_Q - \sum_{i=1}^{n-1} \dot{a}_i \delta_i).$$

Для визначення його відхилень $(BO)_k$ і $(HO)_k$ необхідно враховувати той факт звідки обрано компенсатор: або зі збільшуючих характеристик, коли буде $(+a_k)$, або з числа зменшуючих, при якому компенсатор має $(-a_k)$.

Тоді на основі виразу (6.3) отримуємо два варіанти розв'язку:

1. Якщо компенсатор з числа збільшуючих характеристик

$$(BO)_k = \frac{1}{a_k} ((BO)_U - (\sum_{i=1}^m (+a_i)(BO)_i + \sum_{j=1}^p (-a_j)(HO)_j)),$$

$$(HO)_k = \frac{1}{a_k} ((HO)_U - \sum_{i=1}^m (+a_i)(HO)_i + \sum_{j=1}^p (-a_j)(BO)_j).$$

2. Якщо компенсатор – зменшуюча характеристика

$$(BO)_k = -\frac{1}{a_k} ((HO)_U - (\sum_{i=1}^m (+a_i)(HO)_i + \sum_{j=1}^{p-1} (-a_j)(BO)_j)),$$

$$(HO)_k = -\frac{1}{a_k} ((BO)_U - \sum_{i=1}^m (+a_i)(BO)_i + \sum_{j=1}^{p-1} (-a_j)(HO)_j).$$

Метод ускладнений розрахунками по частковому диференціюванню.

2. Метод відносної точності

Для ступеневих передаточних функцій $Q_0 = \prod_{i=1}^n q_i^{\alpha_i}$ таку задачу можна розв'язати більш простим методом.

Обирається компенсатор з числа збільшуючих характеристик (коли $(+\alpha_i)$) або з числа зменшуючих $(-\alpha_i)$. Всі інші характеристики, як і раніш, обираються з економічно вигідними допусками.

З виразу (6.4) знаходимо компенсатор

$$\delta_Q = Q_0 \sum_{i=1}^n \alpha_i \frac{\delta_i}{q_i} = Q_0 (\sum_{i=1}^n \alpha_i \frac{\delta_i}{q_i} + \alpha_k \frac{\delta_k}{q_k}).$$

Визначаємо допуск на компенсатор коли α_k - показник його ступеню.

$$\delta_k = \frac{q_k}{\alpha_k} (\frac{\delta_Q}{Q_0} - \sum_{i=1}^{n-1} \alpha_i \frac{\delta_i}{q_i}).$$

Як і раніше маємо два варіанти розв'язання задачі:

1. Якщо компенсатор збільшуюча характеристика, коли $(+\alpha_k)$

$$(BO)_k = \frac{q_k}{\alpha_k} (\frac{(BO)_Q}{Q_0} - (\sum_{i=1}^{m-1} (+\alpha_i) \frac{(BO)_i}{q_i} + \sum_{j=1}^p (-\alpha_j) \frac{(HO)_j}{q_j})),$$

$$(HO)_k = \frac{q_k}{\alpha_k} (\frac{(HO)_Q}{Q_0} - (\sum_{i=1}^{m-1} (+\alpha_i) \frac{(HO)_i}{q_i} + \sum_{j=1}^p (-\alpha_j) \frac{(BO)_j}{q_j})).$$

2. Якщо компенсатор зменшуюча характеристика, коли $(-\alpha_k)$

$$(BO)_k = -\frac{q_k}{\alpha_k} (\frac{(HO)_Q}{Q_0} - (\sum_{i=1}^m (+\alpha_i) \frac{(HO)_i}{q_i} + \sum_{j=1}^{p-1} (-\alpha_j) \frac{(BO)_j}{q_j})),$$

$$(HO)_k = -\frac{q_k}{\alpha_k} (\frac{(BO)_Q}{Q_0} - (\sum_{i=1}^m (+\alpha_i) \frac{(BO)_i}{q_i} + \sum_{j=1}^{p-1} (-\alpha_j) \frac{(HO)_j}{q_j})).$$

Підставляємо цифри та знаходимо відхилення з розмірністю в даних одиницях виміру компенсуючої характеристики.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з основними визначеннями та порядком розрахунку параметричної точності.
2. Отримати завдання від викладача по знаходженню параметричної точності з задач 1-3.
3. Уважно ознайомитись з завданням.
4. З теоретичної частини роботи обрати необхідні варіанти розрахунку та формули по забезпеченню заданої параметричної точності.
5. Розв'язати задачу двома методами. Відповіді за умовою задачі при вірному розв'язку повинні співпадати.
6. Оформити звіт згідно стандарту, записав умову, дані та розв'язок за кожним з методів.
7. Зробити висновки по роботі.

Задача 1

Параметрична точність функціональних елементів

Визначити точність виконання жорсткості Z Н/мм гвинтової пружини стиснення пневмодроселя пневморедуктора по заданим допускам величин, що її визначають, коли рівняння зв'язку або передаточна функція дорівнює

$$Z_0 = \frac{P}{h} = \frac{Gd^4}{8D^3n} \quad \text{або} \quad Z_0 = G^1 d^4 8^{-1} D^{-3} n^{-1} \quad (\text{Н/мм})$$

Пружина виконана з вуглеводистої сталі У7А, коли $G = 8 \cdot 10^4$ МПа

№ п/п	Параметри	Варіант 1		Варіант 2		Варіант 3	
1	Модуль пружності другого роду G , МПа	$8 \cdot 10^4$	$\delta_G = +1 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^4$	$\delta_G = +1200$	$8 \cdot 10^4$	$\delta_G = +1300$
2	Діаметр дроту пружини d , мм	1,5	$\delta_d = -0,03$	1,8	$\delta_d = -0,04$	2	$\delta_d = -0,05$
3	Середній діаметр пружини D , мм	15	$\delta_D = +0,3$	20	$\delta_D = +0,4$	25	$\delta_D = +0,5$
4	Число витків пружини, n	8	$\delta_n = -0,1$	10	$\delta_n = -0,12$	12	$\delta_n = -0,15$

Задача 2

Параметрична точність функціональних елементів

Для усунення бокового зазору в зубчастому кінематичному ланцюгу манометричного приладу на вихідний вал редуктора встановлюється плоска спіральна пружина – волосок, яка забезпечує постійну напругу в ланцюгу за рахунок крутячого моменту M_0 :

$$M_0 = Bh^3E\gamma/12l$$

Забезпечити потрібний крутячий момент пружини за рахунок підбору компенсуючого параметру – її довжини l при наступних значеннях величин та їх відхилень: пружини з вуглеводистої сталі, коли $E = 22 \cdot 10^4$ МПа; кут $\gamma = 1$ радіан

№ п/п	Параметри	Варіант 1		Варіант 2		Варіант 3	
1	Крутячий момент M_0 , Нсм		$\delta_m = \begin{smallmatrix} +0,1 \\ -0,3 \end{smallmatrix}$		$\delta_m = \begin{smallmatrix} +0,15 \\ -0,2 \end{smallmatrix}$		$\delta_m = \begin{smallmatrix} +0,2 \\ -0,2 \end{smallmatrix}$
2	Ширина стрічки, b , мм	2,2	$\delta_b = -0,3$	2,5	$\delta_b = -0,2$	4	$\delta_b = -0,2$
3	Товщина стрічки h , мм	0,2	$\delta_h = -0,01$	0,4	$\delta_h = -0,02$	0,5	$\delta_h = -0,03$
4	Модуль пружності E , МПа	$22 \cdot 10^4$	$\delta_E = 1 \cdot 10^4$	$22 \cdot 10^4$	$\delta_E = 1 \cdot 10^4$	$22 \cdot 10^4$	$\delta_E = 2 \cdot 10^4$
5	Довжина стрічки l , мм	100	$\delta_l =$	50	$\delta_l =$	200	$\delta_l =$

Задача 3.

Параметрична точність функціональних перетворюючих пристроїв.
Визначити точність роботи кільцевого потенціометра з мідною обмоткою по куту повороту струмоз'ємника

$$R_\gamma = \varphi(\gamma), \text{ Ом, якщо } R_\gamma = \frac{4\rho l_b}{\pi d^2} n_\gamma, \text{ де } n_\gamma = \gamma \frac{\pi D}{360t}$$

№ п/п	Параметри	Варіант 1		Варіант 2		Варіант 3	
1	Питомий опір проводу ρ , Ом•мм ² /м	$17 \cdot 10^{-6}$	$\delta_\rho = +1 \cdot 1$	$17 \cdot 10^{-6}$	$\delta_m = \begin{smallmatrix} +0,15 \\ -0,2 \end{smallmatrix}$	$17 \cdot 10^{-6}$	$\delta_m = \begin{smallmatrix} +0,2 \\ -0,2 \end{smallmatrix}$
2	Діаметр проводу, d , мм	0,25	$\delta_d = -0,0$	0,3	$\delta_d = -0,02$	0,4	$\delta_d = -0,03$
3	Довжина витка l_b , мм	20	$\delta_{l_b} = +0,2$	30	$\delta_{l_b} = +0,3$	40	$\delta_{l_b} = +0,4$
4	Крок намотування t , мм	0,25	$\delta_t = \pm 0,02$	0,6	$\delta_t = \pm 0,03$	0,8	$\delta_t = \pm 0,05$
5	Діаметр каркасу D , мм	50	$\delta_D = -0,1$	80	$\delta_D = -0,1$	100	$\delta_D = -0,1$
6	Кут оберту струмознімача γ , гр	60°	$\delta_\gamma = -0,5$	90°	$\delta_\gamma = -1^\circ$	120°	$\delta_\gamma = -1^\circ$

Контрольні питання

1. Параметрична точність функціональних елементів.
2. Методи розрахунку параметричної точності.
3. Пряма та обернена задачі при розрахунку параметричної точності.
4. Метод часткового диференціювання.
5. Метод відносної точності.

Вимоги до звіту

У звіті навести всі розрахунки параметричної точності при прямій і оберненій задачі відповідно до варіанту завдання. Метод розв'язку визначає викладач. Зробити висновки по виконаній роботі.

Література

1. Румбешта В. О. Основи технології складання приладів [Текст]: Підручн. / В. О. Румбешта / – К.: Інститут системних досліджень освіти України, 1993. – 301 с.
2. Асс Б. А., Уразаев З. Ф., Мясников Б. Я. Сборка, регулировка и испытания приборов [Текст]: Підручн. / Б. А. Асс, З. Ф. Уразаев, Б. Я. Мясников / – М.: Машиностроение, 1969. – 314 с.
3. Ларин В. П. Технология намотки в приборо- и электроаппаратостроении [Текст]: Навч. посіб./ В. П. Ларин / – СПб.: Санкт – Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2003. – 56 с.
4. Новиков М. Л. Основы технологии сборки машин и механизмов [Текст]: Підручн. / М. Л. Новиков / – М.: Машиностроение, 1980. – 592 с.
5. Баришніков В. Н., Шоботенко Н. С. Монтаж радіоелектронної апаратури [Текст]: Підручн. / В. Н. Баришніков, Н. С. Шоботенко / – К.: Техніка, 1986. – 269 с.
6. Буловський П. И. Основы сборки приборов [Текст]: Підручн. / П. И. Буловський / – М.: Машиностроение, 1970. – 200 с.