

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**В. І. САВЧУК, О. В. ІВЧЕНКО**

# **Наукові основи складання машин**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ



Суми  
Сумський державний університет  
2013

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

# **Наукові основи складання машин**

## **КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

для студентів освітньо-кваліфікаційних рівнів  
«магістр» і «спеціаліст» спеціальності 8 (7). 05050201  
«Технології машинобудування»  
усіх форм навчання

Затверджено  
на засіданні кафедри  
технології машинобудування,  
верстатів та інструментів  
як конспект лекцій з  
дисципліни «Наукові основи  
складання машин».  
Протокол № 8 від 15.01.2013 р.

Суми  
Сумський державний університет  
2013

## ЗМІСТ

Вступ.....	С.	5
1 Проектування технологічних процесів складання виробів.....		7
1.1 Службове призначення виробу та опис його роботи....		7
1.2 Аналіз або укладання технічних вимог і норм точності на виріб.....		14
1.3 Вибір та обґрунтування методу досягнення потрібної норми точності виробу.....		29
1.4 Розроблення технологічних схем складання виробу....		42
1.5 Тип виробництва і організаційні форми виробничого процесу складання виробів.....		51
1.6 Вибір засобів поліпшення праці та збільшення її продуктивності.....		61
1.7 Нормування, визначення трудомісткості складання....		64
1.8 Критерії оцінювання техніко-економічної ефективності різних варіантів складання.....		74
Питання для самоперевірки.....		80
2 Методи і засоби контролю якості виробів.....		82
2.1 Похибки складальних процесів.....		82
2.2 Види контролю.....		88
2.3 Методи контролю точності виробів та їх вузлів.....		96
2.4 Випробування складених виробів.....		99
2.5 Фарбування виробів.....		102
2.6 Сушіння лакофарбових поверхонь виробів.....		104
Питання для самоперевірки.....		105
3 Особливості досягнення потрібної точності типових вузлів виробів.....		107
3.1 Монтаж валів.....		107
3.2 Монтаж зубчастих передач.....		120
Питання для самоперевірки.....		131

4	Технологія балансування.....	132
4.1	Одиниці вимірювання дисбалансів та основні поняття технології балансування.....	132
4.2	Структура технологічного процесу балансування.....	133
4.3	Пристрої та верстати для балансування.....	135
4.4	Способи усунення дисбалансів ротора.....	139
4.5	Точність балансування.....	140
	Питання для самоперевірки.....	142
5	Автоматичне складання виробів.....	143
5.1	Теоретичні положення автоматичного складання.....	144
5.2	Автоматичне складання із застосуванням складальних машин.....	149
5.3	Автоматичне складання із застосуванням промислових роботів.....	153
	Питання для самоперевірки.....	155
6	Приклади окремих етапів розроблення технологічного процесу складання виробів.....	156
6.1	Розроблення технологічного процесу складання ротора.....	156
6.2	Розроблення технологічного процесу складання двоходового крана.....	179
6.3	Розроблення технологічного процесу складання механізму перемикання швидкості.....	190
	Список літератури.....	210



## ВСТУП

Складання є кінцевим і найбільш відповідальним етапом виробництва, де інтегруються результати всіх попередніх етапів виробництва і формуються основні показники виробів. За результатами аналізу вивчення технологічних процесів у різних видах виробництв, процеси складання займають до 80 % від усього обсягу виробництва. У багатьох випадках складальні роботи виконуються ручною працею, маломеханізовані та автоматизовані і займають значний відсоток у загальній структурі трудомісткості виробництва машин (25 – 40 %) і приладів (40 – 70 %). Трудомісткість складальних робіт на виробництвах машино- та приладобудування здебільшого значно більша від трудомісткості механічної обробки різанням або методів виготовлення заготовок.

Удосконалення процесів складання є найбільш перспективним напрямком зростання машино- та приладобудування і здійснюється за допомогою підвищення технологічності конструкцій виробів, рівня автоматизації, застосування нових методів і засобів складання і т. ін.

Вирішувати ці завдання повною мірою покликана дисципліна «Наукові основи складання машин», яка є основою з підготовки спеціалістів і магістрів за спеціальністю 8 (7). 05050201 «Технології машинобудування». Мета викладання дисципліни полягає в набутті практичних навичок із проектування передової технології складання виробів, вивчення сучасних методик і розрахунків, пов'язаних із вимогою до їх точності та кількості випуску. Дисципліна забезпечує підготовку кваліфікованих спеціалістів і є основним курсом, знання якого дозволяє вирішувати питання, пов'язані із собівартістю виготовлення машин і витратами праці.

У разі вивчення дисципліни «Наукові основи складання машин» студенти повинні уміти визначати службове призначення машини; розуміти зв'язки, за якими машина повинна виконувати заданий процес; виявляти механізм дії

зв'язків машини і вміти проектувати оптимальний технологічний процес складання.

Перелік питань, викладений у робочій програмі дисципліни, повинен вирішуватися за наявності навчальної, наукової та методичної літератури. Аналіз існуючої літератури визначив неузгодженість або відсутність матеріалу згідно із змістом робочої програми. Так, відсутня література, де б була подана методика виявлення і аналізу технічних вимог та норм точності на виріб. Дуже стисло викладена послідовність розкриття розмірних зв'язків у процесі складання, методика компонування структури операції за технологічними переходами, приклади побудови технологічних процесів складання в умовах різних типів виробництв. Розроблений конспект лекцій повинен вирішити поставлені завдання, об'єднати комплекс навчальних матеріалів, потрібних для технологічної підготовки студентів машинобудівних спеціальностей у галузі складання машин і механізмів.

Таким чином, метою запропонованого конспекту лекцій із дисципліни «Наукові основи складання машин» є формування у студентів знань та вмінь, необхідних для розроблення сучасних технологічних процесів складання машин і виробів.

# 1 Проектування технологічних процесів складання виробів

## 1.1 Службове призначення виробу та опис його роботи

Складання є одним із заключних етапів виготовлення виробу (машини), в якому виявляються результати виконаної роботи конструкторами і технологами. Якість виробу і трудомісткість складання залежать від того, як сприйнято конструктором і втілено в конструкції службове призначення виробу, як установлені норми точності, наскільки вдало вибрані засоби досягнення необхідної точності виробу (машини), і як ці засоби реалізуються в технології виготовлення машини [1 – 4].

У технологічному процесі виготовлення машини складанню належить провідна роль. Технологічні процеси виготовлення деталей часто виявляються підпорядкованими технології складання машини. Тому спочатку розроблюється технологія складання. Цьому повинні передувати вивчення службового призначення машини (виробу) та аналіз відповідності його технічних вимог (ТВ) і норм точності.

Кожна машина (виріб) призначена для задоволення вимог людини. Ця вимога відображається у службовому призначенні машини. Службове призначення машини повинно містити вичерпні дані про продукцію, яку належить їй виробляти: вид, кількість, якість. Тому, перш ніж розпочати створення машини, необхідно виявити і чітко сформулювати службове призначення машини (виробу).

*Під службовим призначенням* машини розуміють максимально уточнену і чітко сформульовану задачу, для розв'язання якої і призначається машина (виріб) [3].

Службове призначення машини повинно містити перелік умов, в яких машина (виріб) буде працювати, виготовляти продукцію потрібної якості у необхідній кількості. Перелік умов беруть із опису технологічного процесу виготовлення продукції. До цього переліку вміщують:

- комплекс показників якості продукції із допустимими відхиленнями;
- споживану енергію;
- режим роботи машини (виробу);
- стан навколишнього середовища.

До службового призначення машини як складова частина можуть належати:

- показники економічної ефективності;
- показники надійності;
- показники продуктивності;
- додаткові вимоги при проектуванні виробу (зовнішній вигляд, безпека праці, зручність та простота обслуговування, управління, рівень ККД і т. ін.).

Аналіз технологічного процесу дозволяє виявити основні закономірності його проходження, межі зміни чинників, що впливають на його стан. У цьому полягає складність аналізу, адже технологічний процес виробу не може бути спроектований ідеально. Він проектується для визначених умов з урахуванням меж зміни якості вихідного продукту, виду і меж зміни кількості споживаної енергії, змін зовнішніх умов (температури, вологості, запилення повітря і т. ін.). Таким чином, щоб машина змогла виконати нормально свої функції, реалізувати своє службове призначення, потрібно встановити граничні межі чинників, які впливають на стан процесу.

*Під технологічним процесом* необхідно розуміти реалізацію машиною сукупності послідовних дій, спрямованих на досягнення визначеного результату. Такий процес практично завжди змінюється, і за часом не залишаються постійними ні якість вихідного продукту, ні кількість наданої енергії, коливаються зовнішні параметри і стан машини.

Приклад. Поставлена задача: виконати обробку ступінчастих валиків середніх розмірів діаметром  $d = 35 - 60$  мм, довжиною  $L = 150 - 600$  мм із сталі 45 ГОСТ 1050-88.

Для розв'язання цієї задачі необхідно створити токарний верстат.

Поставлена задача недостатньо уточнює і нечітко формулює службове призначення потрібного верстата.

По-перше, не обумовлена точність діаметрів і довжин ступінчастих валиків, шорсткість поверхонь, технічні вимоги із взаємного положення оброблюваних поверхонь.

По-друге, не зазначена продуктивність, відсутня програма випуску цих деталей.

По-третє, не наведений режим обробки деталей, тип заготовок, умови, в яких буде працювати верстат (похибки температури навколишнього середовища, вологість, запиленість повітря, рівень шуму і т. п.).

Можна запропонувати більш точне формулювання службового призначення верстата.

1 Верстат повинен забезпечувати обробку ступінчастих валиків діаметром  $d = 35 - 60$  мм, довжиною  $L = 150 - 600$  мм із сталі 45 ГОСТ 1050-88; коливання твердості заготовки НВ 229 – 241.

2 Точність діаметральних розмірів не нижче сьомого квалітета точності; відхилення лінійних розмірів не більше 0,1 мм; похибки форми поверхонь валика не повинні виходити за межі (0,5 допуску) допусків на розмір, шорсткість поверхонь  $Ra = 6,3 - 3,2$  мкм.

3 Продуктивність верстата не менше 150 валиків за зміну (для  $d = 45$  мм;  $L = 300$  мм).

4 Відхилення припуску заготовок у межах 0,5 – 1,5 мм, матеріал різального інструменту – титановольфраміві сплави Т5К10, Т15К6, Т14К8, Т30К4. Вони вміщують 66 – 55 % карбідів вольфраму; 5 – 30 % карбиду титану; 4 – 10 % кобальту (цифри за буквами позначають відповідно відсоток карбідів титану і кобальту). Потрібно передбачити швидкісний діапазон роботи верстата, що виключає наростування, вібрації.

Однак і наведене формулювання недостатньо розгорнуте,

щоб створити і випустити верстат, який відповідає своєму службовому призначенню.

Про більш докладне уточнення службового призначення аналогічного верстата можна прочитати у методичних вказівках до виконання розділу дипломного проекту «Аналіз службового призначення виробів та технічних вимог до них» [8].

Досвід машинобудування показує, що помилки, допущені при виявленні і уточненні службового призначення машини (виробу) призводять до створення неякісної машини, викликають додаткові затрати праці на виготовлення і експлуатацію, збільшують строки її освоєння.

Необхідно зазначити, кожна машина (виріб) визначає своє службове призначення за допомогою ряду поверхонь або їх сполучень. Ці поверхні або їх сполучення називають виконавчими поверхнями.

**Виконавчі поверхні** – це поверхні або їх сполучення, за допомогою яких деталі виконують своє службове призначення безпосередньо. Прикладом виконавчих поверхонь (ВП) токарного верстата, на якому виконуються різні способи обробки заготовок із заданими вимогами (див. рис. 1.1, 1.2, 1.3), будуть сполучення поверхонь переднього кінця шпинделя, пінолі задньої бабки і різцетримача, за допомогою яких верстат виконує своє службове призначення (див. рис. 1.4, 1.5, 1.6).

Дійсно, на рисунку 1.4 конічна поверхня ВП1 шпинделя, отвір у пінолі задньої бабки ВП2 і поверхні різцетримача ВП3 визначають положення оброблюваного вала в центрах. Це є комплексом виконавчих поверхонь, які виконують технічні вимоги креслення (див. рис. 1.1). На фланець переднього кінця шпинделя (див. рис. 1.5) монтується повідковий патрон, через ВП1 якого оброблюваній деталі передається обертальний рух. Поверхні ВП2 різцетримача визначають положення різців відносно оброблюваної деталі і безпосередньо передають їм необхідний для обробки рух. Названі поверхні виконують технічні вимоги щодо відхилення від співвісності і

непаралельності ступенів валика (див. рис. 1.2). Такий самий приклад наведений на рисунках 1.3 і 1.6, де виконується обробка валика в патроні з використанням задньої бабки.

В інших виробках ВП може бути поверхня зубчастої передачі, оскільки бокові робочі поверхні зубців пари зубцевих коліс працюють сумісно.

ВП двигуна автомобіля, який розглядається як механізм, призначений для перетворення теплової енергії в механічну, є поверхні поршня і робочого циліндра.

Наведені приклади дають підставу вважати цей етап розроблення технологічного процесу складання виробу необхідним і відповідальним. Він дозволяє встановити, розробити і забезпечити необхідні зв'язки всіх складових компонентів при виготовленні машини відповідно до її службового призначення.

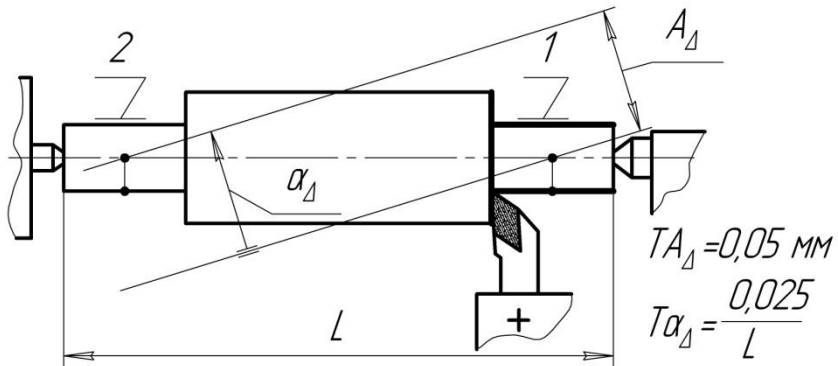


Рисунок 1.1 – Обробка вала в центрах:

$A_{\Delta}$  – відхилення від співвісності двох ступенів вала 1 і 2;

$\alpha_{\Delta}$  – відхилення від паралельності

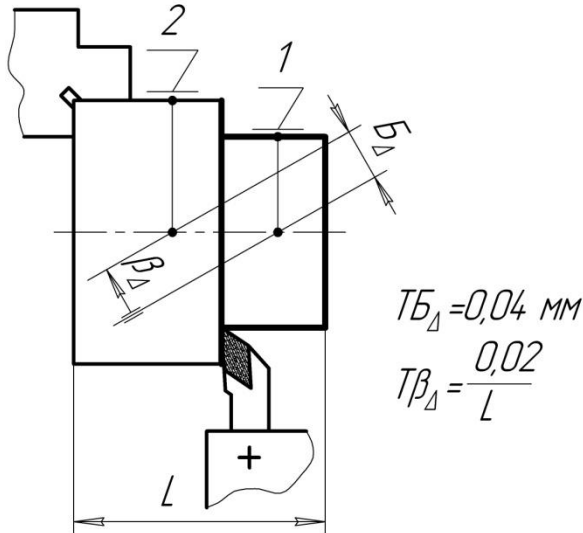


Рисунок 1.2 – Обробка валика в патроні:

$T\beta_{\Delta}$  – відхилення від співвісності двох ступенів вала;  
 $\beta_{\Delta}$  – непаралельність (поворот) осі 1 ступеня валика  
 відносно осі 2

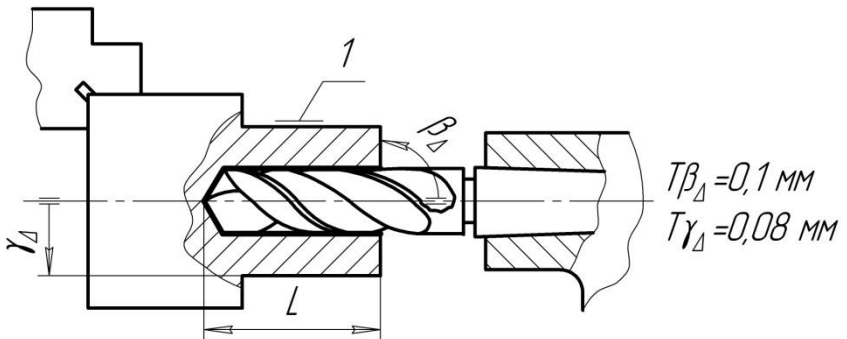


Рисунок 1.3 – Обробка валика в патроні з використанням  
 задньої бабки:  $\beta_{\Delta}$  – відхилення від перпендикулярності  
 осі отвору відносно торця валика;  $\gamma_{\Delta}$  – відхилення від  
 співвісності осі отвору відносно поверхні 1



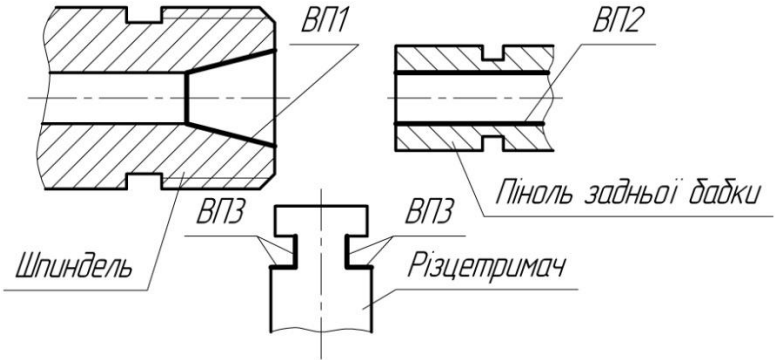


Рисунок 1.4 – Виконавчі поверхні при обробці вала в центрах

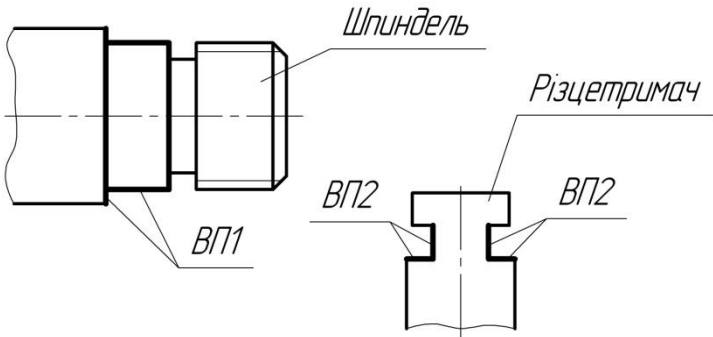


Рисунок 1.5 – Виконавчі поверхні при обробці валика в патроні

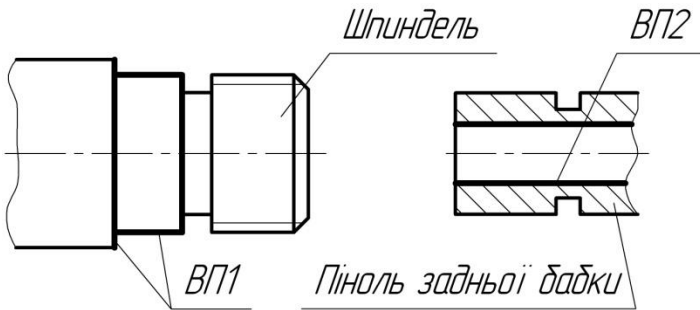


Рисунок 1.6 – Виконавчі поверхні при обробці валика в патроні з використанням задньої бабки

Таким чином, технолог, який розпочинає проектування технології виготовлення машини і є відповідальним за її здачу замовнику, повинен критично оцінити формулювання службового призначення машини. Помилки у визначенні службового призначення машини (її замислу) не піддаються виправленню і у багатьох випадках призводять до неповноцінної або непридатної конструкції.

## **1.2 Аналіз або укладання технічних вимог і норм точності на виріб**

Після того як чітко сформульоване службове призначення машини (виробу) з їх якісних і кількісних показників, складаються (або уточнюються шляхом аналізу) технічні вимоги і норми точності на виріб. Відбувається перехід від службового призначення до призначення зв'язків між виконавчими поверхнями деталей у виробі.

Розроблення технічних вимог і норм точності на створювану машину (виріб) є складним завданням. Технологам доводиться уточнювати і навіть доповнювати відсутні технічні вимоги або переводити на мову цифр умови, які задані у неявній формі.

Розробленню чи проведенню аналізу відповідності технічних вимог і норм точності службовому призначенню машини (виробу) можуть сприяти:

- 1) теоретичні дослідження суті явищ, які сприяють роботі машини;
- 2) експерименти на дослідних зразках, макетах або перших екземплярах машини;
- 3) вивчення досвіду експлуатації аналогічних машин у минулому;
- 4) судження логічного характеру на підставі досвіду, яким володіє технолог, що виконує аналіз.

Вихідними даними для встановлення норм точності виробу є вимоги до якості продукції, її продуктивності, довговічності, яку повинна виготовляти машина. Для дотримання цих вимог

необхідно забезпечити точність форм, розмірів, відносного положення і напрямку руху виконавчих поверхонь машини (виробу), встановити точність розмірних зв'язків між ними.

Щоб забезпечити перехід від вимог службового призначення до розмірних параметрів машини, потрібно:

- 1) виявити виконавчі поверхні виробу;
- 2) визначити вид зв'язків виконавчих поверхонь, шляхом яких машина повинна здійснювати технологічний процес і виробляти продукцію;
- 3) здійснити перехід від номінальних значень і допусків параметрів продукції і процесу до параметрів зв'язків виконавчих поверхонь машини;
- 4) перетворити в номіналах і допусках параметри різного роду зв'язків ВП і встановити норми точності форми, розмірів, відносного положення і напрямку руху виконавчих поверхонь машини.

Перехід від параметрів якості продукції і процесу до параметрів зв'язків ВП машини або перетворення цих зв'язків може бути здійснений таким шляхом [2].

Якщо параметр « $Y$ » відображає службове призначення машини або вид зв'язку її виконавчих поверхонь і перебуває у функціональній залежності від параметрів  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , то в загальному вигляді ця залежність може бути подана виразом

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (1.1)$$

Щоб скласти вихідне рівняння, потрібно вивчити явища, які виникають під час роботи машини, а також оцінити ці явища з якісного боку. Якісна оцінка дозволяє виявити причини виникнення відхилень роботи машини та їх структуру.

Розв'язанням вихідного рівняння є встановлення номінальних значень аргументів  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , які задовольняють номінальне значення функції « $Y$ ». Величини  $x_1, x_2, \dots, x_n$  мають випадковий характер і повинні обмежуватися допусками, виходячи із допуску  $T_y$  на відхилення значення функції « $Y$ » за формулою

$$T_y = \sqrt{\sum_i \left(\frac{\partial y}{\partial x_i}\right)_{x_i}^2 \cdot K_{x_i}^2 \cdot T_{x_i}^2}, \quad (1.2)$$

де  $\frac{\partial y}{\partial x_i}$  – передавальне відхилення, яке враховує ступінь впливу відхилення аргументу  $x_i$  на відхилення функції « $Y$ »;

$i$  – номер аргументу;

$K_{x_i}$  – коефіцієнт, що враховує закон розсіювання відхилень аргументу  $x_i$  (якщо нормальний закон розсіювання, то  $K_{x_i} = 1$ );

$T_{x_i}$  – поле допуску, яке обмежує відхилення аргументу.

Для визначення місцезнаходження допусків  $T_{x_i}$  відносно номінальних значень аргументів потрібно встановити їх середні допустимі значення  $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n$ , виходячи із середніх допустимих значень « $\bar{Y}$ » функції, використовуючи формулу

$$\bar{Y} = f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n). \quad (1.3)$$

Якщо можливо сумістити середні допустимі значення аргументів із їх номінальними значеннями, то значення координат середин полів допусків  $E_c x_i = 0$ , оскільки

$$E_c x_i = \bar{x}_i - x_i. \quad (1.4)$$

Таким чином, задача переходу від параметрів службового призначення машини до параметрів розмірних зв'язків її виконавчих поверхонь зводиться до встановлення номінальних значень  $x_i$ , а також значень  $T_{x_i}$ ,  $\bar{x}_i$ , виходячи відповідно із значень  $Y$ ,  $T_y$  і  $\bar{Y}$ , які є умовами задачі.

У проектних задачах при  $n$  невідомих аргументах є лише одне рівняння, яке встановлює зв'язок відповідних величин. Тому підбір номінальних значень аргументів або їх допусків дає нескінченно велику кількість розв'язувань. Наскільки вдале те чи інше розв'язування, можна оцінити за результатом техніко-економічного розрахунку.

У більшості випадків складання строгих математичних залежностей ускладнене. У таких випадках розроблення норм точності базується на експерименті, досвіді та логіці.

Наведений підхід до розроблення норм точності і технічних вимог є загальним і однаковою мірою поширюється на зв'язки в машині, які відображені як лінійними, так і нелінійними рівняннями.

Якщо виявлена лінійна залежність, то перехід від службового призначення машини до зв'язків її виконавчих поверхонь і розроблення норм точності проводять на підставі теорії розмірних ланцюгів (РЛ).

Розглянемо такий випадок на прикладі агрегатного верстата. ВП агрегатного верстата є поверхні отворів у шпинделях, де встановлюється різальний інструмент; базові поверхні кондуктора, який є складовою частиною верстата; поверхні отворів кондукторних втулок, потрібних для надання напрямку руху свердликів. Виявимо ТВ до геометричної точності верстата, тобто до розмірних зв'язків його ВП, виходячи із потрібної точності розмірів і положення оброблюваних отворів.

Припустимо, що на агрегатному верстаті свердлять вісім отворів у шестірні, зенкують фаски і нарізають різь  $M8 \times 1,25 - 7H$  (див. рис. 1.7). Решта ТВ подані на кресленні шестірні.

Матеріал заготовки – сталь 12ХНЗ, НВ163 – 197, маса 19,5 кг. Температура заготовок  $20 (+ 20; - 10) ^\circ C$ , повітря в цеху  $(20 \pm 4) ^\circ C$ . Продуктивність верстата 150 деталей за годину. Довговічність верстата 8 років. Заготовка – поковка, торці Б і С,  $\varnothing 80 (+ 0,02; 0)$  попередньо оброблені, схема базування шестірні на агрегатному верстаті наведена на рисунку 1.7.

У текстовій частині службового призначення зазначено:

- 1) свердла, рух яких спрямовується кондукторними втулками, повинні забезпечувати діаметри отворів із точністю 0,16 мм;
- 2) кондукторні втулки повинні задавати правильний напрямок руху свердла і забезпечити радіальне положення отворів із точністю 0,15 мм;

3) свердла, які входять у отвори втулок, не повинні деформуватися.

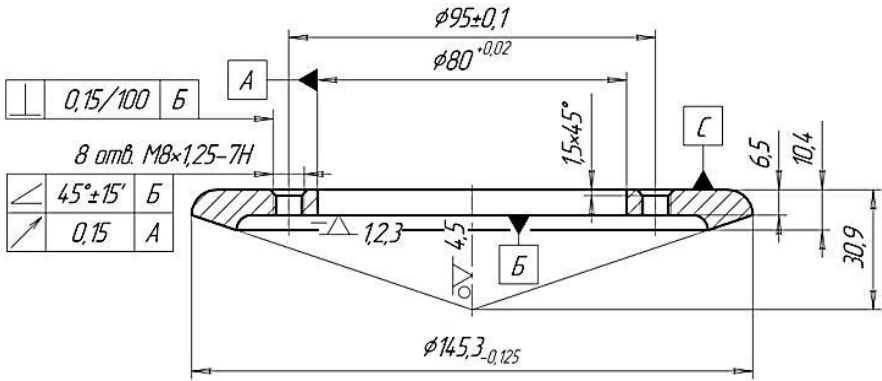


Рисунок 1.7 – Креслення шестірни

Похибки  $\omega$  будь-якого розміру, який витримується при обробці заготовки, визначаються за формулою

$$\omega = \omega_y + \omega_c \pm \omega_d, \quad (1.5)$$

де  $\omega_y$  – похибка установки заготовки;

$\omega_c$  – похибка статичного настроювання технологічної системи;

$\omega_d$  – похибка динамічного настроювання технологічної системи.

Потрібна умова витримування будь-якого розміру

$$T \geq T_y + T_c + T_d, \quad (1.6)$$

де  $T$  – допуск розміру, який витримується;

$T_y$ ,  $T_c$  і  $T_d$  – відповідні допуски на кожну складову похибку обробки ( $\omega_y$ ,  $\omega_c$ ,  $\omega_d$ ).

Виріб, що складається, – агрегатний верстат, і точність його вузлів досягається точністю статичного настроювання. Тому допуски на показники геометричної точності верстата потрібно встановлювати виходячи із допуску  $T_c$ .

По-перше, діаметр оброблюваного отвору  $D_{\text{отв}} = 6,75$  мм залежить від точності діаметра свердла  $D_{\text{св}} = 6,75$  мм і величини  $\Delta_{\text{розб}}$  розбивки отвору свердлом. За даними практичних досліджень,  $\Delta_{\text{розб}}$  залежить від зазору  $\Delta$  між свердлом і кондукторною втулкою і приблизно дорівнює  $\Delta_{\text{розб}} = 2\Delta$ .

По друге, якщо  $T_{\text{отв}} = T = 0,16$  мм, то згідно з формулою (1.6)

$$T = 0,16 = 0 + 0,08 + 0,08 \text{ (мм)},$$

де  $T_{\omega_y} = 0$  мм;  $T_{\omega_c} = 0,08$  мм;  $T_{\omega_d} = 0,08$  мм.

Тому величиною для розрахунків є  $T_c = 0,08$  мм.

По-третє, розбивка отвору дуже істотна, за приблизним розрахунком одержаного допуску  $T_c = 0,08$  мм, можна обмежити розбивку отвору свердлом.

$$\text{Тоді } \Delta^{\text{нб}} = \Delta_{\text{розб}} / 2 = T_c / 2 = 0,08 / 2 = 0,04 \text{ мм.}$$

По-четверте, зазор між свердлом і втулкою залежить від їх діаметрів і можна встановити допуск на відхилення діаметра свердла  $\Delta_{\text{св}}$ , отвору втулки  $\Delta_{\text{вт}}$ , норми зношення свердла  $\Delta_{\text{зн.св}}$  і втулки  $\Delta_{\text{зн.вт}}$  за формулою

$$\Delta^{\text{нб}} \geq \sqrt{\Delta_{\text{св}}^2 + \Delta_{\text{вт}}^2 + \Delta_{\text{зн.св}}^2 + \Delta_{\text{зн.вт}}^2}, \quad (1.7)$$

де  $\Delta_{\text{св}}$ ;  $\Delta_{\text{вт}}$  – допустимі відхилення діаметрів свердла і втулки відповідно;

$\Delta_{\text{зн.св}}$ ;  $\Delta_{\text{зн.вт}}$  – зношення свердла і втулки відповідно.

Потрібна кресленням точність радіального 0,15 мм і кутового ( $\pm 15'$ ) місцезнаходження кожного отвору забезпечується в процесі обробки. Ця точність розраховується після складання і розрахунку розмірних ланцюгів технологічної системи.

Складемо схему розмірних ланцюгів (РЛ) технологічної системи (ТС), за допомогою яких досягається точність положення одного із оброблюваних отворів  $\varnothing 6,75$  мм (під різь) (див. рис. 1.8).

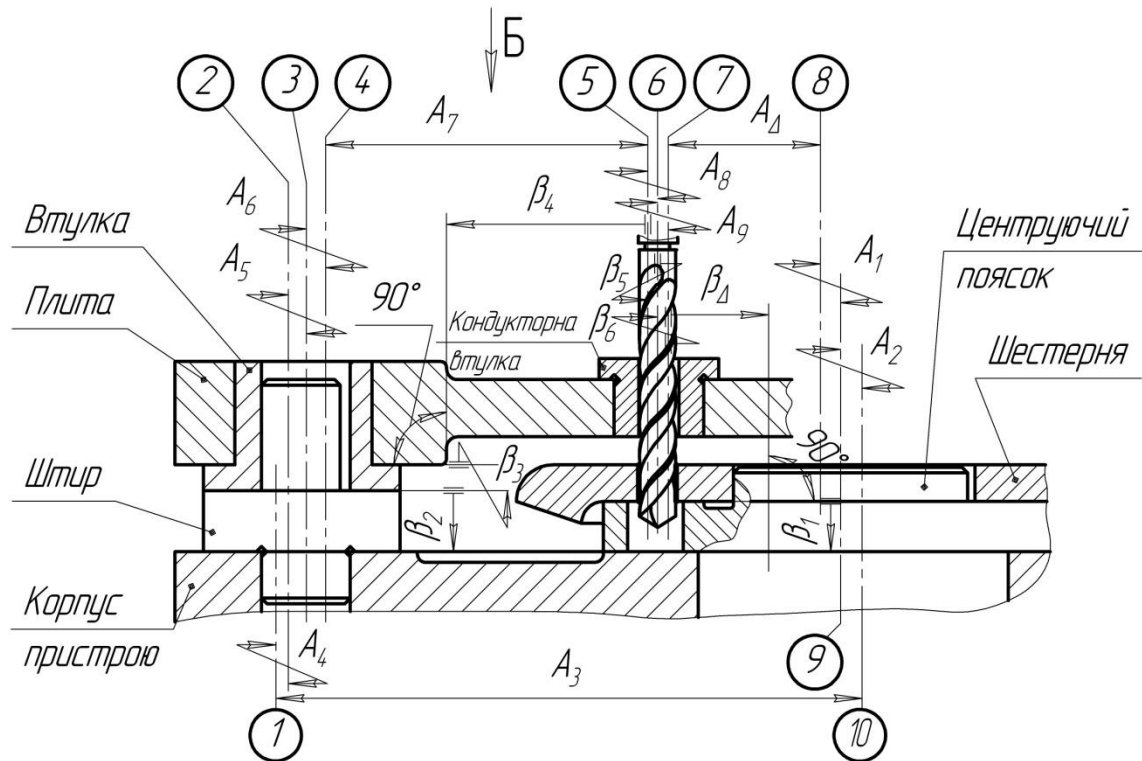


Рисунок 1.8, аркуш 1 – Схема РЛ технологічної системи агрегатного верстата



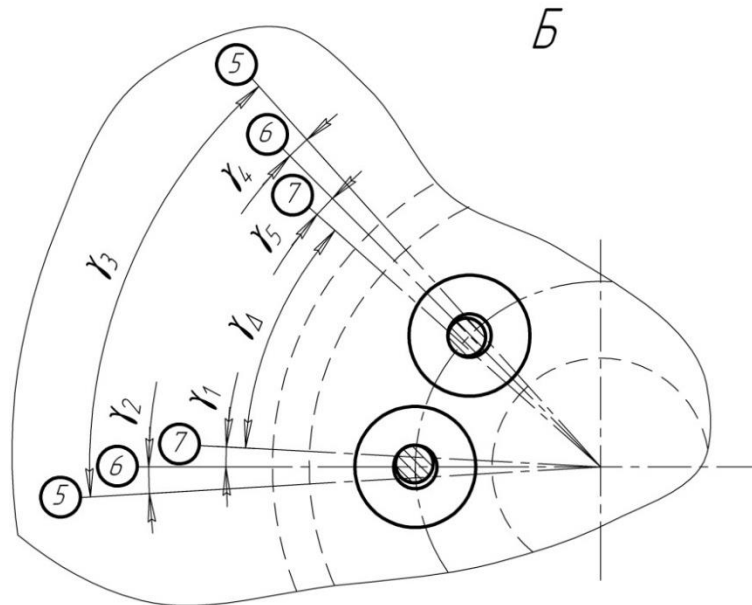


Рисунок 1.8, аркуш 2 – Схема РЛ технологічної системи агрегатного верстата (вигляд за стрілкою Б): 1 – вісь отвору пристрою; 2 – вісь базуючого штиря; 3 – вісь отвору втулки; 4 – вісь отвору плити; 5 – вісь отвору плити для кондукторної втулки; 6 – вісь отвору кондукторної втулки; 7 – вісь свердла; 8 – вісь базуючого отвору шестірні; 9 – вісь центрального пояса; 10 – вісь отвору корпусу пристрою для центрального пояса

На рисунку 1.8 показані РЛ «А», «β», «γ», за допомогою яких досягається точність відстані одного із оброблюваних отворів деталі від базуючого отвору, його перпендикулярність до установчої бази деталі і відносне кутове положення пари оброблюваних отворів. Замикальними ланками цих РЛ є дотримані відстані  $A_{\Delta}$  і кути  $\beta_{\Delta}$  та  $\gamma_{\Delta}$ .

Розрахунок допусків потрібно проводити із відповідних значень ТС, одержаних за результатом розподілу допусків на параметри положення отворів у деталі між трьома складовими похибками оброблення. Розрахунок повинен визначити:

- потрібну точність кондукторної плити;
- точність базування кондукторної плити щодо пристрою;
- точність базуючих елементів пристрою.

Щоб свердла не підлягали деформації при їх входженні в отвір втулки і зменшити тертя між ними, потрібно забезпечити відповідність осей свердла і втулки. У загальному випадку відповідність осей свердла і втулки може порушуватися внаслідок ряду причин, до яких слід віднести зміщення Б (див. рис. 1.9) і поворот  $\rho$  осі обертв свердла відносно осі отвору кондукторної втулки; радіальне биття свердла, яке спричиняється зміщенням В і поворотом  $\eta$  свердла відносно осі його обертання; непаралельність  $\mu$  напрямку руху свердла відносно осі отвору кондукторної втулки (див. рис. 1.9).

Щоб за наявності наведених відхилень запобігти деформації свердла, слід обмежити відхилення, виходячи із найменшого допустимого зазору між свердлом і втулкою.

Якщо найменший зазор  $\Delta^{\text{HM}} = 0,013$  мм дуже малий, то важко забезпечити при виготовленні верстата суму всіх відхилень. Тому доводиться допускати деформацію свердла при входженні в отвір втулки, підвищене зношення і обмежувати відхилення, які призводять до невідповідності осей свердла із втулкою, економічно припустимими допусками:  $T_B = 0,02$  мм;  $T_{\rho} = 0,02 / 150$  мм;  $T_B = 0,04$  мм;  $T_{\eta} = 0,04 / 150$  мм;  $T_{\mu} = 0,03 / 150$  мм.

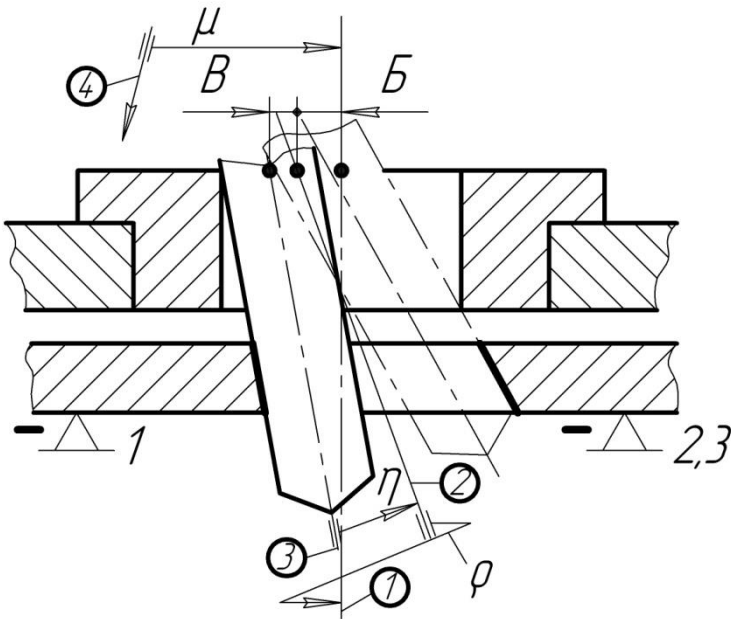


Рисунок 1.9 – Схема відхилення положення і напрямку руху свердла відносно осі отвору кондукторної втулки: 1 – вісь отвору; 2 – вісь обертання свердла; 3 – вісь свердла; 4 – напрямок руху свердла

Викладений підхід до розроблення норм точності і ТВ можна застосувати до будь-якого вузла виробу, наприклад, до плунжерного насоса, який застосовується у різних металооброблювальних верстатах (див. рис. 1.10).

Плунжерний насос потрібен для подачі мастила в мастильну систему верстата під тиском не менше 4,9 МПа в об'ємі 0,06 ... 0,08 л/хв з кількістю подвійних ходів плунжера  $100 \pm 10$  подв. ход/хв, ходом плунжера  $S = 6(0; -1)$  мм. Сила  $P$  на плунжері у початковий момент допоміжного ходу становить  $P = (40 \pm 10)$  Н. Насос повинен подавати мастило «Індустріальне-20» з температурою 20 – 80 °С.

Потрібно розв'язати задачу: «Забезпечити потрібну силу  $P$  на плунжері в межах усієї службової діяльності насоса».

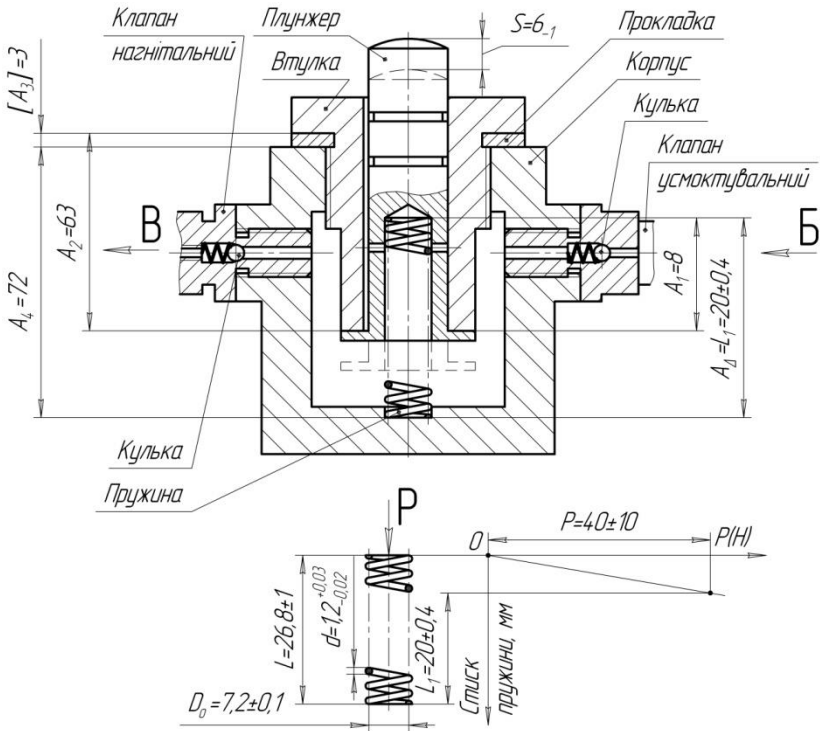


Рисунок 1.10 – Плунжерний насос: Б – усмоктування; В – нагнітання;  $i = 10 \pm 0,3$  – кількість робочих витків пружини

Сила  $P$  у початковий момент допоміжного ходу визначається нелінійним рівнянням за формулою

$$P = \frac{(L - L_1) \cdot G \cdot d^4}{8 \cdot D_0^3 \cdot i}, \quad (1.8)$$

де  $L$  і  $L_1$  – довжина пружини відповідно у вільному стані і під навантаженням  $P$ , мм;  $L = 26,8$  мм;  $L_1 = 20$  мм;

$G$  – модуль пружності другого роду, Па;  $G = 80000$  Па;

$d$  – діаметр дроту пружини, мм;  $d = 1,2$  мм;

$D_o$  – середній діаметр пружини, мм;  $D_o = 7,2$  мм;

$i$  – кількість робочих витків пружини;  $i = 10$ .

Розв’язанням рівняння (1.8) установлюються номінальні значення аргументів, які виходять із заданого службовим призначенням насоса номінального значення  $P = 40$  Н. Номінальні значення аргументів  $L$ ,  $L_1$ ,  $G$ ,  $d$ ,  $D_o$ ,  $i$  встановлювалися на підставі досвіду розв’язань подібних конструкцій насосів з урахуванням діючих нормативів у даній галузі промисловості. Це дозволило взяти номінальні значення аргументів, зазначених у рівнянні (1.8), як середні їх значення.

Для обмеження допусків випадкових відхилень аргументів від своїх середніх значень використовуємо формулу (1.2) з умовою, що  $K_{x_i} = 1$  (нормальний закон розсіювання),

тоді

$$T_P = \sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial L}\right)_L^2 \cdot T_L^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial L_1}\right)_{L_1}^2 \cdot T_{L_1}^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial G}\right)_G^2 \cdot T_G^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial d}\right)_d^2 \cdot T_d^2 + \dots} \dots$$

$$+ \left(\frac{\partial P}{\partial D_o}\right)_{D_o}^2 \cdot T_{D_o}^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial i}\right)_i^2 \cdot T_i^2. \quad (1.9)$$

Підставимо у формулу (1.9) значення частинних добутків і одержимо

$$T_P = \sqrt{\left(\frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D_o^3 \cdot i}\right)^2 \cdot T_L^2 + \left(\frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D_o^3 \cdot i}\right)^2 \cdot T_{L_1}^2 + \left[\frac{(L - L_1) \cdot d^4}{8 \cdot D_o^3 \cdot i}\right]^2 \cdot T_G^2 + \dots}$$

$$+ \left[\frac{(L - L_1) \cdot G \cdot d^3}{2 \cdot D_o^3 \cdot i}\right]^2 \cdot T_d^2 + \left[\frac{-3 \cdot (L - L_1) \cdot G \cdot d^4}{8 \cdot D_o^4 \cdot i}\right]^2 \cdot T_{D_o}^2 + \dots}$$

$$+ \left[\frac{-(L - L_1) \cdot G \cdot d^4}{8 \cdot D_o^3 \cdot i^2}\right]^2 \cdot T_i^2.$$

Обчислені значення часткових добутоків дають підставу розподілити допуск  $T_p$  між аргументами. При розподілі потрібно враховувати технологію виготовлення деталей плунжерного насоса і прагнути до найбільш економічного забезпечення вимог службового призначення насоса у разі відхилення сили  $P$  на плунжері. Припустимо, що найбільш раціонально допуск  $T_p$  розподілився між аргументами таким чином:  $T_L = 3$  мм;  $T_{L_1} = 0,8$  мм;  $T_G = 2000$  Па;  $T_d = 0,05$  мм;  $T_{D_0} = 0,2$  мм;  $T_i = 0,6$  витка.

Пошук оптимальних значень допусків на відхилення аргументів виконується як конструктором, так і технологом, ураховуючи їх компетенцію в цій галузі технології.

Аналіз числових значень аргументів з урахуванням працездатності виробу впродовж заданого строку служби показав, що деякі допуски потрібно зробити жорсткішими.

Так, на кінець роботи насоса через появу стомленості модуль пружності  $G$  матеріалу пружини зменшиться і через 10000 годин  $G = 70000$  Па, а тиск пружини  $P$  знизиться на 5 Н. Тому за розрахунком допусків потрібно виходити не із значення  $P = 40(\pm 10)$  Н, а  $P = 40(+ 10; -5)$  Н. Ця вимога забезпечиться за рахунок зміни допуску на довжину пружини у вільному стані. Таким чином,  $T_L = 2$  мм, а не  $T_L = 3$  мм, як було визначено раніше.

Подібним способом розробляються і складаються (або уточнюються) норми точності технологічних вимог будь-якого виробу, машини. Такий аналіз дуже необхідний. Чим якісніше він проведений технологом, тим менше недоліків можна очікувати при проектуванні технологічного процесу складання виробу.

Якщо технічні вимоги (норми точності) є на кресленні, то вони підлягають критичному аналізу їх відповідності службовому призначенню вузла. При недостатньому обґрунтуванні умов необхідно внести туди поправки та доповнення. До технічних вимог на складальних кресленнях

виробів можна віднести:

- точність просторового розміщення деталей, з яких складається виріб; паралельність і перпендикулярність осей валів і площин, радіальне і торцеве биття валів, зубчастих коліс, фланців;
- точність монтажних зазорів і натягів, що забезпечують нормальну роботу підшипників, зубчастих і черв'ячних зачеплень;
- характер і точність виконання з'єднань;
- необхідне зусилля або момент затягування відповідальних нарізних з'єднань (шпильок, болтів, гвинтів);
- щільність і герметичність стиків;
- зрівноваженість конструкції (допустиме значення дисбалансу);
- допустима температура нагрівання.

Аналізуючи задані конструктором вимоги на виготовлення виробу, технолог повинен визначити, якими технологічними способами можна забезпечити виконання кожної вимоги і як перевірити отримані результати.

Наприклад: а) точність посадки підшипника на вал забезпечується виготовленням шийки вала за шостим квалітетом з посадкою L0/k6, шорсткістю  $R_a = 0,63$  мкм і встановленням підшипника на вал пресуванням із застосуванням спеціального складального пристосування або методом теплового складання (нагрівання підшипника в масляній ванні); б) зазор 0,1 мм між зовнішнім кільцем радіального підшипника і торцем кришки, необхідний для усунення заклинювання підшипника під час роботи механізму, забезпечується шліфуванням торців розпирного клина після вимірювання необхідного розміру під час складання.

Обґрунтування норми точності та її аналіз ілюструють ескізом-схемою у довільному масштабі, на якій можливі похибки зображують у масштабі, значно більшому, ніж масштаб основної частини ескізу [7; 8]. Підсумком цієї частини роботи є

чітко сформульована норма точності (технічна умова), яку потрібно забезпечити при складанні вузла.

З'ясуємо це на прикладі складання частини механізму повороту кульового крана  $D_y500$ ,  $P_y80$ . Механізм повороту має складальну одиницю (див. рис. 1.11), яка складається з корпусу 1, двох кришок 2, 3 й гвинта 4.

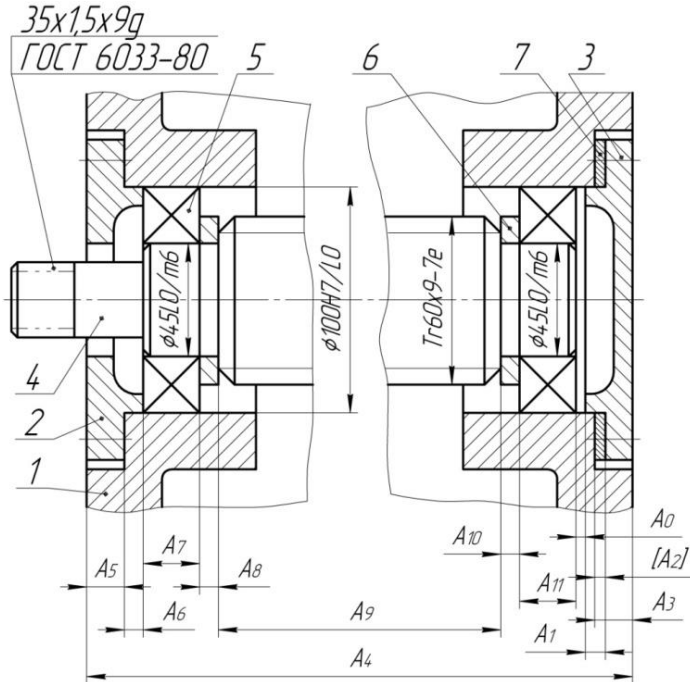


Рисунок 1.11 – Схема вузла механізму повороту та його РЛ

Гвинт 4 встановлюється у корпусі 1 на двох радіально-упорних підшипниках 5. Для нормальної роботи підшипників між торцями різі  $Tr60 \times 9-7e$  гвинта 4 та підшипників 5 установлені упорні кільця 6. Поворот сферичної пробки кульового крана здійснюється штурвалом редуктора (на рисунку не показаний), а крутний момент передається на шліцьовий кінець гвинта 4 ( $35 \times 1,5 \times 9g$  ГОСТ 6033-80) зубчастим колесом. Крім обертання, гвинт має можливість переміщуватися



уздовж своєї осі. Залежно від напрямку обертання гвинта, осьові переміщення будуть сприйматися торцями кришок 2 і 3. Однією з умов нормальної роботи складального вузла є вимога, згідно з якою осьове переміщення гвинта 4 має допуск у межах 0,1 – 0,2 мм. На рисунку 1.11 ця вимога показана як замикальна ланка  $A_0$ . Для її виконання конструктором передбачена спеціальна прокладка-компенсатор 7 (на рисунку 1.11 вона показана розміром  $[A_2]$ ), яка встановлюється між торцями кришки 3 та виточкою отвору корпусу 1.

Таким чином, можна сформулювати норму точності (технічну вимогу), яку потрібно забезпечити при складанні: «Забезпечити осьове переміщення гвинта в межах зазору 0,1 – 0,2 мм».

Результатом виконання перших двох розділів повинна стати пропозиція для змінення або поліпшення конструкції виробу з метою спрощення технологічного процесу його складання.

### **1.3 Вибір та обґрунтування методу досягнення потрібної норми точності виробу**

Вибір методів досягнення точності машини потрібно розпочати з формулювання завдання, яке необхідно вирішити при досягненні точності.

Конструктор під час виконання точних розрахунків конструкції виробу вже вибрав метод досягнення потрібної точності кожного параметра. Завдання технолога полягає у виявленні закладених у конструкцію методів досягнення точності і оцінки їх вибору, враховуючи масштаб випуску за одиницю часу. Технолог повинен перевірити правильність номінальних розмірів і їх допусків, заданих кресленням виробу; наявність компенсаторів, якщо точність деяких параметрів потрібно отримати методами регулювання або припасування [1; 3; 4].

Для вирішення цього питання необхідно виявити конструкторські розмірні ланцюги (як правило, схеми розмірних ланцюгів машини до креслень не додаються). При розв'язуванні прямої задачі першим виявляється замикальний ланцюг. Як

правило, замикальним ланцюгом є відстань або відносний поворот поверхонь (чи їх осей) деталей, відносно положення яких необхідно забезпечити. Складовими ланцюгами РЛ можуть бути або відстані (відносні повороти) між поверхнями (їх осями) деталей, які утворюють замикальний ланцюг, і основними базами цих деталей; або відстані (відносні повороти) між поверхнями допоміжних і основних баз деталей [9; 10].

Покажемо це на прикладі плунжерного насоса (див. рис. 1.10).

Визначимо на кресленні замикальну  $A_\Delta$  та складові ланки РЛ ( $A_1, \dots, A_4$ ). Далі визначимо ланку-компенсатор  $[A_3]$ , яка безпосередньо впливає на точність замикальної ланки  $A_\Delta$ . Побудуємо РЛ для замикальної ланки  $A_\Delta$  і визначимо кількість збільшувальних та зменшувальних ланок (див. рис. 1.11):

$$A_\Delta = \vec{A}_1 + \vec{A}_3 + \vec{A}_4 - \vec{A}_2, \quad (1.10)$$

де  $\vec{A}_1, \vec{A}_3, \vec{A}_4$  – збільшувальні ланки РЛ;

$\vec{A}_2$  – зменшувальна ланка РЛ.

Наведений РЛ (1.10) є рівнянням номінальних розмірів і середин ланок.

Запишемо у таблицю (див. табл. 1.1) номінальні розміри (вони взяті зі складального креслення плунжерного насоса), допуски всіх ланок РЛ, їх відхилення та зробимо необхідний коментар.

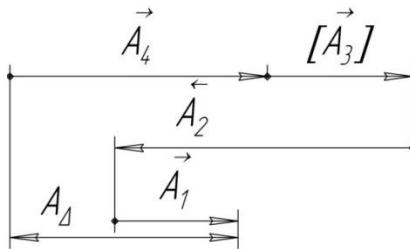


Рисунок 1.12 – Складальний РЛ плунжерного насоса

Установимо метод досягнення норм точності, сформульованої раніше. Згідно з умовою тип виробництва

серійний, допуск  $TA_{\Delta} = 0,8 \text{ мм} = (\pm 0,4 \text{ мм})$  досить вільний, і він повинен бути забезпечений методом повної взаємозамінності як основний метод досягнення точності замикальної ланки. Однак аналіз розмірів деталей, які входять у РЛ, виявив, що середній допуск  $T_{cp}$ , який припадає на кожну ланку, менший, ніж кожний допуск окремої складової ланки. Середній допуск  $T_{cp}$  визначається за формулою

$$T_{cp} = \frac{TA_{\Delta}}{m-1} = \frac{800}{5-1} = 200 \text{ мкм} = 0,2 \text{ мм}, \quad (1.11)$$

де  $m = 5$  – кількість ланок РЛ.

Середній квалітет точності розмірів деталей, які входять у РЛ, дорівнює 11–12-му квалітетам.

Забезпечити допуск  $TA_{\Delta} = 0,8 \text{ мм}$  методом взаємозамінності не є економічним рішенням, тому що потрібно виконати підвищену точність розмірів  $A_1$  і  $A_4$ . Якщо розмір  $A_4 = 72 \text{ мм}$  і  $TA_4 = 200 \text{ мкм}$ , а це приблизно 11-й квалітет точності, то потрібне оброблення дна порожнини корпусу. Для розміру  $A_1 = 8 \text{ мм}$  і  $TA_1 = 200 \text{ мкм}$ , а це приблизно 12-й квалітет точності, після свердлення отвору під пружину необхідно підрізати торець отвору зенкером або різцем. Це ускладнює технологічний процес виготовлення цих деталей, хоча за службовим призначенням насоса у цьому немає потреби.

Щоб забезпечити допуск  $TA_{\Delta} = 0,8 \text{ мм}$  замикальної ланки  $A_{\Delta}$ , необхідно одну із ланок РЛ зробити регульованою. Згідно з рекомендаціями [9] можна застосувати методи регулювання, тому що конструкцією виробу передбачена спеціальна деталь (прокладка), яка є компенсатором. На рисунку 1.10 це ланка  $[A_3]$  – товщина прокладки.

На усі ланки РЛ, крім ланки компенсатора, призначаються або вже є легко здійснені допуски згідно із середньоекономічною точністю методів обробки [5]. Потрібна точність замикальної ланки буде забезпечена набором прокладок однакової або різної товщини.

Таблиця 1.1 - Розміри ланок для розрахунку РЛ

Позначення ланки $A_{i, j}$	Квалітет точності	Номинальний розмір ланки $A_{i, j}$ , мм	Допуск ланки $TA_{i, j}$ , мкм	Координата середини поля допуску ланки $ES_{A_{i, j}}$ , мкм	Верхнє відхилення ланки $ESA_{i, j}$ , мкм	Нижнє відхилення ланки $EJA_{i, j}$ , мкм	Коментар
$A_{\Delta}$	–	20	800	0	+400	–400	Довжина пружини у стиснутому стані $L_1 = (20 \pm 0,4)$ мм
$A_1 = B_2$	H14	8	360	+180	+360	0	Частина глибини отвору плунжера
$A_2 = B_1$	Is12	63	300	0	+150	–150	Розмір втулки від торця її буртика до нижнього торця
$[A_3]^* = B_{\Delta}$	h12*	3*	100*	–50*	0*	–100*	Товщина прокладки (розмір ланки-компенсатора)
$A_4 = B_5$	Is14	72	740	0	+370	–370	Розмір внутрішньої камери корпусу насоса
$B_3$	Is15	0	400	0	+200	–200	Похибка установлення еталона
$B_4$	h10	20	100	–50	0	–100	Розмір еталона
*Дані ланки–компенсатора $[A_3]$ , які внесені в таблицю після розрахунку РЛ							

Економічно вигідними допусками будуть:

$TA_1 = 0,36$  мм (H14);  $TA_2 = 0,3$  мм (Is12);  $TA_4 = 0,74$  мм (Is14).

Із рівняння (1.10) визначимо номінальний розмір ланки-компенсатора  $[A_3]$ :

$$[A_3] = A_{\Delta} - A_1 - A_4 - A_2 = 20 - 8 - 72 + 63 = 3 \text{ мм.}$$

Щоб визначити точність  $A_{\Delta}$  методом регулювання, потрібно зібрати корпус, плунжер, втулку та еталон. Останній імітує пружину у стиснутому стані (див. рис. 1.13).

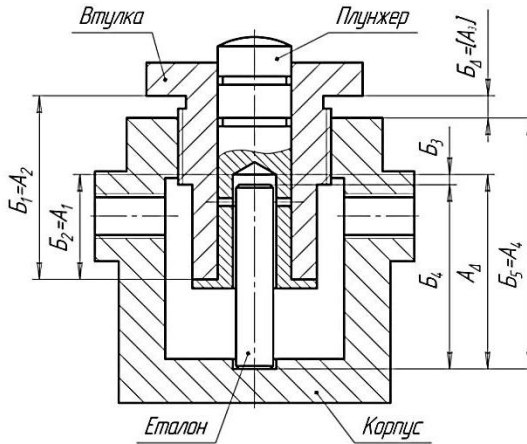


Рисунок 1.13 – Технологічний РЛ плунжерного насоса, який визначає зазор  $B_{\Delta}$  між втулкою і корпусом

Потім необхідно виміряти зазор  $B_{\Delta} = [A_3]$  між торцями корпусу і втулкою і згідно з його значенням визначити потрібний розмір компенсатора. Цей розмір при кінцевому складанні насоса компенсує надмір похибки замикальної ланки.

Точність  $A_{\Delta}$  залежить від точності виготовлення еталона, точності його установки; точності виміру зазору ( $B_{\Delta} = [A_3]$ ) між корпусом і втулкою; точності виготовлення компенсатора.

Точність  $A_{\Delta}$  не залежить від точності складових ланок РЛ „А” (див. формулу 1.10).

Значення  $TA_{\Delta} = 0,8$  мм дозволяє допустити відхилення (допуск) розмірів еталона  $TБ_4 = 0,084$  мм (для розрахунку беремо 0,1 мм); похибки установки еталона  $TБ_3 = 0,4$  мм; вимір зазору  $T_{\omega} = 0,1$  мм за умови, що точність виготовлення компенсатора становить  $TA_3 = 0,1$  мм (12-й квалітет точності).

Таким чином,

$$TA_{\Delta} = 0,8 \text{ мм} > TБ_4 + TБ_3 + TA_3 + T_{\omega} = 0,1 + 0,4 + 0,1 + 0,1 = 0,7 \text{ мм.}$$

Визначені дані запишемо у таблицю 1.1.

Розміри компенсаторів і їх кількість можна знайти, розв'язавши РЛ „Б”, який визначає зазор  $B_{\Delta}$  між втулкою і корпусом, одержаним за результатом попереднього складання насоса ( див. рис. 1.13):

$$B_{\Delta} = \vec{B}_1 - \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \vec{B}_4 - \vec{B}_5, \quad (1.12)$$

де  $B_1 = A_2$ ;

$B_2 = A_1$ ;

$B_3$  – похибка установлення еталона;

$B_4$  – розмір еталона;

$B_5 = A_4$  – розмір внутрішньої камери корпусу.

За вибраним методом регулювання точність ланки  $A_{\Delta}$  забезпечується побічним шляхом і залежить від відповідності розміру компенсатора дійсному значенню зазору  $B_{\Delta}$  і некомпенсуючих ланок  $B_3$  і  $B_4$ .

Очікувана похибка замикальної ланки  $T'Б_{\Delta}$  визначається за формулою

$$T'Б_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} TБ_i = TБ_1 + TБ_2 + TБ_3 + TБ_4 + TБ_5 = TA_2 + TA_1 + TБ_3 + TБ_4 + TA_4 = 300 + 360 + 400 + 100 + 740 = 1900 \text{ мкм} = 1,9 \text{ мм.} \quad (1.13)$$

Одержане значення  $T'Б_{\Delta} = 1900$  мкм повинне перевищувати потрібне значення  $TБ_{\Delta} = 100$  мкм, тобто  $T'Б_{\Delta} > TБ_{\Delta}$  і  $1900 \text{ мкм} > 100 \text{ мкм}$ . Різниця  $T'Б_{\Delta} - TБ_{\Delta}$  – компенсація.

Потрібна компенсація досягається прокладкою, допуск якої

дорівнює похибці методу її обробки (метод компенсації). Допуск методу компенсації  $T_{MK}$  не повинен бути більшим, ніж допуск замикальної ланки ( $T_{MK} \leq TB_{\Delta}$ ).

Візьмемо  $T_{MK} = 100 \text{ мкм} = T[A_3]$ . Визначені дані запишемо у таблицю 1.1 (див. графу табл. 1.1 з позначкою \*).

Тоді потрібна величина компенсації  $K$  визначатиметься за формулою

$$K = T'B_{\Delta} - TA_{\Delta} + T_{MK} = 1900 - 800 + 100 = 1200 \text{ мкм.} \quad (1.14)$$

Визначимо координату середини поля компенсації  $E_cK$ :

$$\begin{aligned} E_cK &= \pm(E'_cB - E_cB_{\Delta}) = \pm\left(\sum_{i=1}^n E_cB_i - \sum_{j=1}^k E_cB_j - E_cB_{\Delta}\right) = \\ &= \pm(E_cB_1 + E_cB_3 + E_cB_4 - E_cB_2 - E_cB_5 - E_cB_{\Delta}) = \\ &= \pm(0+0-50-(+180)-0-(-50)) = \pm(-180) = -(-180) = +180 \text{ мкм,} \end{aligned} \quad (1.15)$$

де  $i$  – збільшувальні, а  $j$  – зменшувальні ланки РЛ;

$n, k$  – кількість збільшувальних і зменшувальних ланок відповідно.

Якщо ланка-компенсатор  $[A_3] = B_{\Delta}$  та замикальна ланка  $A_{\Delta}$  знаходяться у різних гілках РЛ (див. рис. 1.14), то беремо знак «-» [9, 15].

Установлювальний розмір компенсаційної прокладки визначимо за формулою [10]:

$$\begin{aligned} A_k &= B_{\Delta} = [A_3] + E_cK \pm K/2 = \\ &= 3 + 0,18 \pm 1,2/2 = (3,18 \pm 0,6) \text{ мм,} \end{aligned} \quad (1.16)$$

остаточно беремо  $A_k = [A_3] = (3,18 \pm 0,6) \text{ мм}$ .

Згідно з результатами розрахунків  $ESB_{\Delta} = ES[A_3] = +0,6 > 0$ , а  $EJB_{\Delta} = EJ[A_3] = -0,6 < 0$ .

Потрібно виключити випадок, коли  $EJB_{\Delta} = EJ[A_3] < 0$ . Для цього треба змінити номінальний розмір будь-якої складової ланки, наприклад,  $B_5 = A_4 = 72 \text{ мм}$ . Нове номінальне значення визначатиметься за формулою

$$B'_5 = A'_4 = A_4 - EJ[A_3] = 72 - 0,6 = 71,4 \text{ мм.}$$

У цьому випадку на величину  $EJ[A_3] = 0,6$  мм буде зсунута середина поля розсіювання очікуваної похибки замикальної ланки. Таким чином, виключається можливість появи при складанні негативної величини потрібної компенсації розміру замикальної ланки, а саме: компенсація зводиться до зміни величини  $K$  за допомогою потрібної кількості прокладок.

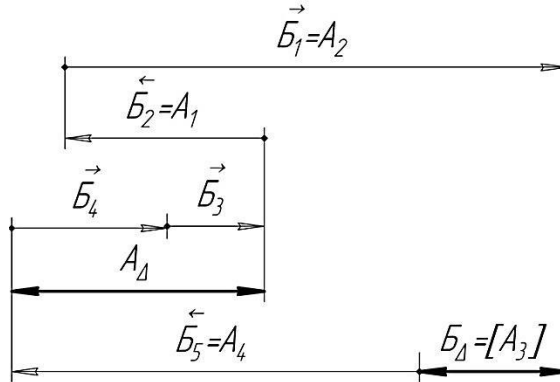


Рисунок 1.14 – РЛ, за яким визначається зазор  $B_\Delta = [A_3]$  між втулкою і корпусом

**Варіант 1** Зробимо розрахунок компенсатора, який має набір прокладок однакової товщини. Візьмемо величину ступеня компенсації  $S = T_{B_\Delta} = 100$  мкм (товщина однієї прокладки).

Кількість прокладок у наборі  $Z$  визначимо за формулою

$$Z = K / T[A_3] = 1200 / 100 = 12 \text{ шт.} \quad (1.17)$$

Номінальну величину товщини основної прокладки  $S_o$  визначимо за формулою

$$S_o = EJA_K = 3,18_{-0,6} = 2,58 \text{ мм.}$$

Найбільша товщина набору прокладок

$$S_\Sigma = S_o + Z \cdot S = 2,58 + 12 \cdot 0,1 = 3,78 \text{ мм.} \quad (1.18)$$

Інтервал регулювання  $S_\Sigma - S_o = 3,78 - 2,58 = 1,2$  мм, що дорівнює потрібній величині компенсації  $K = 1,2$  мм. Таким



чином, для компенсації можливих відхилень кінцевої ланки потрібен набір із однієї основної та дванадцяти однакових прокладок.

**Варіант 2** Зробимо розрахунок компенсатора, який має набір прокладок різної товщини. Потрібна сумарна товщина усіх прокладок набору дорівнює  $ESA_K = 3,78$  мм. Якщо величину ступеня компенсації взяти кратною допуску  $TA_\Delta$ , то будемо мати такі значення товщини прокладок:

$$S_1 = TB_\Delta = 0,1 \text{ мм}; S_2 = 2S_1 = 2 \cdot 0,1 = 0,2 \text{ мм}; S_3 = 2S_2 = 2 \cdot 0,2 = 0,4 \text{ мм}; S_4 = 2S_3 = 2 \cdot 0,4 = 0,8 \text{ мм}; S_5 = 2S_4 = 2 \cdot 0,8 = 1,6 \text{ мм}; S_6 = 2S_5 = 2 \cdot 1,6 = 3,2 \text{ мм}.$$

Розмір останньої (шостої) прокладки  $S_6 = 3,2$  мм повинен дорівнювати або перевищувати ( $ESA_K/2 = 3,78/2 = 1,89$  мм) половину товщини набору змінних прокладок. Найбільша товщина прокладок, яка є інтервалом регулювання, визначається за формулою

$$S_\Sigma = (2^Z - 1) TB_\Delta = (2^6 - 1) \cdot 0,1 = 6,3 \text{ мм} > 3,78 \text{ мм} = ESA_K, \quad (1.19)$$

де  $Z = 6$  – кількість прокладок у наборі.

У межах інтервалу регулювання можна одержувати розмір компенсатора через кожні 0,1 мм шляхом різного сполучення шести прокладок розрахованих товщин.

Із наведених варіантів розрахунку компенсатора найбільш ефективним є компенсація довжини пружини  $A_\Delta = (20 \pm 0,4)$  мм набором прокладок різної товщини.

Іншим прикладом є складання частини механізму повороту кульового крана  $Dy500 Py80$ . У цьому випадку треба забезпечити технічну вимогу: «Осьове переміщення гвинта повинне відбуватися в межах зазору 0,1–0,2 мм».

Для його виконання потрібно виявити конструкторський розмірний ланцюг (див. рис. 1.11). Необхідно пам'ятати, що від чіткості формулювання завдання в багатьох випадках залежать правильність визначеного розмірного ланцюга та його відповідність поставленому завданню. Поставлене завдання може бути виконано тільки єдиним та правильно побудованим

розмірним ланцюгом, тому що будь-який розмірний ланцюг дає виконання тільки одного завдання.

Іноді вибір методу досягнення точності замикальної ланки потребує заміни проставляння розмірів на робочих кресленнях деталей та призначення допусків із урахуванням розмірних зв'язків, які виникають у вибраному варіанті технологічного процесу складання. Також можна розробити пропозиції до зміни конструкції складальної одиниці для її спрощення при складанні (технологічність конструкції) відносно заданого обсягу випуску виробів. Зміна конструкції потребує оформлення ескізу та необхідності обґрунтування (пояснювання) в тексті. У подальшому розроблення технологічного процесу складання відбувається для зміненої конструкції.

Далі зробити розрахунок РЛ вузла за методичними вказівками [9]. Послідовність виконання цього етапу роботи така:

- накреслити схематизоване креслення складальної одиниці з потрібною кількістю проєкцій (див. рис. 1.11);
- визначити на кресленні замикальну  $A_0$  і складові ланки ( $A_1, \dots, A_{11}$ ) РЛ;
- визначити і показати ланку-компенсатор  $[A_2]$ , яка буде безпосередньо впливати на точність замикальної ланки;
- побудувати РЛ для замикальної ланки  $A_0$  і визначити кількість збільшувальних та зменшувальних ланок (див. рис. 1.15);
- записати у таблицю (див. табл. 1.2) та проаналізувати дані номінальних розмірів, допусків усіх ланок РЛ та їх відхилень.

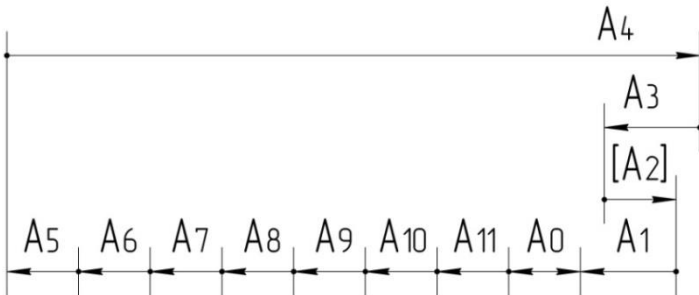


Рисунок 1.15 – РЛ механізму повороту

Установимо метод досягнення норми точності, сформульованої у розділі 1.2. Згідно з умовою тип виробництва серійний і для нього потрібно вибрати метод повної взаємозамінності як основний метод досягнення точності замикальної ланки. Однак аналіз розмірів деталей, які входять до РЛ, виявив, що середній допуск  $T_{cp}$ , який припадає на кожен ланку, значно менший, ніж кожний допуск окремої складової ланки. Середній допуск визначається за формулою

$$T_{cp} = \frac{TA_0}{m - 1} = \frac{100}{12 - 1} \approx 9,1 \text{ мкм}, \quad (1.20)$$

де  $TA_0 = 100$  мкм – допуск замикальної ланки;  
 $m = 12$  – кількість ланок РЛ.

Середній квалітет точності розмірів деталей, які входять у РЛ, дорівнює 11-му квалітету. За рекомендаціями [7; 8], для досягнення точності замикальної ланки необхідно прийняти метод припасування або регулювання (метод компенсаторів).

Візьмемо метод регулювання, тому що у конструкції виробу передбачена спеціальна деталь (прокладка), яка є компенсатором. На усі ланки РЛ, крім ланки-компенсатора, призначаються (або вже є) легко здійснені допуски, а потрібна точність замикальної ланки буде забезпечена набором прокладок однакової або різної товщини [8; 9].

Попередньо задамося номінальним розміром замикальної ланки  $A_0 = 0$  мм. Тоді допуск  $TA_0 = 0,1$  мм; верхнє відхилення  $ESA_0 = + 0,2$  мм; нижнє відхилення  $EIA_0 = + 0,1$  мм; координата середини поля допуску  $EsA_0 = + 0,15$  мм.

Складемо рівняння, з якого можна визначити потрібні номінальні розміри:

$$A_0 = \sum_{i=1}^n A_i - \sum_{j=1}^k A_j, \quad (1.21)$$

де  $A_i$  – збільшувальні ланки РЛ ( $n = 2$ ;  $A_2$  та  $A_4$ );

$A_j$  – зменшувальні ланки РЛ ( $k = 9$ ;  $A_1, A_3, A_5, \dots, A_{11}$ ).

Із рівняння (1.21) визначимо номінальний розмір ланки-компенсатора  $[A_2]$ :

$$[A_2] = A_0 + \sum_{i=1}^n A_i - \sum_{j=1}^k A_j = A_0 + A_1 + A_3 + A_5 + A_6 + A_7 + A_8 + A_9 + \\ + A_{10} + A_{11} - A_4 = 0 + 10 + 8 + 8 + 11 + 25 + 10 + 586 + 10 + 25 - \\ - 690 = 3 \text{ мм.}$$

Очікувана похибка замикальної ланки  $T^l A_0$  визначається за формулою [9]:

$$T^l A_0 = \sqrt{\left( \sum K_i^2 T_i^2 + \sum K_j^2 T_j^2 \right)}, \quad (1.22)$$

де  $K_i = K_j = 1,2$  – коефіцієнти відносного розсіювання [9];

$T_i, T_j$  – допуски відповідно збільшувальних та зменшувальних ланок РЛ.

Тоді

$$T^l A_0 = 1,2 \sqrt{0,1^2 + 3 \cdot 0,09^2 + 0,11^2 + 2 \cdot 0,21^2 + 2 \cdot 0,036^2 + 0,6^2} = \\ = 0,846 \text{ мм.}$$

Потрібна компенсація досягається прокладкою, допуск якої дорівнює похибці методу її обробки (метод компенсації). Допуск методу компенсації  $T_{\text{МК}}$  не повинен бути більший, ніж допуск замикальної ланки ( $T_{\text{МК}} \leq T A_0$ ). Припустимо, що  $T_{\text{МК}} = 50 \text{ мкм} < T A_0 = 100 \text{ мкм}$ . Визначені дані запишемо у таблицю 1.11 (дивись графу таблиці з позначкою \*).

Тоді потрібна величина компенсації  $K$  визначається за формулою

$$K = T^l A_0 - T A_0 + T_{\text{МК}} = 846 - 100 + 50 \approx 800 \text{ мкм.} \quad (1.23)$$

Визначимо координату середини поля компенсації  $E_c K$ :

$$E_c K = \pm (E_c^1 A_0 - E_c A_0) = \pm \left( \sum_{i=1}^n E_c A_i - \sum_{j=1}^k E_c A_j - E_c A_0 \right) = \\ = \pm (-50 - 25 - 0 - 0 - 0 + 105 + 18 + 300 + 18 + 105 - 150) = \\ = \pm (+321) \text{ мкм.}$$

Якщо ланка-компенсатор  $[A_2]$  та замикальна ланка  $A_0$  знаходяться у різних гілках РЛ (див. рисунок 1.15), то беремо

знак «-» і тоді  $E_c K = -321 \text{ мкм} - 0,321 \text{ мм}$  [8; 10].

Настановний розмір компенсаційної прокладки  $A_k$  визначимо за формулою

$$A_k = [A_2] + E_c K \pm \frac{K}{2} = 3 - 0,321 \pm \frac{0,8}{2} = 3_{-0,721}^{+0,079}, \quad (1.24)$$

Остаточню з урахуванням округлювання візьмемо

$$[A_2] = 3_{-0,72}^{+0,08} \text{ мм.}$$

Згідно з результатами розрахунків  $ES[A_2] = 0,08 > 0$ , а  $EI[A_2] = -0,72 < 0$ . Потрібно виключити випадок, коли  $EI[A_2] < 0$ . Для цього треба змінити номінальний розмір будь-якої складової ланки, наприклад,  $A_4 = 690 \text{ мм}$ .

Нове номінальне значення  $A_i^1$  визначаємо за формулою

$$A_i^1 = A_i E I A_k. \quad (1.25)$$

Тоді

$$A_4^1 = A_4 - EI[A_2] = 690 - (-0,72) = 690,72 \text{ мм.}$$

У цьому випадку на величину  $EI[A_2] = 0,72 \text{ мм}$  буде зсунута середина поля розсіювання очікуваної похибки замикальної ланки  $T^1 A_0$ .

Таким чином, виключається можливість появи при складанні негативної величини потрібної компенсації розміру замикальної ланки, а саме компенсація зводиться до заміни величини  $K$  за допомогою потрібної кількості прокладок [6; 9].

**Варіант 1** Зробимо розрахунок компенсатора, який має набір прокладок однакової товщини. Беремо величину ступеня компенсації  $S = TA_0 = 0,1 \text{ мм} = 100 \text{ мкм}$  (товщина однієї прокладки).

Кількість прокладок у наборі  $Z$  визначимо за формулою

$$Z = \frac{K}{TA_0} = \frac{0,8}{0,1} = 8 \text{ шт.} \quad (1.26)$$

Номінальну товщину основної прокладки  $S_0$  визначимо за формулою

$$S_0 = E J A_k = 3_{-0,72} = 2,28 \text{ мм.}$$

Найбільша товщина набору прокладок визначається за формулою

$$S_z = S_0 + Z \cdot S = 2,28 + 8 \cdot 0,1 = 3,08 \text{ мм.} \quad (1.27)$$

Інтервал регулювання  $S_z - S_0 = 3,08 - 2,28 = 0,8$  мм, що дорівнює величині компенсації  $K = 0,8$  мм.

Таким чином, для компенсації можливих відхилень замикальної ланки потрібен набір із однієї основної та восьми однакових прокладок.

**Варіант 2** Зробимо розрахунок компенсатора, який має набір прокладок різної товщини. Потрібна сумарна товщина усіх прокладок набору дорівнює  $ESA_K = 3,08$  мм. Якщо величину ступеня компенсації взяти кратною допуску  $TA_0$ , то будемо мати такі значення товщини прокладок:

$$S_1 = TA_0 = 0,1 \text{ мм}; S_2 = 2S_1 = 2 \cdot 0,1 = 0,2 \text{ мм};$$

$$S_3 = 2S_2 = 2 \cdot 0,2 = 0,4 \text{ мм}; S_4 = 2S_3 = 2 \cdot 0,4 = 0,8 \text{ мм};$$

$$S_5 = 2S_4 = 2 \cdot 0,8 = 1,6 \text{ мм.}$$

Розмір останньої (п'ятої) прокладки  $S_5 = 1,6$  мм повинен дорівнювати або перевищувати  $(\frac{ESA_K}{2} = \frac{3,08}{2}) = 1,54$  мм половину товщини набору змінних прокладок.

Найбільша товщина прокладок, яка є інтервалом регулювання, визначається за формулою

$$S_z = (2^Z - 1) \cdot TA_0 = (2^5 - 1) \cdot 0,1 = 3,1 > 3,08 \text{ мм,} \quad (1.28)$$

де  $Z = 5$  – кількість прокладок у наборі.

У межах інтервалу регулювання можна одержувати розмір компенсатора через кожні 0,1 мм шляхом різного з'єднання розрахованих п'яти прокладок.

Із наведених варіантів розрахунку компенсатора найбільш ефективним є компенсація зазору набором прокладок різної товщини.

#### 1.4 Розроблення технологічних схем складання виробу

Послідовність загального складання виробу визначається його конструктивними особливостями та закладеними у конструкцію методами точності (повна взаємозамінність, неповна взаємозамінність, групова взаємозамінність, припасування, регулювання) [1–4].

Послідовність складання є основою розроблення схеми складання. Остання полегшує розроблення технологічного процесу складання, допомагає організувати виконання складального процесу, комплектування виробу, подання складальних одиниць та деталей у належній послідовності до місць складання, планування виробництва.

Початковим етапом розроблення послідовності складання є вивчення конструкції складального виробу, умов його роботи, технічних умов приймання та випробування. Тут потрібно визначити службове призначення виробу, його загальне завдання, а також усі допоміжні умови та вимоги, які це завдання кількісно уточнюють та конкретизують [2].

Після вивчення конструкції складального виробу створюється схема складання з'єднання (див. рис. 1.16). Перед кресленням схеми складання конструкцію виробу потрібно розібрати на складальні неподільні елементи, які були б зручними як з технологічної, так і з конструктивної точки зору. Потрібно виділити якомога більше складальних одиниць, які можна скласти відокремлено, що буде сприяти скороченню циклу складання [6]. Схему складання рекомендується створювати за формою, зазначеною на рисунку 1.17. За схемою (див. рис. 1.17) деталі, окремі складальні одиниці розміщуються у потрібній послідовності процесу складання. Якщо при складанні окремих одиниць у вузол (або виріб) необхідно зняти одну або кілька деталей (всю складальну одиницю), які вже були складені у комплект або підвузол, то на схемі складання це розбирання зазначається лініями із зворотними стрілками [2; 3]. Наприклад, нормальна робота виробу залежить від потрібного осевого зазору  $\delta$  (див. рис. 1.16) двох радіально-упорних підшипників 7. У наведеній конструкції зазор регулюється за рахунок прокладки 8 або набору прокладок, які встановлюються між кришкою 3 та корпусом 2. Щоб визначити товщину прокладок, вузол корпусу підшипника попередньо складають без прокладок, а кришку 3 закріплюють болтами 13 до появи

помітного гальмування вала 1. Це означає, що зазори у підшипниках вибрані, і вони відповідають технічним вимогам креслення. Потім вимірюють зазор між торцем кришки 3 та корпусом 2, ураховують допущені відхилення “осьової гри” підшипників та визначають потрібну товщину прокладок [5; 6].

Таким чином, конструкція виробу потребує часткового розбирання деталей, які вже були попередньо складені у вузол. У нашому випадку кришка 3 та болти 13 підлягають розбиранню, яке потрібно для визначення товщини прокладок 8. Далі перелічені деталі разом із корпусом 2 складають у визначеній послідовності.

Розроблення загальної схеми складання корпусу підшипника забезпечує наочність складального процесу, кількість переходів, послідовність подання на загальне складання комплектів, деталей, вузлів дозволяє зробити попереднє нормування визначених переходів.

За схемою деталі, складальні одиниці, вузли позначаються прямокутником (див. рис. 1.17), який поділений на три частини. У верхній частині кожного прямокутника пишеться назва деталі (складальної одиниці, вузла). У лівій нижній частині – номер деталі згідно із специфікацією складального креслення. У правій нижній частині – кількість деталей, що складаються одночасно. Складальні вузли (одиниці) позначаються літерами «СБ» (з російської мови – складання). Кожній складальній одиниці надається номер базової деталі вузла, в який вона входить. Деталь, із якої починається складання вузла або виробу, отримала назву базової. Складальна одиниця, яка безпосередньо входить до складу виробу, має назву основної складальної одиниці першого порядку. Складальна одиниця, що входить до складу складальної одиниці першого порядку, отримала назву складальної одиниці другого порядку і т. ін. У джерелах [1; 2; 6] та практичних умовах складальні одиниці відповідних порядків мають назви: комплекти, підвузли, вузли.



Таблиця 1.2 – Визначення типу виробництва

Трудоміст- кість, год	Більше 2500	250– 2500	25– 250	2,5– 25	0,25– 2,5	Менше 0,25	Тип виробництва	
Місячний обсяг виробів, штук	До 1	До 3	До 5	До 8			Одиничний	
	2–4	3–8	8–30	9 – 50	До 80		Дрібно- серійний	
	Більше 5	9- 0	31–350	51–600	81– 800		Серійний	
		Більш е 60	351– 1500	601– 3000	801– 4500	1000– 6000		Велико- серійний
			Більше 1500	Більше 3000	Більш е 4500	Більше 6000		Масовий

Таблиця 1.3 – Визначення організаційної форми складання

Тип виробництва						
одиничний, дрібносерійний	дрібносерійний	серійний		серійний, великосерійний	масовий	
Організаційна форма складання						
непотокова			потокова			
Вид переміщення виробу						
стаціонарний		рухомий		стаціонарний		рухомий
без розчленування складальних робіт	із розчленуванням складальних робіт					
Спосіб просування виробу						
нерухомий	вільний	примусовий	нерухомий	вільний	примусовий	
Вид обладнання						
стенд, верстат, підлога цеху і т. ін.	візок, рольганг і т. ін.	візок, конвеєр і т. ін.	обладнаний стенд	рольганг, візок і т. ін.	конвеєр із періодич- ним рухом	конвеєр із безперерв- ним рухом
Галузь економічного використання						
важке та енергетичне машинобудування (складання великих дизелів, турбін, прокатних станів) та ін.	залізничні потяги, вагони, обладнання хімічної промисловості, апарати електронної галузі		середні верстати, вантажні автомобілі, літаки, невеликі дизелі та ін.	електродвигуни, карбюратори автомобільних двигунів, автомобільні двигуни, електроапаратура, побутові вироби		

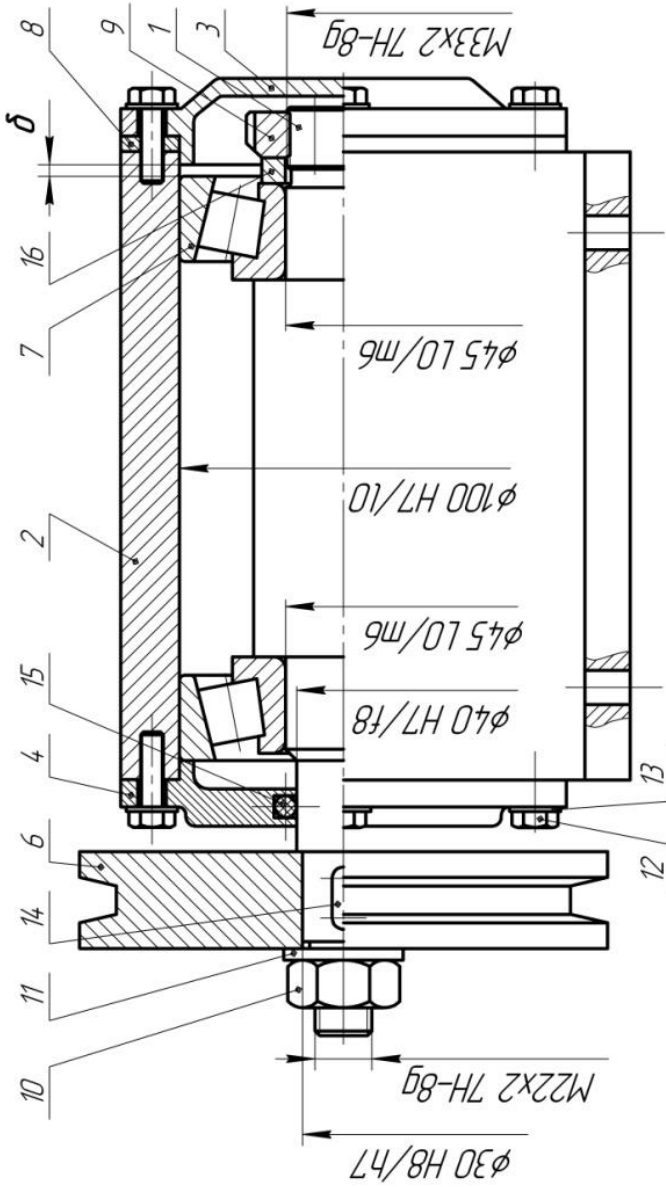


Рисунок 1.16 – Складальне креслення корпусу підшипника

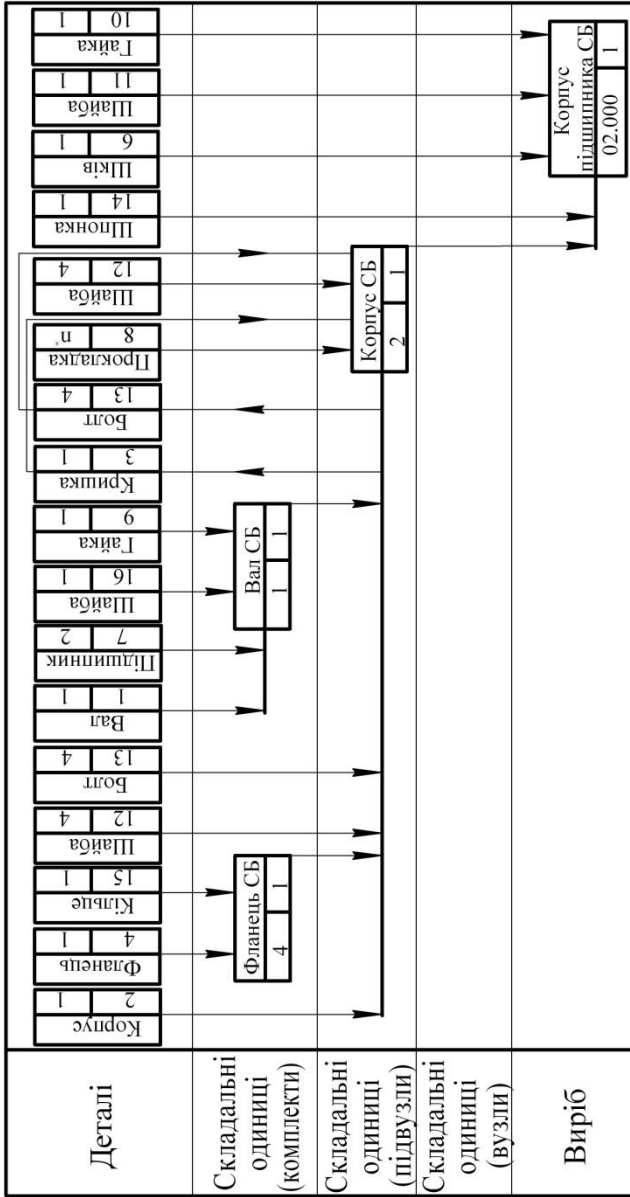


Рисунок 1.17 – Загальна схема складання корпусу підшипника

Схему складання будують таким чином (див. рис. 1.18, 1.19). Спочатку прямокутником зображують базову деталь і від нього проводять горизонтальну лінію, що означає хід складання, а в її кінці зображують прямокутник готового виробу. Далі у послідовності виконання складальних операцій зверху на лінію наносять деталі, які подаються у ході складання, а знизу – складальні одиниці. Виходячи із складності виробу, технологічну систему складання можна креслити збільшеною (див. рис. 1.18) або розгорнутою (див. рис. 1.19).

Збільшену технологічну схему складання доцільно будувати для складних складальних одиниць (вузлів).

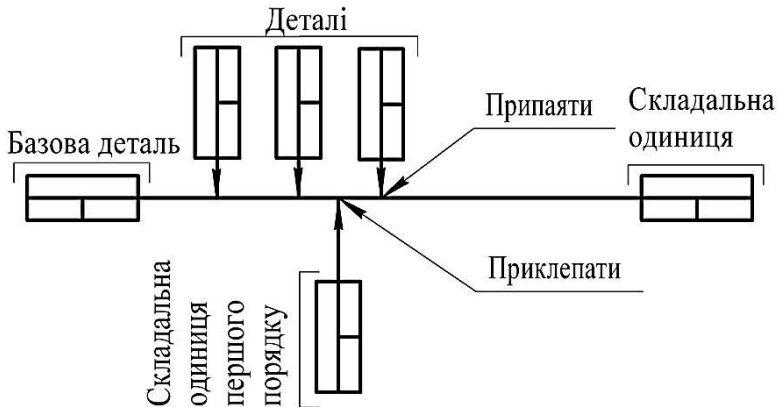


Рисунок 1.18 – Збільшена схема складання складальної одиниці

Розгорнуту схему будують для складальних одиниць, які відповідають складанню окремих складальних одиниць (комплектів, підвузлів). На цих схемах потрібно зробити напис, який би дав допоміжну інформацію технології складання. Наприклад, пресувати, припаяти, шабрити. Ці написи роблять на схемі поряд з елементами, які з'єднані відповідно.

У подальшому розроблена схема складання є основною для проектування технологічних процесів вузлового та загального складання виробу, побудови циклограми складання.

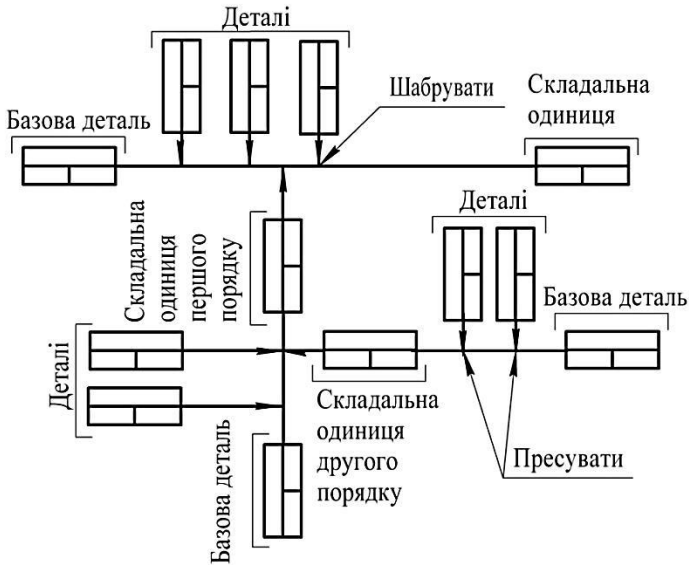


Рисунок 1.19 – Розгорнута схема складання складальної одиниці

Схема складання наочно відтворює маршрут складання виробу та його складових частин. Для визначення послідовності складання попередньо виконують аналіз розмірних ланцюгів виробу [4]. Якщо виріб має декілька розмірних ланцюгів, складання починається із найбільш складного і відповідального ланцюга (вимога 1). У кожному складальному ланцюзі складання завершують встановленням тих елементів з'єднання, які утворюють її замикальну ланку (вимога 2). У багатьох випадках розмірні ланцюги мають спільні ланки, тоді складання починається із ланцюга, від якого найбільше залежить точність виробу (вимога 3). Якщо ланцюги рівноцінні за точністю отриманих результатів, то складання починається із більш складного ланцюга (вимога 4).

Спочатку розробляють загальну схему складання, а потім схеми окремих одиниць (комплектів, підвузлів). Коли будують

схему складання, то виріб розчленовують на максимальну кількість функціональних складальних одиниць. Останні можуть окремо складатися, контролюватися, транспортуватися та зберігатися [5; 6]. Прийнятий варіант схеми складання може бути скоригований на подальших етапах проектування.

Доцільно при складанні складальних одиниць виробу будувати схеми, які наведені на рисунках 1.18 та 1.19.

Приклад побудови схем складання за названими рисунками наведений за складальним кресленням черв'ячного редуктора P05.000 СБ (див. рис. 1.20). На рисунках 1.21–1.25 наведені схеми окремих складальних одиниць виробу P05.000 СБ.

### **1.5 Тип виробництва і організаційні форми виробничого процесу складання виробів**

У різних типах виробництва [1; 3] організація складання виробів має різні форми. За організацією виробництво складання буває непотоковим, груповим і потоковим, а за рухом виробу – стаціонарним і рухомим (див. рис. 1.26).

Особливістю потокового виду складання є безперервний або періодичний рух складальних об'єктів або робітників-складальників із дотриманням заданого такту. Складання, яке виконується без цієї вимоги, належить до непотокової форми [3; 6]. Складальний об'єкт може перебувати нерухомо на одному місці або рухатися безперервно чи періодично впродовж усього часу складання. У першому випадку складання є стаціонарним, а в другому – рухомим.

Групова форма складання характеризується однорідністю конструктивно-технологічних ознак складальних виробів, засобів технологічного оснащення однієї або декількох складальних операцій і спеціалізацією робочих місць.

Основою групового складання є групування окремих виробів за конструктивно-технологічними ознаками. Формування груп виробів для складання виконується із урахуванням трудомісткості складання і обсягу випуску.

Остаточно номенклатура груп складальних виробів на дільниці або лінії визначається після розрахунку завантаження обладнання.

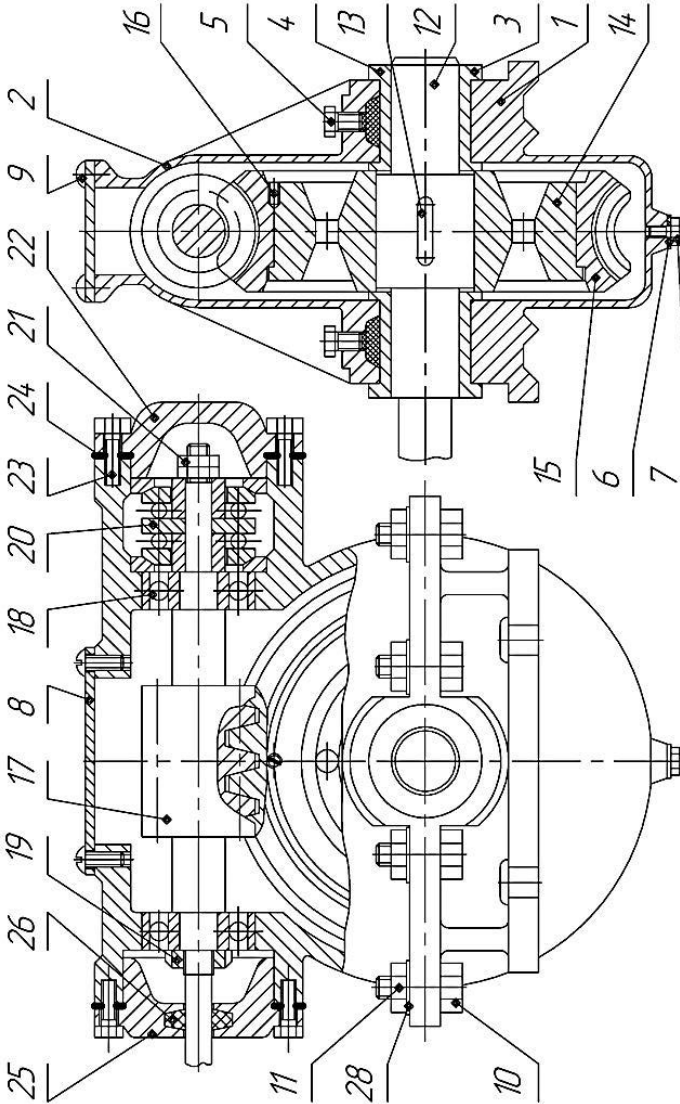


Рисунок 1.20 – Складальне креслення черв'ячного редуктора Р05.000 СБ



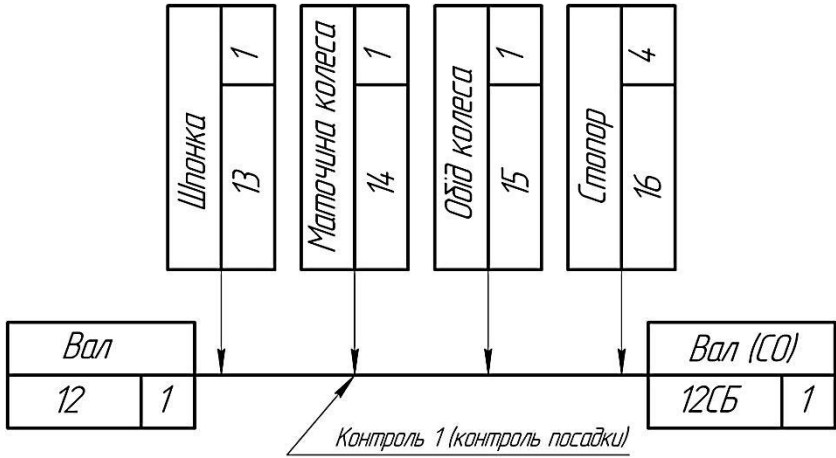


Рисунок 1.21 – Схема складальної одиниці вала

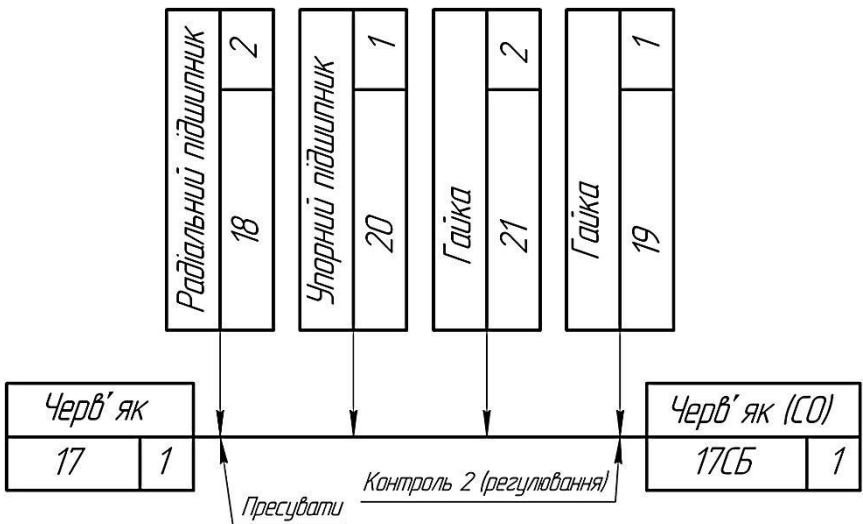


Рисунок 1.22 – Схема складальної одиниці черв'яка

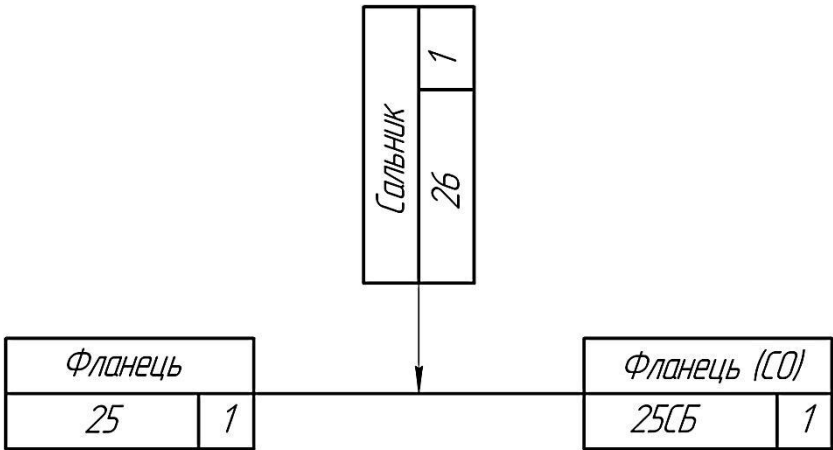


Рисунок 1.23 – Схема складальної одиниці фланця

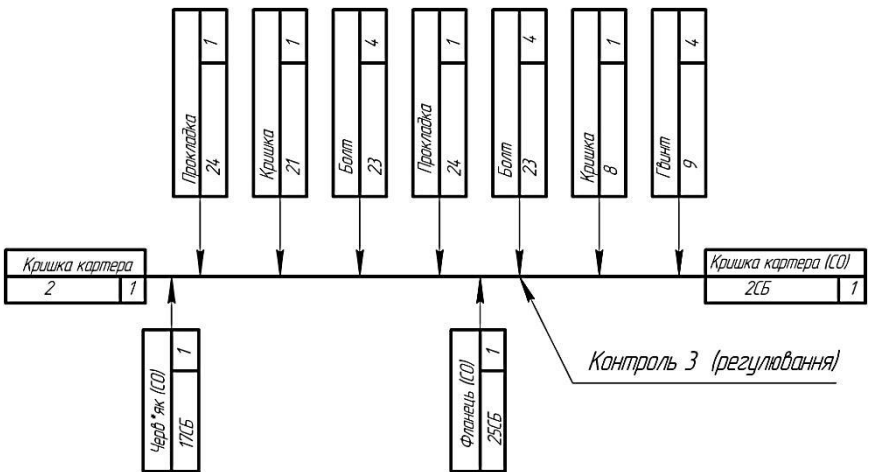


Рисунок 1.24 – Схема складальної одиниці кришки картера

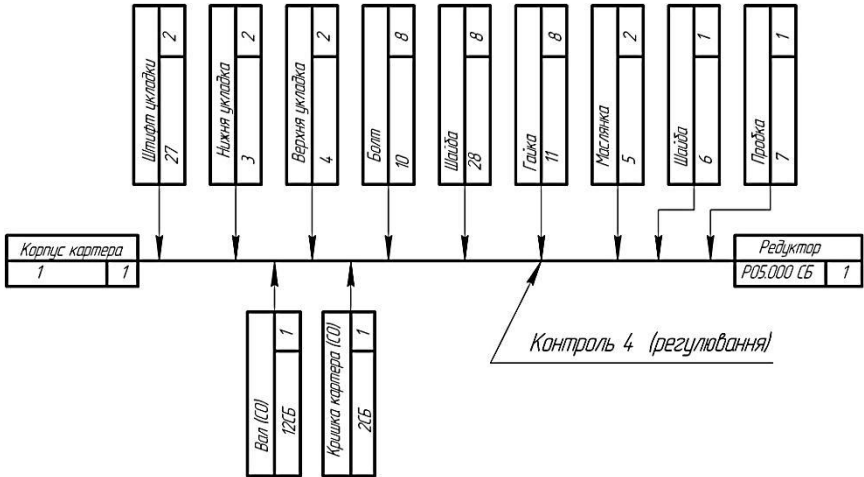


Рисунок 1.25 – Загальна схема складання черв'ячного редуктора

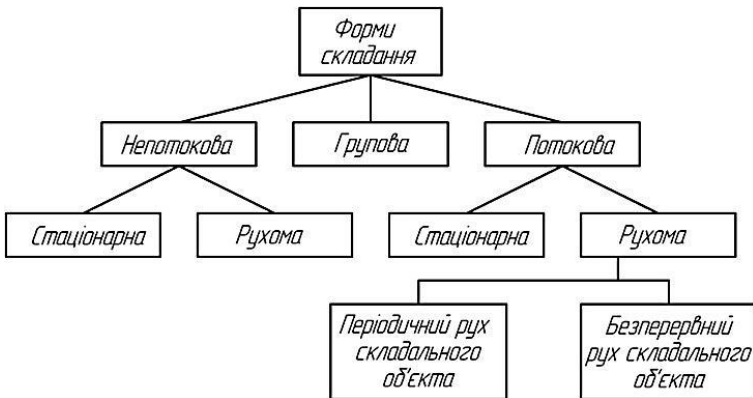


Рисунок 1.26 – Схема організаційних форм складання

Групова форма складання дуже поширена у серійному виробництві, де використовують переналагодження складального обладнання, механізоване й автоматизоване оснащення, інструмент.

Непотокове стаціонарне складання характеризується тим,

що складальний об'єкт перебуває на одному робочому місці або стенді впродовж усього часу складання. Усі деталі та складальні одиниці подаються на місце складання, а робітники або бригада робітників приходять до нього і складають об'єкт. Робочі місця комплектуються універсальним складальним устаткуванням та піднімально-транспортними засобами. Окремі переходи складальної операції розподілені між робітниками, бригадиром, або майстром дільниці. При такому процесі складання фізично неможливо розмістити значну кількість робітників на одному складальному стенді, бо вони перешкоджатимуть роботі один одного. Тому значна кількість технологічних переходів виконується послідовно. Цикл складання зростає, ритмічна робота утруднюється (важчає) або стає неможливою. Це спричиняє нерівномірний випуск виробів за одиницю часу.

Кількість робочих місць або стендів для паралельного складання однакових об'єктів  $\gamma_0$  розраховується за формулою [1]:

$$\gamma_0 = \frac{T_0 - t_c}{T}, \quad (1.29)$$

де  $T_0$  – розрахункова трудомісткість усіх переходів складання одного об'єкта (трудомісткість операцій);

$T_c$  – розрахункова трудомісткість переходів, виконання яких збігається за часом із виконанням інших переходів (трудомісткість сумісних операцій);

$T$  – розрахунковий такт складання.

Такт випуску  $T$  (у хвиликах) виробів із ділянки складання вузла визначається за формулою

$$T = \frac{F_{до} \cdot 60}{N}, \quad (1.30)$$

де  $F_{до}$  – дійсний фонд роботи обладнання (в годинах) з округленням при 40-годинному робочому тижні розраховується за формулою

$$F_{до} = [(365 - 104 - C) \cdot 8] \cdot m \cdot \left(1 - \frac{M}{100}\right), \quad (1.31)$$

де 365 – кількість календарних днів за 1 рік, дн.;

104 – кількість вихідних днів (неділь та субот) за 1 рік, дн.;  
 С – кількість святкових днів за 1 рік, дн. (установлюється за розпорядженням Кабінету Міністрів України);

8 – тривалість робочого дня (при 40 годинах роботи за тиждень та двох вихідних), год;

$t$  – кількість змін роботи обладнання;

$M$  – витрата часу на проведення ремонту, обслуговування та налагодження обладнання, %;

$N$  – обсяг випуску виробів за 1 рік з урахуванням додаткових виробів, які виготовляються на підприємстві за незмінним кресленням.

Якщо розроблений технологічний процес складання потрібно виконувати на автоматичному обладнанні чи автоматичних лініях, то такт  $T_\alpha$  визначається з урахуванням коефіцієнта використання такого обладнання  $\eta = 0,7-0,75$ .

Тоді

$$T_\alpha = \frac{F_{до} \cdot 60 \cdot \eta}{N}$$

Галуззю економічного використання непотокового стаціонарного складання є виробництво виробів, які виготовляються у незначній кількості (великі дизелі, важкі турбіни, прокатні стани).

Збільшення кількості складальних об'єктів дає змогу для переходу до непотокового рухомого складання. Відмітною рисою такої форми складання є наявність транспортних засобів, які використовуються для переміщення складальних об'єктів від одного робочого місця до іншого.

Кількість  $q_1$  робочих місць (робітників) або позицій, які послідовно повинен пройти складальний об'єкт, визначається за формулою

$$q_1 = \frac{T_o - T_c}{(T - t_n^l) \cdot \gamma_1}, \quad (1.32)$$

де  $t_n^l$  – розрахунковий час, потрібний для переміщення одиниці

складального об'єкта із одного робочого місця на інше;

$\gamma_1$  – кількість паралельних потоків, які потрібні для паралельного складання однакових об'єктів, залежно від заданої виробничої програми,

$$\gamma_1 = \frac{T_{\text{оп}}^{\text{нб}} + t_n^l}{T},$$

де  $T_{\text{оп}}^{\text{нб}}$  – трудомісткість найбільшої за часом складальної операції (трудомісткість усіх несумісних переходів, які складають цю операцію).

Якщо сумісні за часом операції відсутні, але час транспортування об'єктів, що складаються, та оперативний час суміщені в одному потоці, то розрахункова кількість  $q_1$  робітників (робочих місць) визначається за формулою

$$q_1 = \frac{T_o}{T}. \quad (1.33)$$

Подальше збільшення складальних виробів дає економічну підставу використовувати потокову форму складання. Однією із форм потокового складання за найменшими витратами на її організацію є потокове стаціонарне складання. Розрахунок кількості робітників  $q_2$  або бригад-складальників, потрібних для одного потоку (або кількість об'єктів, які знаходяться на складанні одного потоку), виконується за формулою

$$q_2 = \frac{T_o - T_c}{(T - t_p)\gamma_2}, \quad (1.34)$$

де  $t_p$  – розрахунковий час, потрібний для переходу робітників або бригад від одних складальних об'єктів до інших;

$\gamma_2$  – кількість паралельних потоків, потрібних для паралельного складання однакових об'єктів, залежно від заданої програми випуску виробів,

$$\gamma_2 = \frac{T_{\text{оп}}^{\text{нб}} + t_p}{T}.$$

Прикладом організації потокового стаціонарного складання, коли виконується періодичний рух робітників від одних об'єктів

до інших, є складання токарних верстатів у серійному виробництві.

Значне збільшення кількості складальних виробів призводить до використання потокової рухомої форми складання, за якою складальний об'єкт рухається періодично або безперервно. Для руху складальних об'єктів використовуються різні типи конвеєрів (стрічкові, ланцюгові, штангові, рамкові і т. ін.).

Швидкість  $v$  руху конвеєра, коли складальний об'єкт рухається безперервно, визначається за формулою

$$v = \frac{L + l_1}{T\gamma_3}, \quad (1.35)$$

де  $L$  – довжина об'єкта, що складається, яка вимірюється у напрямі руху конвеєра, м;

$l_1$  – відстань між об'єктами, яка потрібна для зручності складання, м; ( $l_1 = 0,3 - 1$  м);

$\gamma_3$  – кількість паралельних потоків, потрібних для паралельного складання об'єктів, залежно від обсягу випуску виробів.

Обчислена швидкість  $v$  не повинна перевищувати швидкості  $[v] = 0,5-5,5$  м/хв, що допустима технікою безпеки і охороною праці України. У протилежному разі виконання річного обсягу виготовлення виробів за незмінними величинами  $L$  і  $l_1$  досягається зростанням кількості паралельних потоків  $\gamma_3$ . Розрахунок кількості паралельних потоків  $\gamma_3$  виконується за формулами [3]:

- для складання із безперервним рухом об'єкта (потокове рухоме складання)

$$\gamma_3 = \frac{T_{\text{он}}^{\text{нб}} + t_n^u}{T},$$

де  $t_n^u$  – розрахунковий час, потрібний робітнику для повернення у вихідну позицію після виконання операції;

- для складання із періодичним рухом об'єкта [3]:

$$T_{\text{шт}} = T_o + T_d + T_{\text{об}} + T_{\text{від}}, \quad (1.36)$$

де  $T_{\text{шт}}$  – штучний час на виконання однієї операції, хв;  
 $T_o$  – основний (технологічний час переходу), хв;  
 $T_d$  – допоміжний (неперекриваний) час переходу, хв;  
 $T_{\text{об}}$  – час обслуговування конвеєра і складальних місць, хв;  
 $T_{\text{від}}$  – час на відпочинок та особисті потреби виконавця, хв.  
 Розрахункова кількість  $q_3$  робочих місць, або позицій, які повинен пройти об'єкт, що складається, визначається за формулами:

- для складання із безперервним рухом об'єкта

$$q_3 = \frac{T_o - T_c}{(T - t_n^u)\gamma_3}; \quad (1.37)$$

- для складання із періодичним рухом об'єкта

$$q_4 = \frac{T_o - T_c}{(T - t_n^l)\gamma_2}. \quad (1.38)$$

Довжина робочої частини конвеєра визначається за формулою

$$L_p = (L + l_1) \cdot (q_3 + 1). \quad (1.39)$$

Потокове складання із рухом складальних об'єктів відрізняється більш високою продуктивністю, найменшим циклом складання, рівномірним випуском продукції і має найбільші техніко-економічні показники порівняно з іншими організаційними формами складання.

Оцінка складальної лінії визначається за коефіцієнтом використання складального часу потоку  $K_c$  за формулою

$$K_c = \frac{T_o}{T_o + T_{\text{п}} + T_3 + T_{\text{ін}}}, \quad (1.40)$$

де  $T_o$  – час, витрачений на складальні операції;

$T_{\text{п}}$  – час переміщення об'єкта при складанні;

$T_3$  – час зупинок, який виникає через розбіжність часу попереднього складання вузлів і такту загального складання;



$T_{\text{ін}}$  – час зупинок, який виникає через розбіжність продуктивності роботи інших цехів і такту загального складання (при проектуванні  $T_3 = 0$  і  $T_{\text{ін}} = 0$ , тобто зупинка конвеєра неприпустима).

На практиці  $K_c \neq 1$  і у кращому разі  $K_c = 0,9 - 0,92$ .

За заданою кількістю виробів, які виготовляються за незмінним кресленням та приблизною трудомісткістю складання (тут можна використовувати дані підприємства), вибирається організаційна форма складання (непотокова-стаціонарна або рухома, потокова-стаціонарна або рухома з періодичним чи безперервним рухом) об'єкта [1]. Дані трудомісткості потрібно порівняти з розрахованим тактом випуску.

Тип виробництва визначається за таблицею 1.2, а організаційна форма складання – за таблицею 1.3.

Вибір виду організації складального процесу на цьому етапі необхідно враховувати попередньо. У подальшому цей вибір потребує уточнення, коли будуть визначені технологічні пристрої та обладнання, необхідні для складання вузла, а також виконане нормування складальних робіт.

### **1.6 Вибір засобів поліпшення праці та збільшення її продуктивності**

Складання машини займає 10–60 % загальної трудомісткості її виготовлення. Складальні роботи потребують значних витрат фізичної сили робітників-складальників. Тому підвищення продуктивності складальних робіт і поліпшення праці складальників є завданнями, які потрібно вирішувати при розробленні технологічного процесу складання [4; 6].

При виборі засобів поліпшення праці і збільшення її продуктивності потрібно враховувати:

- обсяг випуску виробів, що складаються за одиницю часу та за незмінними кресленнями;
- комплекс робіт, які необхідно виконати при

складанні виробів (комплектування і транспортування деталей та складальних одиниць до місця складання; їх координування із заданою точністю; з'єднання; регулювання; припасування та фіксацію відносних положень деталей і складальних одиниць; випробування, очищення та фарбування).

Залежно від організаційної форми роботи мають місце стаціонарний і рухомий види переміщення складального виробу.

Стаціонарне складання виконується групою робітників (бригадою) на одному нерухомому місці (стенді), до якого подаються всі потрібні вузли і деталі.

Рухоме складання потребує рух виробів між робочими місцями. На робочих місцях робітником або групою робітників виконується кожний раз одна й та сама операція. Тому на кожне робоче місце подаються деталі або складальні одиниці, які потрібні тільки для даної операції. Робочі місця комплектуються потрібним інструментом, пристроями, деякими типами верстаків [5; 6].

Стаціонарне складання виконується на слюсарних верстаках, столах, спеціальних пристроях, які забезпечують базування, обертання при складанні, транспортування.

Рухоме складання виконується на конвеєрах, спеціальних транспортних пристроях.

Загальне стаціонарне складання машин виконується:

- на підлозі, тобто на необладнаній площадці цеху;
- на обладнаних стендах (станціях);
- на складальних верстатах (конструкція цих верстатів передбачає обертання виробу, що складається для додання йому різних положень при складанні).

Місце складання оснащується:

- свердлильними верстатами (вертикально-свердлильними, але слід надати перевагу горизонтально-свердлильним). На них свердлять, зенкерують, розвертають отвори «за місцем», нарізають різь;

-пресами різноманітних конструкцій, на яких виконують нерухомі неподільні з'єднання з натягом.

Визначення типу складального устаткування, оснащення та піднімально-транспортних засобів проводиться за змістом операції. Наприклад, для складання сполук із натягом застосовують преси: при невеликих зусиллях пресування (1–1,5 кН) – механічні привідні та для великих зусиль пресування – гідравлічні.

Для поєднання деталей заклепками при невеликих габаритах виробу – стаціонарні клепальні машини; при великих габаритах – переносні клепальні скоби. Ці засоби виробництва призначають з урахуванням раніше обраного типу виробництва та організаційних форм складального процесу. У довідниках [5; 6] наведений перелік засобів для складання виробів.

Якщо технологічний процес складання передбачає застосування спеціальних пристроїв або засобів механізації та автоматизації, то вони підлягають проектуванню з розробленням складальних креслень і відповідних розрахунків [6].

Вибір технологічного оснащення та устаткування відбувається за такими рекомендаціями (див. табл. 1.3):

-при виготовленні машин у незначній кількості застосовується універсальна технологічна оснастка та устаткування (одиничний, дрібносерійний типи виробництва);

-зростання обсягів випуску виробів дає економічну підставу для використання спеціальних та спеціалізованих пристроїв, механізованого складального та контрольного інструментів (серійний, великосерійний типи виробництва);

-масовий випуск машин дозволяє здійснити комплексну механізацію та автоматизацію складальних робіт (масовий тип виробництва).

Попередній вибір оснастки та обладнання, які потрібно використовувати при складанні машин, дає підставу приступити до нормування складальних робіт і визначити трудомісткість складання будь-якої складальної одиниці та виробу у цілому.

## 1.7 Нормування, визначення трудомісткості складання

Нормуванням складальних робіт визначаються трудомісткість складання і потрібна кількість обладнання, розраховуються завантаження і трудомісткість робочих місць, встановлюється ціна виробу, застосовується календарне планування виробництва.

До основних норм праці належать норми часу, обслуговування, вироблення, кількості.

**Норма часу (трудомісткість операції)** – це витрати часу на виконання операції складання.

**Норма часу обслуговування** – це витрати часу на обслуговування одиниці складального обладнання.

**Норма вироблення** – це завдання у натуральних одиницях робочому-відряднику, яке він зобов'язаний виконати впродовж визначеного періоду часу (звичайно за зміну).

**Норма кількості** – це кількість робітників, які потрібні для виконання певного обсягу робіт.

**Норма обслуговування** – це кількість виробничих об'єктів (складального обладнання, робочих місць і т. ін.), які закріплені за одним або за бригадою робітників.

**Нормоване завдання** – це сукупність робіт, які необхідно виконати за встановлений період часу (зміну, місяць).

**Технічно обґрунтована норма часу** – це регламентований час на виконання операції за визначеними обґрунтовно-технічними вимогами, які найсприятливіші для виробництва. Ця норма встановлюється відповідно до експлуатаційно-спроможних засобів технологічного оснащення і методів роботи, яка відповідає сучасним досягненням техніки та виробництва.

Норма часу, що встановлена для складання одного виробу при виконанні операції, визначається нормою штучного часу.

Штучний час визначається відношенням часу виконання технологічної операції до кількості виробів, які одночасно складають на одному робочому місці.

Для нормування праці використовують аналітичний або дослідно-статистичний методи встановлення норм.

За аналітичним методом установа норми часу здійснюють аналіз методів і способів виконання операцій на робочому місці, аналіз рівня механізації праці та ефективності використання обладнання. Операція розчленовується на елементи, і виявляються фактори, які впливають на час їх виконання. Потім визначається тривалість окремих елементів і операції в цілому.

За дослідно-статистичним методом норми часу встановлюють на основі досвіду нормування аналогічних операцій і процесів окремих видів робіт. Цей метод, як правило, застосовують для одиничного типу виробництва виробів.

**Штучний час** за аналітичним методом для неавтоматизованого виробництва на виконання однієї операції складання визначається за формулою

$$T_{\text{шт}} = T_o + T_d + T_{\text{об}} + T_{\text{п}}, \quad (1.41)$$

де  $T_o$  – основний (технологічний) час, хв;

$T_d$  – допоміжний (неперекриваний) час, хв;

$T_{\text{об}}$  – час на обслуговування робочого місця, хв;

$T_{\text{п}}$  – час на перерви у роботі, хв.

**Основний (технологічний) час** пов'язаний із станом об'єкта що складається. Основний час витрачається на безпосередній процес з'єднання і закріплення складальних компонентів і може бути ручним, машинно-ручним та машинним (автоматичним).

**Допоміжний час** витрачається на дії, які пов'язані з виконанням основної роботи. Цей час урахує установа, закріплення і знімання складальних компонентів; керування обладнанням; підведення і відведення виконавчих органів; вимірювання параметрів, які потрібно забезпечити при складанні.

**Оперативний час** визначається за формулою

$$T_{\text{оп}} = T_o + T_d. \quad (1.42)$$

**Час на обслуговування робочого місця** враховує витрати часу на підготовку робочого місця до початку роботи; змащування і чищення обладнання, а також їх налагодження при виконанні роботи; заміну інструменту; прибирання робочого місця в кінці зміни і т. ін. Цей час і час на перерви у роботі визначається у відсотках від оперативного часу.

**Час на перерву** у роботі потрібний для відпочинку і особистих потреб працівника, а також для організаційно-технічних причин.

**Штучний час**  $T_{шт}$  на виконання однієї операції складання визначається за формулою

$$T_{шт} = \sum_1^i T_{опі} \cdot \left(1 + \frac{\alpha + \beta}{100\%}\right) \cdot K_p, \quad (1.43)$$

де  $T_{опі}$  – оперативний час переходів окремої операції, хв;

$\alpha$  – відсоток від оперативного часу, що відповідає часу на обслуговування робочого місця ( $\alpha = 2-3\%$ ) [7];

$\beta$  – відсоток від оперативного часу, який відповідає часу на відпочинок та особисті потреби виконавця ( $\beta = 2\%$ ) [7];

$K_p$  – поправковий коефіцієнт оперативного часу, який враховує кількість прийомів, виконуваних працівником [1];

$i$  – кількість переходів у операції.

Для складних вузлів технологічний процес має таку послідовність:

- складання окремих складальних одиниць (комплектів, підвузлів);

- загальне складання вузла.

Увесь технологічний процес складання повинен бути відображений у технологічних картах [13]. Усі графи операційної карти слюсарно-складальних робіт повинні бути повністю заповнені [11; 12; 13].

Відповідно до обраного організаційного виду складання операції комплектуються із окремих переходів.

Нормування операцій складання здійснюється за

переходами, для яких за довідниками [6; 7] визначається оперативний час.

Норми часу  $T_{oi}$  та  $T_{di}$  визначаються нормативами часу на слюсарно-складальні роботи [7].

**Загальний час**  $T_{шт}^o$  на складання всього вузла дорівнює

$$T_{шт}^o = \sum_1^m T_{шт}, \quad (1.44)$$

де  $m$  – кількість складальних операцій.

**Штучно-калькуляційний час**  $T_{шт-к}$  на один виріб при складанні вузла партіями визначається за формулою

$$T_{шт-к} = T_{шт}^o + \frac{T_{п-з}}{n}, \quad (1.45)$$

де  $T_{п-з}$  – підготовчо-завершальний час, який встановлюється на величину партії виробів, що виготовляються, хв.;

$n$  – кількість вузлів у партії.

**Підготовчо-завершальний час** витрачається складальником на ознайомлення із кресленням виробу, підготовку і налагодження обладнання, пристроїв та інструменту. Цей час залежить від виду та складності складання, ступеня складності налагодження засобів технологічного оснащення та не залежить від партії вузлів. Час  $T_{п-з}$  визначається за довідником [7].

Таким чином, визначається норма (трудомісткість) часу, необхідна для виконання операції складання вузла.

Розряд роботи та розцінку встановлюють на кожну операцію окремо. У підсумку необхідно визначити трудомісткість загального та окремо-вузлового складання, якщо це було передбачено технологічним процесом.

При застосуванні механізованих потокових ліній норма часу (трудомісткість) складальної операції визначається за формулою

$$T_{co} = T_{оп} + T_{тр} + T_{сх}, \quad (1.46)$$

де  $T_{тр} = T_{тр. м} + T_{тр. р}$  – час на транспортування складального виробу між операціями;

$T_{тр. м}$  – час механічного транспортування виробу з однієї

операції до іншої;

$T_{тр.р}$  – час, який витрачає робочий на знімання і встановлення складального об'єкта на конвеєр;

$T_{сх}$  – час, який характеризує точність синхронізації виконання складальної операції.

Якщо складання виконується на автоматизованому обладнанні, то штучний час  $T_{шт}$  (див. формулу 1.41) визначається без  $T_{об}$  і  $T_{п}$ . У цьому випадку допоміжний час становить мінімальне значення за рахунок підвищення швидкостей переміщення виконавчих органів та суміщення цих рухів із виконанням основного процесу складання.

Продуктивність  $Q$  робочого циклу автомата або напівавтомата визначається за формулою

$$Q = 1/T_{ц} = 1/T_{оп} = 1/(T_{о} + T_{д}), \quad (1.47)$$

де  $T_{д}$  – робочий цикл автомата або напівавтомата, хв.

При визначенні продуктивності автоматичного обладнання встановлюється час циклу  $T_{ц}$ , який визначається за формулою

$$T_{ц} = T_{п} + T_{ор} + T_{с} + T_{тр}, \quad (1.48)$$

де  $T_{п}$  – час подавання деталей на складання;

$T_{ор}$  – час на орієнтацію складального вузла;

$T_{с}$  – час на з'єднання деталей складального вузла;

$T_{тр}$  – час транспортування складального вузла.

Часи  $T_{п}$  і  $T_{тр}$  можна визначити за формулою

$$T_{п} + T_{тр} = L/V, \quad (1.49)$$

де  $L$  – відстань від лотоків або магазинів до складальної позиції;

$V$  – швидкість руху деталей або швидкість руху штовхачів механізмів живильника.

Якщо час  $T_{ор}$  не суміщений із часом  $T_{тр}$ , то він визначається за формулою (1.49).

Час на з'єднання деталей  $T_{с}$  визначається за формулами:

$T_{с} = \sqrt{2h/g}$  – якщо з'єднання вільне і деталі з'єднуються



із зазором ( $h$  – відстань вільного падіння деталі, м;  $q$  – прискорення вільного падіння деталі,  $\text{м/с}^2$ );

$T_c = 1/n$  – якщо з'єднання виконується пресуванням ( $n = 40\text{--}90$  подв. рух/хв. – тривалість одного подвійного руху преса);

$T_c = l/Sn$  – якщо з'єднання є гвинтовим ( $l$  – довжина згвинчування, мм;  $S$  – крок різі, мм;  $n = 500\text{--}1000$  хв<sup>-1</sup> – частота обертання шпинделя гайковерта).

Для підвищення продуктивності складального обладнання циклові витрати зводяться до мінімуму.

Технологічна продуктивність складального обладнання  $Q_T$  визначається за формулою

$$Q_T = 1/(T_o + T_d + T_{\text{бц}}), \quad (1.50)$$

де  $T_{\text{бц}}$  – безциклові витрати, які враховують витрати часу на налагодження обладнання, заміну та налагодження оснащення і т. ін. Величину  $T_{\text{бц}}$  визначають і відносять до одного циклу.

При автоматичному складанні необхідно обґрунтувати можливість збирання складальних одиниць вибраним методом досягнення точності, показати схеми базування деталей на позиціях складання та засоби, які забезпечують надходження деталей на складальну позицію без втрати орієнтації. Тут необхідно користуватися рекомендаціями праць [1; 2; 3; 5; 6].

Після визначення трудомісткості складання і з метою удосконалення технологічного процесу складання будують циклограму складання [3]. Вигляд циклограми складання та спосіб її побудови залежать від організаційної форми складання. Наприклад, при складанні перехідними бригадами циклограма повинна одночасно відбивати виконання операцій на кожному стенді.

Циклограма складання дозволяє:

- скорочувати цикл складання за рахунок суміщення окремих переходів;

- об'єднувати переходи технологічного процесу складання з метою формування операцій. Тривалість останніх повинна дорівнювати встановленому такту або бути кратною йому;
- виявляти потрібні зміни у технологічному процесі або оснащенні конструкції вузла з метою підвищення її технологічності [3].

Циклограма складання будується у прямокутних координатах (див. табл. 1.4). По вертикалі записуються у стислій формі переходи складання, по горизонталі – тривалість їх виконання. Далі технологічні переходи комплектуються в операції, які дорівнюють трудомісткості такту складання або кратні йому. Потім за вузловим та загальним складанням визначається кількість слюсарів-складальників:  $q_1 = T_{шт}^0 / T$ .

Побудову циклограми складання рекомендується починати із вузлового складання, а закінчувати загальним складанням. У графі «Щільність роботи» зазначається кількість слюсарів-складальників, потрібних для виконання операції, не виходячи за межі такту складання. У графі «Час» зазначається час у відрізках, які дорівнюють такту складання (у хвиликах). Штучний час виконання операції (переходу) позначається ■■■■, а час очікування – .

Приклад циклограми складання із посиланням на технологічний процес складання корпусу підшипника наведений у таблиці 1.4. Візьмемо програму  $N = 40000$  виробів на 1 рік. Згідно з рекомендаціями таблиці 1.3 визначимо великосерійний тип виробництва. Ураховуючи характер виробів (габарити та вагу) і тип виробництва, беремо поточну форму організації складального процесу із стаціонарними складальними стендами для вузлового і загального складання.

Для пересування виробу використовуємо круглий стенд, який обертається навколо своєї осі. Робочі місця розміщені за колом стенда. Візьмемо режим роботи обладнання (поточної лінії) двозмінним. Тоді такт випуску  $T$  (у хвиликах) визначається за формулою

$$T = \frac{F_{\text{до}} \cdot 60}{N} = \frac{3871 \cdot 60}{40000} \approx 5,81 \text{ хв},$$

де  $F_{\text{до}} = 3871$  год. – дійсний фонд роботи обладнання [5].

Визначимо кількість слюсарів-складальників на вузловому і загальному складанні за формулою (1.24):

$$q_1 = \frac{T_0}{T} = \frac{20,96}{5,81} \approx 3,61.$$

Візьмемо  $q_1 = 4$  чоловіки.

Кількість слюсарів-складальників, потрібних для складання вузлів, – 3 чоловіки, для загального складання виробу – 1 чоловік.

Аналіз циклограми визначив, що зменшення часу складання може відбуватися як за суміщенням окремих переходів, так і за скороченням їх тривалості. Одночасно із розробленням загального технологічного процесу складання виробу потрібно виконати критичний аналіз його конструкції з метою виявлення всіх можливостей і особливостей запропонованого технологічного процесу, а також внести зміни для збільшення технологічності виробу або машини.

Таблиця 1.4 – Циклограма складання корпусу підшипника

Номер операції	Зміст операцій (переходів)	Норма часу, хв	Щільність роботи	Час Т, хв
1	2	3	4	5
	<i>Складання комплектів</i>			
	<i>Складання фланця</i>			
1	Вставити кільце 15 у фланець 4	0,42	}	(5,0) (0,81)
	<i>Складання вала</i>			
1	Установити вал 1 у пристрій.	0,20		
2	Установити підшипник 7 (перший) на вал 1.	0,50		
3	Установити підшипник 7 (другий) на вал 1.	0,50		
4	Поставити на вал 1 шайбу 16.	0,11		
5	Загвинтити гайку 9	0,21		
	<i>Складання підвузла</i>		}	
	<i>Складання корпусу</i>			
1	Установити корпус 2 у пристрій.	0,18		
2	Установити фланець 4 СБ у корпус 2.	0,12		
3	Установити чотири шайби 12 на фланець 4 СБ, чотири болти 13 і закрутити їх до упору.	1,80		
4	Установити вал 1 СБ у корпус 2.	0,82		
5	Установити кришку 3	0,14		

Продовження таблиці 1.4

1	2	3	4	5	
6	Загвинтити і затягнути чотири болти 13 до появи гальмування вала 1СБ.	3,60	}	(5,29) (0,52)	
7	Виміряти зазор $\delta$ для визначення кількості прокладок 8.	0,68		1	
8	Викрутити чотири болти 13.	0,85			
9	Зняти кришку 3	0,16			
10	Регулювати зазори в кільцях підшипників 7 гайкою 9.	2,7	}	(5,6) (0,21)	
11	Установити розраховану кількість прокладок 8, кришку 3, шайби 12, болти 13 і закрутити болти до упору. Контролювати зазор $\delta$	2,9		1	
	Разом	15,89	3		
	<i>Загальне складання</i> <i>Складання корпусу підшипника</i>				
1	Установити корпус 2СБ у пристрій.	0,2	}		
2	Установити шпонку 14 у паз вала 1СБ і закріпити.	1,85			
3	Надіти шків 6.	0,78			(5,07) (0,74)
4	Установити шайбу 11 .	0,08		1	
5	Закрутити гайку 10 до упору.	0,36			T=5,81
6	Кернити шифр виробу.	1,48			
7	Зняти виріб (корпус підшипника) із пристрою	0,32			
	Разом То	20,96	4		

## 1.8 Критерії оцінювання техніко-економічної ефективності різних варіантів складання

Розроблений технологічний процес складання повинен забезпечити потрібну кількість і якість виробів згідно з конструкторською документацією, а також здійснюватися із мінімальною їх собівартістю. Із декількох можливих порівнювальних варіантів складання вибирають найбільш рентабельний та продуктивний варіанти.

Оцінювання різних варіантів складання відбувається за допомогою абсолютних і відносних критеріїв.

### *Абсолютні критерії*

1 Трудомісткість складального процесу виробів  $T_B$  визначається як сума штучного часу за всіма  $m$  операціями складання. Для масового виробництва  $T_B = \sum_{i=1}^m T_{штиi}$ , а для серійного виробництва  $T_B = \sum_{i=1}^m T_{шт-ki}$ .

2 Технологічна собівартість складання  $C_{ск}$  одного виробу визначається за формулою

$$C_{ск} = C_{зп.р} + C_{зп.н} + C_{об} + C_{ос}, \quad (1.51)$$

де  $C_{зп.р}$  – заробітна платня робітників-складальників із додатковими нарахуваннями;

$C_{зп.н}$  – заробітна плата наладжувальників;

$C_{об}$  – витрати, що пов'язані з експлуатацією та амортизацією складального обладнання;

$C_{ос}$  – витрати, що пов'язані з експлуатацією та амортизацією технологічного оснащення.

Заробітна плата робітників визначається за формулою

$$C_{зп.р} = \sum_{i=1}^m (T_{шт.с} \cdot Z_c + T_{шт.п} \cdot Z_p + T_{шт.р} \cdot Z_p), \quad (1.52)$$

де  $T_{шт.с}$ ,  $T_{шт.п}$ ,  $T_{шт.р}$  – штучні часи складання, припасування і регулювання;

$Z_c, Z_p, Z_p$  – заробітна плата за 1 хвилину робітника при

виконанні відповідно складання, припасування, регулювання.

Заробітна плата наладжувальників визначається за формулою

$$C_{зп. н} = \sum_1^{m_1} T_{п-з}^0 \cdot Z_n, \quad (1.53)$$

де  $T_{п-з}^0$  – підготовчо-завершальний час, який витрачається на одну операцію одного виробу;

$Z_n$  – заробітна плата наладжувальника за 1 хвилину;

$m_1$  – кількість переналагоджувальних складальних операцій.

Витрати, які пов'язані з експлуатацією і амортизацією обладнання, визначаються за формулою

$$C_{об} = \sum_1^{m_2} S_M T_{шт}, \quad (1.54)$$

де  $m_2$  – кількість одиниць складального обладнання;

$S_M$  – вартість однієї хвилини роботи складального обладнання.

Вартість  $S_M$  приблизно визначається за даними підприємства або розраховується за формулою

$$S_M = S_a + S_p + S_e + S_{ам. б} + S_{д. м}, \quad (1.55)$$

де  $S_a$  – витрати на амортизацію обладнання;

$S_p$  – витрати на ремонт обладнання;

$S_e$  – витрати на електроенергію (стиснене повітря);

$S_{ам. б}$  – витрати на амортизацію будівлі, які віднесені до виробничої площі, зайнятої складальним обладнанням;

$S_{д. м}$  – витрати на допоміжні матеріали.

Витрати на амортизацію обладнання визначаються за формулою

$$S_a = \frac{S_{об} \cdot a}{F}, \quad (1.56)$$

де  $S_{об}$  – балансова вартість обладнання;  
 $a$  – частина амортизаційних відрахувань;  
 $F$  – фонд роботи обладнання за 1 рік.

Витрати на ремонт обладнання визначаються за формулою

$$S_p = \sum_1^{m_2} K_{ТВ} C_M R_M T_{шт}, \quad (1.57)$$

де  $K_{ТВ}$  – коефіцієнт, який враховує тип виробництва ( $K_{ТВ} = 0,9$ ; 1 і 1,2 – відповідно для одиничного, серійного і масового виробництв);

$C_M$  – витрати на виконання малих ремонтів, оглядів та міжремонтне обслуговування обладнання першої категорії складності;

$R_M$  – категорія складності ремонту обладнання.

Витрати на електроенергію визначаються за формулою

$$S_e = \sum_1^{m_2} \frac{N_y \cdot \alpha \cdot \beta \cdot S_{еч} \cdot T_{шт}}{60}, \quad (1.58)$$

де  $N_y$  – встановлена потужність електродвигунів, кВт;

$\alpha$  і  $\beta$  – коефіцієнти використання встановленої потужності за часом та величиною ( $\alpha \cdot \beta = 0,5 - 0,9$ );

$S_{еч}$  – вартість 1 кВт·г електроенергії.

Витрати на стиснене повітря визначаються за формулою

$$S_{п} = \sum_1^{m_2} \frac{r_{п} S_{сп} T_o}{60}, \quad (1.59)$$

де  $r_{п}$  – витрата повітря за 1 годину (середній), м<sup>3</sup>;

$S_{сп}$  – вартість 1 м<sup>3</sup> повітря.

Витрати на амортизацію будівлі визначаються за формулою



$$S_{\text{ам. б}} = \sum_1^{m_2} \frac{S_{\text{ц}} a_{\text{ц}} F_{\text{об}}}{F_{\text{ц}}}, \quad (1.60)$$

де  $S_{\text{ц}}$  – витрати на цехову будівлю;

$a_{\text{ц}}$  – частина амортизаційних відрахувань, %;

$F_{\text{об}}$  – площа, яку займає одна одиниця складального обладнання;

$F_{\text{ц}}$  – площа будівлі цеху.

Витрати на допоміжні матеріали визначаються за формулою

$$S_{\text{д. м}} = \sum_1^{m_2} \frac{D_{\text{р}} T_{\text{шт}}}{60F}, \quad (1.61)$$

де  $D_{\text{р}}$  – витрати на допоміжні матеріали на одиницю складального обладнання за 1 рік;

3 Тривалість циклу  $T_{\text{ц}}$  складання для серійного (непотокового) виробництва з послідовною передачею визначають за формулою

$$T_{\text{ц}} = \sum_1^m T_{\text{шт}} m + T_{\text{з}} k + T_{\text{тр}} (2k + 1), \quad (1.62)$$

де  $m$  – кількість операцій складання виробу;

$T_{\text{з}}$  – час зберігання партії виробів на проміжному складі;

$k$  – кількість завантажень виробів на проміжний склад;

$T_{\text{тр}}$  – час транспортування партії виробів від складального стенда до складу (і зворотно);

$2k + 1$  – величина, яка додатково урахує транспортування виробу на склад готової продукції (значення  $k$  у самому невідповідному випадку дорівнює кількості операцій складання).

Тривалість циклу для серійного потокового виробництва при складанні  $n_{\text{п}}$  виробів із темпом  $t$  визначають за формулою

$$T_{\text{ц}} = t(m + n_{\text{п}}). \quad (1.63)$$

4 Кількість одиниць складального обладнання  $k_{\text{об}}$ .

5 Кількість складальників  $k_{ск}$ .

6 Середній розряд складальника.

7 Енергозабезпечення робочих місць складальників.

### **Відносні критерії**

1 Коефіцієнт собівартості  $K_{сб}$  складального процесу визначається за формулою

$$K_{сб} = C_{сб} / C_B, \quad (1.64)$$

де  $C_{сб}$  – собівартість складання виробу;

$C_B$  – повна собівартість виготовлення виробу.

2 Коефіцієнти завантаження робочих місць  $\eta_{зр}$  та потокової лінії  $\eta_{пл}$  визначаються за формулами:

$$\eta_{зр} = \frac{k_p}{k_{п}}; \quad \eta_{пл} = \sum_1^m \frac{\eta_{зр}}{n_{л}}, \quad (1.65; 1.66)$$

де  $k_p$  – розрахована кількість робочих місць на операції;

$k_{п}$  – прийнята кількість робочих місць ( $k_p > k_{п}$ ).

$n_{л}$  – прийнята кількість робочих місць на лінії.

Прийнятні значення коефіцієнтів  $\eta_{зр} = 0,9 - 0,95$ , а  $\eta_{пл} \geq 0,9$ .

3 Коефіцієнт розчленування складального процесу визначається за формулою

$$k_{рч} = T_{св} / T_B, \quad (1.67)$$

де  $T_{св}$  – трудомісткість вузлового складання;

$T_B$  – трудомісткість складання виробу.

4 Коефіцієнт досконалості складального процесу виробу визначається за формулою

$$k_{дс} = \frac{T_{св} - T_{пр}}{T_B}, \quad (1.68)$$

де  $T_{пр}$  – трудомісткість припасувальних робіт, розбирання і повторне складання виробу.

У масовому виробництві цей коефіцієнт дорівнює 0,95–1,0; у серійному виробництві– 0,8–0,9; в одиничному– 0,6–0,8.

5 Показник рівня механізації та автоматизації процесу складання визначається за формулою

$$k_{м. а} = \frac{T_{м} + T_{а}}{T_{в}}, \quad (1.69)$$

де  $T_{м}$  і  $T_{а}$  –тривалість складання виробу на механізованих і автоматизованих операціях.

6 Коефіцієнт пристосовування  $k_{те}$  типових елементів складального обладнання визначається за формулою

$$k_{те} = n_{те}/n_{зк}, \quad (1.70)$$

де  $n_{те}$  і  $n_{зк}$  – кількість типових і загальна кількість елементів, які входять у конструкцію складального обладнання.

7 Коефіцієнт мобільності обладнання  $k_{мо}$ , який характеризує швидкість його переналагодження для складання другої партії виробів, визначається за формулою

$$k_{мо} = \frac{1}{(1 + \Pi_{ц} \sum_1^{m_{п}} \frac{T_{прі}}{n_{пр}})}, \quad (1.71)$$

де  $\Pi_{ц}$  – циклова продуктивність обладнання,  $хв^{-1}$ ;

$T_{прі}$  – середня тривалість переналагодження  $i$ -го функціонального елемента обладнання,  $хв$ ;

$m_{п}$  – кількість виробів у партії;

$n_{пр}$  – кількість функціональних елементів обладнання, переналагодження яких не суміщені у часі.

### Питання для самоперевірки

- 1 Із чого потрібно починати розроблення технологічного процесу виготовлення виробу?
- 2 Дайте визначення виробу і його службового призначення.
- 3 Назвіть показники службового призначення машин (виробів).
- 4 Як відбувається перехід від параметрів якості продукції і процесу до параметрів зв'язків виконавчих поверхонь виробів?
- 5 Як вибирається метод досягнення потрібної точності виробу?
- 6 Що дає вибір методу потрібної точності вихідної ланки?
- 7 З якою метою для складання виробу розробляється схема складання?
- 8 Основні рекомендації послідовності складання. Стадії складального процесу.
- 9 Дайте визначення технологічності складання.
- 10 Як вибираються організаційний вид та форма складання виробу?
- 11 Ознаки потокового складання виробів.
- 12 Ознаки непотокового стаціонарного складання виробів.
- 13 Ознаки групового складання виробів.
- 14 Як розраховується кількість робочих місць для непотокового стаціонарного складання?
- 15 Як розраховується кількість робочих місць для рухомого потокового складання?
- 16 Вид та форма організації складання виробів, які застосовуються в одиничному виробництві.
- 17 За якими показниками вибираються засоби для поліпшення праці і збільшення її працездатності?
- 18 Які транспортні засоби використовують у рухомому потоковому складанні?
- 19 За яким критерієм виконують оцінювання складальних ліній?
- 20 Як відбувається нормування складальних процесів?

21 Як визначається трудомісткість складання виробів?

22 З якою метою складається циклограма складання?

23 Яка документація відображає технологічний процес складання виробу?

24 За якими абсолютними критеріями виконується оцінювання техніко-економічної ефективності різних варіантів складання?

25 За якими відносними критеріями виконується оцінювання техніко-економічної ефективності різних варіантів складання?

## 2 Методи і засоби контролю якості виробів

### 2.1 Похибки складальних процесів

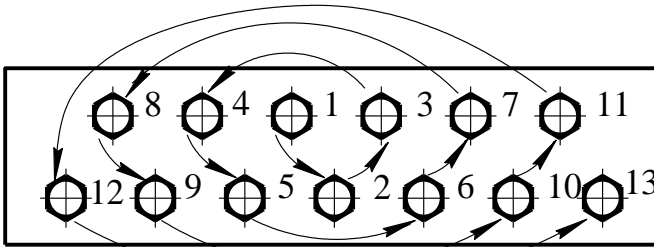
Похибки замикальних ланок РЛ-виробів залежать від різних причин [2]:

- помилки, які виникли при орієнтації і фіксації досягнутого положення монтованих деталей;
- похибки установлення калібрів і вимірювальних засобів;
- похибки регулювання, припасування і контролю точності положення деталей у машині;
- похибки засобів вимірювання;
- відносні зрушення деталей, які сталися на межі часу між досягнутим ними потрібним положенням і фіксацією досягнутого положення;
- потрапляння бруду і стружки у стики деталей;
- утворення задирок на поверхнях з'єднаних деталей.

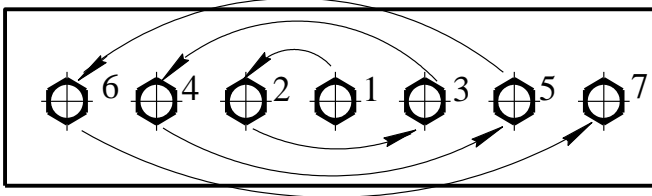
Значну частину похибок при складанні виробів становлять пружні деформації деталей при фіксації їх відносного положення.

Одним із поширених способів з'єднання деталей у виробках є нарізне з'єднання. Це зумовлено простотою, великою міцністю, надійністю, зручністю складання і розбирання, наявністю різноманітних стандартних нарізних деталей та їх взаємозамінністю. Але затягнення гвинтів і гайок призводить до заміни баз деталей, щільності з'єднання, виникнення остаточних деформацій (зминання) у точках контакту з'єднаних деталей. Затягувати гайки і болти необхідно у певній послідовності без перекосу. Затягнення потрібно починати із середніх гайок і поступово наближатися до краю (див. рис. 2.1). Якщо гайки розміщені по колу, то їх необхідно затягувати хрест-навхрест у діаметрально протилежних напрямках.

Надійність нарізних з'єднань залежить насамперед від міцності та стабільності сили затягнення. Ступінь попереднього



Варіант №1



Варіант №2

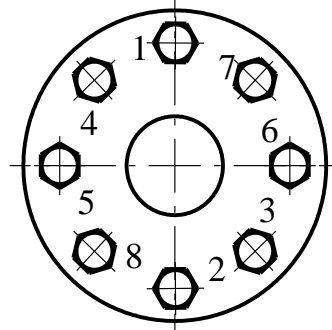
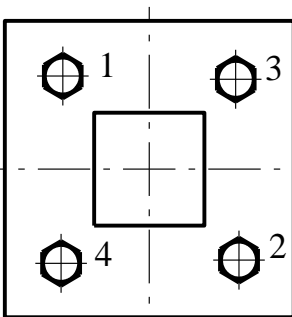
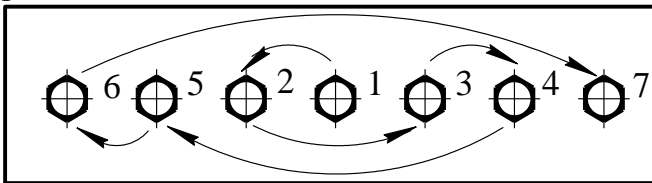


Рисунок 2.1 – Схеми послідовності затягнення гайок  
затягнення нарізного з'єднання визначається функціональним  
призначенням вузла (густина стику, герметичність і т. ін.).

У з'ятому нарізному з'єднанні зовнішня сила  $P_B$  діє на болт (шпильку) частково. Повне навантаження на болт  $Q_6$  визначається за формулою [6]:

$$Q_6 = Q_3 + P_3 = Q_3 + \chi P_B, \quad (2.1)$$

де  $Q_3$  – сила попереднього затягнення;

$P_3 = \chi P_B$  – допоміжна сила, яка діє на болт;

$\chi \approx 0,2-0,4$  – коефіцієнт основного навантаження [6].

Коефіцієнт  $\chi$  основного навантаження для відповідальних нарізних з'єднань розраховують за формулою

$$\chi = \frac{\lambda_d}{\lambda_6 + \lambda_d},$$

де  $\lambda_d$  та  $\lambda_6$  – коефіцієнти податливості відповідно до з'єднаних деталей і болтів.

Найменша сила затягнення повинна задовольняти умову щільності з'єднання (нерозкриття стику):

$$Q_3 = \vartheta P_B (1 - \chi), \quad (2.2)$$

де  $\vartheta$  – запас щільності, який забезпечує нерозкриття стику у разі збільшення зовнішнього навантаження у  $\vartheta$  разів.

Значення  $\vartheta = 1,25-2$  – для постійних навантажень;  $\vartheta = 2,5-4$  – для змінних навантажень. За умов герметичності  $\vartheta = 1,25-2,5$  – при м'яких прокладках;  $\vartheta = 2,5-3,5$  – при плоских металевих прокладках.

Напруження затягнення  $\sigma_3$  визначається за формулою

$$\sigma_3 = \vartheta \cdot \frac{P_B}{F_1} (1 - \chi), \quad (2.3)$$

де  $F_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}$  – площа перерізу болта по внутрішньому діаметру різі  $d_1$ .

Як правило, верхню межу напружень натягнення беруть з урахуванням запасу міцності. Для відповідальних силових з'єднань  $\sigma_3 = (0,6-0,7)\sigma_T$ ; для силових з'єднань та звичайних скріплених деталей  $\sigma_3 = (0,7-0,8)\sigma_T$ , де  $\sigma_T$  – межа текучості матеріалу болта (шпильки). У багатьох випадках при розрахунках беруть  $\sigma_3 = 0,7\sigma_T$  [6].



При експлуатації вузла попереднє затягнення нарізного з'єднання змінюється внаслідок температурних деформацій з'єднань, релаксації напружень у стрижні болта (шпильки) і з'єднуваних деталях, пластичного зминання поверхонь, що контактують. Необхідно враховувати вплив цих факторів при визначенні сили попереднього затягнення.

Прикладений при затягненні гайки (головки болта) крутний момент  $M$  (момент на ключі) урівноважується моментом  $M_p$  сил тертя у різі та моментом  $M_T$  сил тертя торця гайки (головки болта) і притиснутої до нього (неї) деталі. При сталих коефіцієнтах тертя  $f_p$  у різі та  $f_T$  на опорній поверхні гайки (головки болта) момент  $M$ , пропорційний силі затягнення  $Q_3$ , визначається за формулою

$$M = Q_3 \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \tan(\beta + \rho') + Q_3 \cdot \frac{D_m}{2} \cdot f_T, \quad (2.4)$$

де  $d_2$  – середній діаметр різі;

$\beta$  – кут підйому гвинтової лінії;

$\rho' = \arctan f_p'$  – кут тертя у різі;

$f_p' = \frac{f_p}{\cos(\alpha/2)}$  – наведений коефіцієнт тертя у різі;

$\alpha$  – кут профілю різі;

$\frac{D_m}{2} = \frac{D_0^3 - d_0^3}{3(D_0^2 - d_0^2)}$  – наведений радіус дії сил тертя опорної

поверхні гайки (головки болта);

$D_0 \approx 0,95S$  і  $d_0 \approx d$  – зовнішній і внутрішній діаметри опорної кільцевої поверхні ( $S$  – розмір зівя ключа).

Перший член рівняння (2.4) означає момент  $M_p$ , другий – момент  $M_T$ . Коефіцієнти тертя  $f_T$  і  $f_p$  у формулі (2.4) залежать від наявності та виду покриття, мастила, стану поверхонь тертя, повторюваності складання, швидкості загвинчування і т. ін. Згідно з методикою [6] коефіцієнти  $f_T$  і  $f_p$  визначаються залежно від виду покриття та мастильних матеріалів (див. табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Коефіцієнт тертя у нарізних з'єднаннях при різних покриттях та мастильних матеріалах

Покриття болтів та гайок	Коефіцієнт тертя	Без мастильного матеріалу	Машинне мастило	Солідол	Машинне мастило з доданням 20 % $M_0S_2$
Без покриття	$f_p$	0,40 <sup>+0,12</sup> <sub>-0,08</sub>	0,21 <sup>+0,03</sup> <sub>-0,02</sub>	0,19 <sup>+0,02</sup> <sub>-0,03</sub>	0,13 ± 0,02
	$f_T$	0,20 <sup>+0,04</sup> <sub>-0,06</sub>	0,12 ± 0,02	0,13 <sup>+0,01</sup> <sub>-0,02</sub>	0,09 <sup>+0,01</sup> <sub>-0,02</sub>
Оксидування	$f_p$	0,64 <sup>+0,2</sup> <sub>-0,14</sub>	0,45 ± 0,06	0,44 <sup>+0,05</sup> <sub>-0,07</sub>	0,18 ± 0,03
	$f_T$	0,34 <sup>+0,09</sup> <sub>-0,14</sub>	0,26 <sup>+0,03</sup> <sub>-0,07</sub>	0,26 <sup>+0,03</sup> <sub>-0,07</sub>	0,09 ± 0,02
Цинкування	$f_p$	0,40 <sup>+0,08</sup> <sub>-0,16</sub>	0,19 <sup>+0,01</sup> <sub>-0,04</sub>	0,17 <sup>+0,02</sup> <sub>-0,03</sub>	0,17 <sup>+0,02</sup> <sub>-0,03</sub>
	$f_T$	0,09 <sup>+0,01</sup> <sub>-0,02</sub>	0,10 <sup>+0,02</sup> <sub>-0,01</sub>	0,09 <sup>+0,02</sup> <sub>-0,01</sub>	0,08 <sup>+0,01</sup> <sub>-0,02</sub>
Фосфатування	$f_p$	0,02 <sup>+0,03</sup> <sub>-0,05</sub>	0,18 <sup>+0,02</sup> <sub>-0,03</sub>	0,17 ± 0,02	0,16 <sup>+0,01</sup> <sub>-0,02</sub>
	$f_T$	0,10 <sup>+0,02</sup> <sub>-0,01</sub>	0,11 <sup>+0,02</sup> <sub>-0,01</sub>	0,11 ± 0,02	0,09 <sup>+0,01</sup> <sub>-0,02</sub>
Кадміювання	$f_p$	0,29 <sup>+0,03</sup> <sub>-0,05</sub>	0,21 <sup>+0,04</sup> <sub>-0,06</sub>	0,18 <sup>+0,04</sup> <sub>-0,03</sub>	0,14 <sup>+0,01</sup> <sub>-0,03</sub>
	$f_T$	0,17 <sup>+0,05</sup> <sub>-0,07</sub>	0,11 <sup>+0,04</sup> <sub>-0,06</sub>	0,11 <sup>+0,02</sup> <sub>-0,06</sub>	0,06 <sup>+0,01</sup> <sub>-0,02</sub>

Найменше напруження затягнення вибирають за вимогами нерозкриття стику, найбільше – за вимогами міцності, за якимеквівалентне напруження (з урахуванням напружень кручення та розтягання) повинно бути меншим, ніж межа текучості матеріалу болта.

Найбільша  $Q_{max}$  та найменша  $Q_{min}$  фактичні сили затягнення визначаються за формулами:

$$Q_{max} = \frac{M_{max}}{(d_2/2)f_{pmin} + (D_m/2)f_{Tmin}}, \quad (2.5)$$

$$Q_{min} = \frac{M_{min}}{(d_2/2)f_{pmax} + (D_m/2)f_{Tmax}}. \quad (2.6)$$

Найбільше значення моменту затягнення  $M_{max}$  визначають із умови, що найбільша із фактично можливих сил затягнення повинна бути меншою або дорівнювати допустимій силі затягнення з урахуванням міцності болта:

$$M_{max} = \frac{\vartheta_T \cdot \sigma_T \cdot F [(d_2/2)f_{pmin} + (D_m/2)f_{Tmin}]}{\sqrt{1 + 0,75[d_2(F/W_p)f_{pmax}]^2}}, \quad (2.7)$$

де  $\vartheta_T = 0,5-0,7$  – коефіцієнт використання межі текучості матеріалу болта;

$F$  – площа поперечного перерізу болта;

$W_p$  – полярний момент інерції перерізу болта.

Полярний момент інерції для суцільного колового циліндра, у якого один кінець затиснутий, а інший – зазнає дії крутного моменту, визначають за формулою

$$W_p = 0,5(d/2)^3, \quad (2.8)$$

де  $d$  – зовнішній діаметр болта;

$\pi = 3,14$ .

Найменше значення моменту  $M_{min}$  знаходять із умови нерозкриття стику при найменшій силі затягнення за формулою

$$M_{min} = 0,5F_1\sigma_T[(d_2/2)f_{pmax} + (D_m/2)f_{Tmin}]. \quad (2.9)$$

При складанні відповідальних нарізних з'єднань силу затягнення контролюють. Контроль сили за моментом затягнення набув найбільшого застосування у виробництві внаслідок його простої реалізації, високої продуктивності та відносно високої точності. Його широко застосовують у різних типах виробництва, особливо для складання з'єднань, які мають малу податливість. При використуванні методу контролю сили за моментом затягнення похибка вимірювання моменту затягнення не перевищує 15 % при точності одержання сили затягнення не більше 25 %. Низька точність методу

пояснюється великим розкидом значень коефіцієнтів тертя  $f_T$  на торці гайки і у різі  $f_p$ .

Для здійснення однакової і потрібної сили затягнення гвинтів, болтів, гайок використовують ключі, гвинто- і гайковерти із пристроями, які обмежують діючі крутні моменти.

Істотним є використання пристроїв, які безпосередньо вимірюють і обмежують силу затягнення гвинта або гайки.

Досягнення точності виробів методами регулювання або припасування супроводжується контролем точності виконуваних операцій. Контроль вимірювальними засобами або калібрами, який виконується при складанні, пов'язаний із виникненням похибок статичного налагодження. Ці похибки повністю переносяться на складальний об'єкт.

Причинами похибок, які виникли при відносному зрушенні деталей у межах часу між досягнутим положенням і фіксацією досягнутого положення, є:

- удари, поштовхи, струси, яким піддається об'єкт складання при транспортуванні на робочі місця, де відбувається фіксація положення деталей, досягнутого на попередніх операціях;
- удари, поштовхи, коли об'єкт складання встановлюється у пристрій для свердлування отворів під штифти;
- сили різання, які виникли при свердлуванні отворів під штифти.

Контроль якості виконання складних складальних операцій є обов'язковим. Контроль виробів залежно від складності і масштабу випуску буває стовідсотковим або вибіркоким.

## 2.2 Види контролю

Під час складання виробів перевіряють:

- точність взаємного розміщення складальних деталей та вузлів у виробі;
- наявність деталей (у виробках), пристроїв, накопичувачів, лотоків і т. ін.;

- точність відносного розміщення складальних деталей на позиціях складання;
- зазори і натяги у з'єднаннях;
- зусилля затягнення нарізних з'єднань, щільність та якість заклепування, зусилля запресованих деталей і т. ін.
- герметичність з'єднань;
- правильне функціонування складальних частин виробів (легкість та швидкість обертання, точність переміщень, якість контакту та ін.);
- зрівноваженість деталей і вузлів у виробі;
- зовнішній вигляд виробів (виявлення рисок, забоїв, корозії, окалини, забруднених поверхонь деталей; перевірка хитання деталей, легкість руху, шум зубчастих коліс перевіряють складальники і контролери на контрольних місцях).

Під час складання також контролюють:

- послідовність операцій та переходів (порядок затягнення нарізних з'єднань, послідовність накладання зварних швів і т. ін.);
- виконання допоміжних операцій (промивання, очищення, сушіння, нагрівання, охолодження і т. ін.);
- правильне функціонування складального обладнання та оснащення.

Таким чином, основним завданням проектування технології складання виробів є раціональний вибір методів та засобів контролю, організаційно-технічних форм його проведення для забезпечення потрібної якості складальних виробів. Для контролювання якості складання виробів застосовують різні види контролю (див. рис. 2.2).

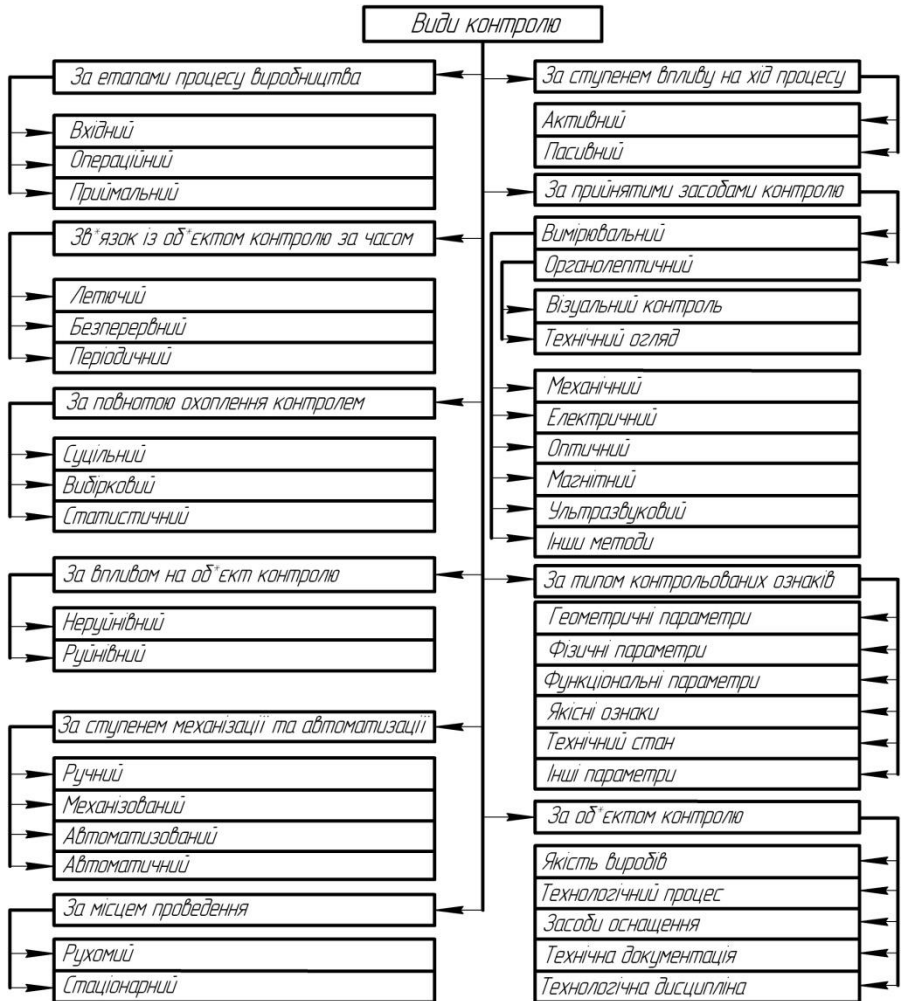


Рисунок 2.2 – Класифікація видів контролю, які використовуються у складальному виробництві

Залежно від *об'єкта контролю* розрізняють контроль:

- якості виробів (кількісних та якісних показників продукції);

- технологічних процесів (режимів, характеристик та параметрів технологічного процесу);
- засобів технологічного оснащення;
- технологічної документації;
- технологічної дисципліни.

Залежно від *етапу виробництва виробів* розрізняють вхідний, операційний і приймальний контроль.

Вхідному контролю підлягають компоненти, які надходять на складання із суміжних виробництв, комплектувальні вироби виготовлені за кооперацією.

Операційний контроль застосовують для контролю параметрів складальних виробів, процесу складання за час виконання технологічних операцій або після їх закінчення.

Приймальний контроль застосовують для перевірки якості складального виробу. За результатом цього контролю приймається рішення про придатність постачання виробу або його використання.

У зв'язку із *об'єктом контролю за часом* обирають летучий, безперервний та періодичний контроль.

Летучий контроль застосовують випадково і здійснюють раптово безпосередньо на робочому місці складання.

Безперервний контроль здійснюють постійно при виконанні технологічного процесу складання. За час складання безперервно надходить інформація контрольованих параметрів, що дає змогу їх змінювати або коригувати. Як правило, такий контроль здійснюють автоматичними або напівавтоматичними засобами контролю.

Періодичний контроль здійснюють через установлений проміжок часу. Цей вид контролю застосовують для перевірки технологічного процесу складання і якості виробів у сталому виробництві, де діють стабільні технологічні процеси складання.

За *повнотою охоплення контролем* розрізняють суцільний, вибірковий та статистичний контроль.

Суцільному контролю підлягають усі складальні вироби. Цей контроль здійснюють за підвищеними вимогами до якості виробів. Під час контролю не допускається пропущення дефектів у виробі, враховуючи те, що виконання складальних операцій неможливо перевірити на наступних етапах складання або випробування виробів. Суцільний контроль здійснюють при операційному і приймальному контролях. Проведення такого контролю у масовому (великосерійному) виробництві може призвести до збільшення трудомісткості його виконання, що робить технологічний процес складання економічно недоцільним. У цьому випадку виникає потреба у розробленні спеціальних методів і організації вибіркового контролю.

Під час вибіркового контролю виробів або технологічного процесу рішення щодо якості устанавлюють за результатами перевірки однієї або декількох вибірок контролю партії виробів. Цей вид контролю застосовують за умови великих обсягів випуску виробів та з'ясованих ризиків між постачальником та споживачем. Умовою цього контролю є стабільний та відпрацьований технологічний процес складання виробів.

Статистичний контроль якості здійснюють за статистичними методами [13].

Залежно від *прийнятих засобів контролю* розрізняють вимірювальний і органолептичний контроль.

Вимірювальний контроль здійснюють за допомогою засобів вимірювання. Розрізняють механічний, електричний, оптичний, магнітний, ультразвуковий та інші методи контролю.

Органолептичний контроль здійснюють за допомогою органів чуття людини (зору, слуху, дотику та ін.). Цей контроль відображає інформацію без вираження її чисельним показником. До різновиду органолептичного контролю відносять візуальний контроль органами зору і технічний огляд, що здійснюється органами чуття.

За *ступенем впливу на хід процесу* визначають активний і пасивний контроль.



Активний контроль використовують для безперервного керування процесом складання виробів із метою попередження браку. Як правило, засоби активного контролю вбудовуються у складальне обладнання. Наприклад, контроль застосовують для вимірювання зусилля пресування або моменту затягування нарізних з'єднань.

Пасивний контроль за одержаними результатами використовують епізодично або зовсім не використовують для керування процесом складання. Цей контроль здійснюють для приймання складальних виробів, перевірки якості особливо відповідальних вузлів виробу, сортування деталей на розмірні групи перед складанням.

За *місцем проведення* контроль буває рухомий і стаціонарний.

Рухомий контроль використовують безпосередньо на робочому місці складання виробу (вузла). Контролюють складання великих виробів, які важко і незручно транспортувати до робочих місць складання. При складанні контролери використовують переносні засоби контролю.

Стаціонарний контроль здійснюють на спеціальних робочих місцях. У технологічному процесі складання передбачені контрольні операції, які обладнані спеціальними контрольними засобами.

Залежно від *типу контролюючих ознак* здійснюють контроль геометричних, фізичних, функціональних та інших параметрів; технологічного процесу; засобів технологічного оснащення; технічної документації; технологічної дисципліни.

За *ступенем механізації і автоматизації* контроль буває ручний, механізований, автоматизований і автоматичний.

Ручний контроль виконують без засобів механізації і автоматизації; механізований – із використанням засобів механізації; автоматизований – із застосуванням засобів автоматизації і часткової участі людини; автоматичний – із

застосуванням засобів автоматизації без участі людини (крім функцій вмикання та вимикання засобів контролю).

Технічний контроль складання розробляється у вигляді процесу технічного контролю – сукупності технологічних операцій технічного контролю, які виконуються при складанні виробу або його складової частини. Ці процеси розробляються для вхідного, операційного і приймального контролю. Вибір оптимального варіанта процесу (операції) технічного контролю здійснюється за розрахунками економічної ефективності. На процеси контролю розробляють технологічні паспорти, журнали контролю технологічних процесів.

Процеси (операції) технічного контролю розробляють разом із технологічним процесом складання. Рівень механізації і автоматизації операцій контролю повинен відповідати вимогам складання та типу виробництва. У ході розроблення операцій контролю за можливістю треба забезпечити єдність конструкторських, технологічних та вимірювальних баз. Операції контролю повинні передбачити інформацію для регулювання технологічного процесу складання, а також запобігти пропусканню дефектних складальних одиниць для подальшого виготовлення виробу. Усі операції контролю реєструють у затвердженій документації, яку піддають метрологічній експертизі.

Розроблення процесів (операцій) технічного контролю передбачає наявність таких основних етапів:

1 Підбору і аналізу вихідних матеріалів для розроблення процесів контролю. На цьому етапі використовують конструкторську та технологічну документацію, програму і строк виготовлення виробів, перспективність методів і процесів контролю, інструкції на виконання контролю, опис прогресивних методів контролю і т. ін.

2 Класифікації та вибору об'єктів контролю. На етапі створюють однорідні групи об'єктів контролю, вибирають

типових представників груп, визначають номенклатуру об'єктів контролю.

3 Групування об'єктів контролю з метою створення збільшених груп об'єктів контролю, розроблення (вибір) комплексного об'єкта контролю для кожної групи, розроблення пропозицій для уніфікації складальних виробів та їх елементів.

4 Вибору діючого типового, групового процесу технічного контролю або пошук аналогів одиничного процесу технічного контролю.

5 Складання технологічного маршруту процесу технічного контролю.

6 Вибору контрольованих параметрів для визначення номенклатури параметрів складального виробу, які підлягають технічному контролю.

7 Розроблення технологічних операцій технічного контролю і визначення обсягу контролю.

8 Вибору схем контролю (визначення контрольних точок, поверхонь базування засобів контролю, оцінювання точності та надійності базування за критерієм продуктивності процесу).

9 Вибору методів і засобів контролю.

10 Розрахунку точності, продуктивності та економічної ефективності варіантів процесів (операцій) контролю. Вибору оптимальних варіантів контролю.

11 Оформлення документів на процеси (операції) контролю з урахуванням вимог діючих ДСТУ та ЄСТД.

12 Розроблення документації результатів контролю (технологічних паспортів, карт вимірювань, журналів контролю технологічних процесів).

Потреба проведення кожного із названих етапів розроблення процесів (операцій) технічного контролю визначається розробником залежно від вимог виробництва або встановлюється стандартами підприємства. Залежно від специфіки виробництва і видів контрольованих виробів

можливе включення допоміжних етапів розроблення процесів (операцій) контролю.

### **2.3 Методи контролю точності виробів та їх вузлів**

Контролю підлягають вузли виробів на відповідність точності форми, відносного положення і руху виконавчих поверхонь установленим нормам [2; 4; 6].

Ступінь наближення вимірюваного значення до дійсного залежить від факторів:

- розкриття суті контрольованого параметра і явищ, які викликали виникнення похибок;
- правильного виявлення взаємозв'язку різних параметрів і вміння виділити контрольований параметр;
- правильного вибору або розроблення засобів контролю;
- техніки здійснення контролю.

Дамо коментар до перших двох пунктів перелічених факторів. Основні терміни, які характеризують відхилення форми, відносне положення і переміщення поверхонь деталей, наведені в ГОСТ 24642-81.

Згідно з першим пунктом ГОСТ 2.308-79 визначає радіальне биття як результат сумісного відхилення від циліндричної поверхні та незбігу осі контрольованої поверхні із віссю обертання деталі.

Незбіг складається із відносного зміщення і повороту осей 1 та 2 у просторі (див. рис. 2.3).

Тому робити висновок про радіальне биття будь-якої поверхні деталі можливо не взагалі, а лише стосовно до перерізу, в якому здійснюється контроль.

Згідно з другим пунктом виявлення контрольованого параметра можна показати на прикладі (див. рис. 2.4).

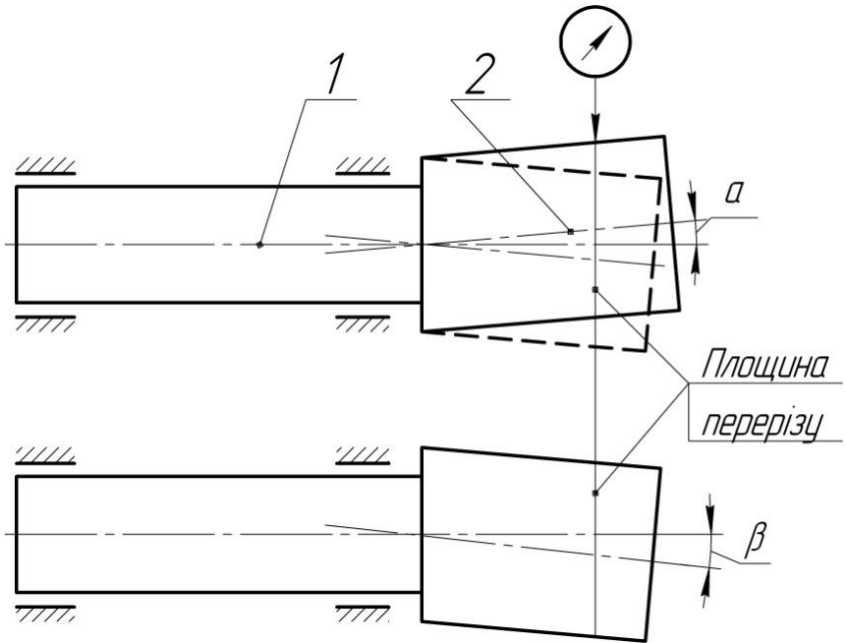


Рисунок 2.3 – Співвісність шийок вала у двох координатних площинах

Співвісність переднього і заднього центрів токарного верстата перевіряють за допомогою оправки, яку закріплюють у центрах. Уздовж оправки переміщують індикатори, які встановлені на супорті. Вимірювання виконують у двох координатних площинах (положення індикаторів I і II). Від незбігу їх показань за величиною і напрямком роблять висновок про відхилення від співвісності центрів (див. рис. 2.4 а).

Однак такі показники індикаторів виходять і при повороті осі оправки відносно напрямних станини за абсолютної співвісності центрів (див. рис. 2.4 б). Тому потрібно забезпечити паралельність осей отворів центрів у шпинделі і пінолі у більш жорстких межах порівняно із допустимим відхиленням від співвісності центрів.

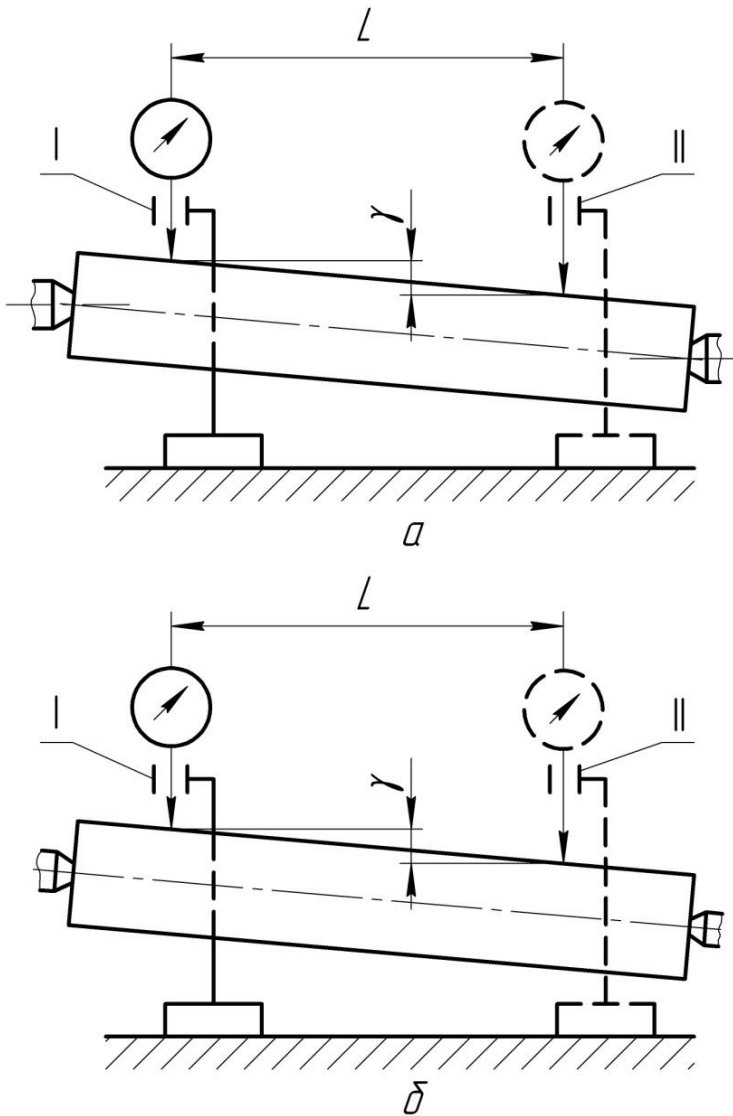


Рисунок 2.4 – Перевірка співвісності центрів токарного верстата за допомогою оправки:  $l$  – довжина виміру;  $\gamma$  – різниця показань індикаторів; I і II – початкове і кінцеве положення індикаторів при вимірюванні

Контроль деяких параметрів потребує матеріалізації геометричних уявлень (наприклад, відстань між осями двох отворів у деталях машин). Геометричні уявлення матеріалізуються за допомогою спеціальних деталей або пристроїв. Наприклад, щоб виміряти відстань між осями отворів у корпусній деталі, в отвори вставляють оправки, виміряють відстань між їх твірними і роблять відповідний перерахунок.

Ідеальну площину при відхиленні від площини поверхні деталі відтворюють за допомогою контрольної плити.

## 2.4 Випробування складальних виробів

Випробування складальних виробів є завершальним етапом контролю якості їх виготовлення. Вироби випробовують в умовах, наближених до їх експлуатації.

Мета випробування машин – перевірка правильної роботи і взаємодії усіх механізмів машин, перевірка потужності, продуктивності і точності [2; 3; 6].

Розрізняють такі види випробувань: приймальні, контрольні і спеціальні.

*Приймальні випробування.* За цим видом випробувань виявляються фактичні експлуатаційні характеристики виробів, а також правильна робота та взаємодія різних механізмів, пристроїв і рухомих частин виробу. Розрізняють:

- *випробування за холостим рухом.* Перевіряють усі вмикання і перемикання органів керування механізмом або машиною, правильність їх взаємодії і надійності блокування, безвідмовності дії і точності роботи автоматичних пристроїв, норми правильної роботи підшипників, зубчастих коліс. Наприклад, припустима температура підшипників кочення не повинна перевищувати 70 °С; підшипників ковзання – 60 °С; інших механізмів – 50 °С);

- *випробування машин під навантаженням.* Створюють умови, близькі до вимог експлуатації. Наприклад, двигун

внутрішнього згоряння встановлюють на спеціальну раму, а вал двигуна приєднують до гальмувального пристрою, який дозволяє змінювати навантаження. До двигуна приєднують також систему охолодження, мастильну і паливну апаратуру. За результатами випробувань визначають експлуатаційні характеристики двигуна, витрати пального, мастила.

Під навантаженням на визначених режимах, які встановлені технічними вимогами державних стандартів, випробовують усі машини;

- *випробування за продуктивністю*. Перевіряються не всі вироби, а лише спеціального призначення і дослідні зразки. За вимогами замовлення машини перевіряють на відповідність до продуктивності та потрібної швидкості;

- *випробування жорсткості виробу*. В основному випробовують верстати за нормами жорсткості відповідними методами, які зумовлені державними стандартами. Наприклад, згідно з «виробничим» та «статичним» методами визначається жорсткість технологічної системи токарного верстата, і ці кількісні показники записуються в паспорті верстата [1; 2];

- *випробування потужності виробів*. Перевіряють величину потужності всіх виробів у одиничному виробництві. Не випробовують вироби простої конструкції і які мають значний запас потужності. Мета цього випробування – визначення ККД за найбільшим допустимим навантаженням;

- *випробування точності виробів*. Випробовують вироби, які виробляють, сортують, контролюють продукцію (верстати, преси і т. ін.). Оцінка точності проводиться за результатами її дії: точності виготовлення зразків деталей, сортування, контролю.

Токарні, фрезерні, шліфувальні верстати випробовують на точність згідно з державними стандартами [6]. Для оригінальних виробів програма і режими випробувань розробляються і затверджуються спеціальними положеннями і залежать від їх призначення, конструкції і потрібної точності.



Також вироби перевіряють за нормами нагрівання, вібростійкості, шумів, герметичності. Спочатку випробування виробів здійснюють за холостим рухом, а потім під навантаженням, яке поступово підвищують до робочих режимів. У процесі випробувань перевіряють роботу органів керування, систем блокування і фіксації; роботу підшипників; радіальне биття муфт, валів, зубчастих коліс і т. ін.; відсутність заїдань; безвідмовність роботи основних і допоміжних пристроїв та механізмів; правильність зачеплень.

Кожен вид випробувань здійснюється за спеціальною програмою, яка розроблена і узгоджена із замовником. Вироби випробовують на універсальних, спеціалізованих або спеціальних стендах. Результати випробувань реєструють у супроводжувальній карті, де зазначають всі виявлені дефекти. Після усунення виявлених дефектів виріб випробовують повторно. Випробування вважається задовільним, якщо за період його проведення виріб працював без зупинення, а вузли і механізми, які підлягали перевірці, виконували свої функції без відхилень від норми та правильної взаємодії всіх рухомих частин.

При автоматичному випробуванні виріб автоматично встановлюється на стенд, де стикається із комунікаціями, а потім виконується повна програма випробувань із автоматичним записом результатів.

*Контрольні випробування.* Контрольним випробуванням піддають вироби, у яких раніше були виявлені дефекти. Якщо встановлені технічні вимоги для виробу дуже високі, то їх після складання випробовують, а потім розбирають (повністю або частково), перевіряють стан деталей, вузлів і механізмів. Потім виріб знову складають і піддають контрольним випробуванням.

*Спеціальні випробування.* Ці випробування виконують, якщо потрібно визначити зношення, надійність, безвідмовність, довговічність роботи окремих елементів виробу. Іноді потрібно з'ясувати придатність нових матеріалів для відповідальних

деталей, а також виконати дослідження явищ, які виникають у процесі роботи виробу. Програма таких випробувань залежить від мети проведення досліджень. Випробовування здійснюються на спеціальних стендах. Треба відзначити, що більш повну інформацію про якість виробу можна отримати після систематичних спостережень замовників, а також їх рекламацій, які надійшли впродовж експлуатації цього виробу.

Надану інформацію кодують та вводять в ЕОМ. Після обробки інформації одержують відповідь щодо причин дефектів.

*Вибір засобів випробувань.* Цей вибір відбувається за показниками процесу випробувань та аналізу витрат на їх проведення. На вибір засобів впливає застосування вимірювальних приладів, спроможність швидкої і якісної обробки їх результатів, максимальне використання стандартних і уніфікованих засобів випробувань. Засоби повинні забезпечити:

- потрібні навантаження, які відповідають експлуатаційним;
- стабільність навантаження і потрібну точність випробувань;
- спроможність переналагодження при змінюванні об'єктів виробництва;
- простоту і зручність їх обслуговування.

## **2.5 Фарбування виробів**

Мета фарбування виробів – захистити металеві поверхні від корозії та надати їм декоративний зовнішній вигляд. Технологічний процес фарбування складається із таких основних операцій:

- підготовки поверхні;
- ґрунтування;
- шпаклювання;
- нанесення лакофарбових матеріалів;
- сушіння покритих поверхонь;

- оздоблювання поверхонь.

*Підготовка поверхні до фарбування* полягає в очищенні поверхні такими способами: ручним і механізованим інструментами (скребачкою, металевими щітками, наждачними шкурками, голкофрезами, шліфувальними кругами); піщано- і дрібноструминним, дрібнометальним, гідроабразивним, віброабразивним, пароводоструминним, гідродинамічним, ультразвуковим очищенням. Для очищення поверхонь також застосовують мийні та очищувальні засоби, хімічні методи очищення, очищення занурюванням і т. ін.

*Після підготовки поверхню ґрунтують* із метою недопущення її окиснення та забруднення. Перед ґрунтуванням із поверхні видаляють шар жиру та оксидів. Ґрунтовку накладають рівномірним шаром товщиною 12-20 мкм. Якщо ґрунтовка фосфатувальна, то товщина шару становить 5-8 мкм. Далі поверхню із ґрунтовим шаром висушують (використовують спеціальні режими гарячого сушіння).

*Шпаклювання* відбувається після ґрунтування з метою замазування невеликих заглиблень, раковин, подряпин та інших дефектів. Шпаклювання здійснюють у тих випадках, коли іншими методами неможливо виправити дефекти поверхонь. У багатьох випадках потрібно вирівняти площину поверхні. Для цього шпаклівку наносять декількома тонкими шарами. Кожний шар наносять тільки після повного висушування попереднього. Загальна товщина шпакльованої поверхні не перевищує 0,5–0,6 мм. Після шпаклювання поверхні висушують, а потім ретельно шліфують.

*Лакофарбові матеріали наносять* після операцій ґрунтування і шпаклювання (якщо остання потрібна). Згідно з вимогами до зовнішнього вигляду та умовами експлуатації виробу визначають кількість шарів і товарний знак лакофарбового матеріалу. Наносять емаль способом розпилювання. Кожний наступний шар наносять на добре висушений попередній шар. У деяких випадках окремі шари не

висушують, а потрібну кількість шарів наносять відразу («мокрим по мокрому») і тільки потім їх сушать.

Щоб фарбована поверхня мала найпривабливіший вигляд (наприклад, рівномірний дзеркальний блиск), останній шар покриття полірують спеціальною полірувальною пастою. Полірують (шліфують) лакофарбові покриття електромеханічними і пневматичними апаратами, у яких є обертальний, поступальний або обертально-поступальний рухи.

Фарбувати можна ручним способом: щіткою або валиком, ручним фарборозпилювачем, безповітряним розпилювачем, занурюванням, струминним обливанням, електричним осаджуванням в електричному полі із високою напругою, за допомогою аерозольних балонів, в розпилювальних камерах.

До розпилювальних приладів і апаратів належать: компресорно-повітряні прилади, прилади безповітряного розпилювання, прилади для розпилювання в електричному полі.

Фарборозпилювачі для ручного фарбування виготовляють у вигляді пістолетів-розпилювачів. Автоматичне фарбування здійснюється на стаціонарних приладах із дистанційним керуванням, у які лакофарбові матеріали надходять централізовано по трубопроводах від насосної станції.

## **2.6 Сушіння лакофарбових поверхонь виробів**

Сушіння є складним хімічним процесом, який складається із випаровування розчину та окиснення або полімеризації плівки. Розрізняють сушіння природне і штучне.

*Природне сушіння* застосовують для швидковисихаючого покриття. Процес сушіння значно прискорюється під час безперервної циркуляції повітря.

*Штучне сушіння* виконують за рахунок різних способів передавання тепла до пофарбованої поверхні. До цих способів відносять: конвективне сушіння, інфрачервоне випромінювання (терморадіаційне сушіння), сушіння індукційним струмом

високої і промислової частоти, ультрафіолетове випромінювання. У промислових умовах використовують сушильні камери конвективного, терморадіаційного і терморадіаційно-конвективного типу.

Конвективні сушильні камери – це закриті металеві прямокутні короби із дверцями або відкритими прорізами. Камери містять нагрівальні прилади і залежно від виду теплового носія бувають водяними, паровими, електричними або газовими. Обігрівання камер здійснюється безперервно циркулюючим нагрітим повітрям.

Принцип роботи терморадіаційних сушильних камер – це поглинання пофарбованою поверхнею теплового випромінювання (інфрачервоного). Спочатку нагрівається поверхня виробу, а потім нанесене на його поверхню лакофарбове покриття. Пари розчинів рухаються із нижніх шарів і нагрівають верхні шари покриття. Таким чином, покриття нагрівається одночасно енергією інфрачервоного випромінювання і тепловою енергією випаровуваного розчину. Наведений ефект прискорює в 4–15 разів терморадіаційне сушіння порівняно із конвективним сушінням. Як джерело випромінювання в терморадіаційних сушильних камерах використовують спеціальні лампи розжарювання, панельно-плиткові нагрівачі, трубчасті електричні нагрівачі із алюмінієвими рефлекторами і без рефлекторів. Для підтримування концентрації парів розчинів на допустимому рівні камери оснащують витяжною вентиляцією.

### **Питання для самоперевірки**

- 1 Похибки складальних процесів.
- 2 Особливості нарізного з'єднання деталей у виробках.
- 3 За якими формулами визначаються найбільша та найменша сили затягнення нарізного з'єднання деталей?

- 4 За якими формулами визначають найбільший та найменший крутні моменти нарізного з'єднання деталей?
- 5 Що підлягає перевірці під час складання виробу?
- 6 Які види контролю застосовують для контролювання якості складання виробів?
- 7 Які етапи передбачені для розроблення процесів (операцій) технічного контролю?
- 8 Методи контролю точності виробів та їх вузлів.
- 9 Види випробувань складальних виробів.
- 10 Для чого використовують контрольні та спеціальні випробування?
- 11 За якими показниками вибирають засоби випробувань?
- 12 Із яких основних операцій складається технологічний процес фарбування виробів?
- 13 Сушіння лакофарбових поверхонь виробів.

### **3 Особливості досягнення потрібної точності типових вузлів виробів**

#### **3.1 Монтаж валів**

Вали у виробках передбачені для базування обертових деталей (втулок, зубчастих коліс, маховиків, муфт), передавання крутного моменту і перетворення обертального руху у поступальний (колінчасті, ексцентрикові та кривошипні вали).

Основними показниками якості монтажу вала є:

- легкість обертання вала у підшипниках;
- відсутність вібрацій при обертанні;
- радіальне і осьове биття, яке не перевищує встановленої межі;
- точність положення вала відносно основних баз корпусу, у якому змонтований вал.

Різниця у монтажу залежить від виду опор вала, які поділяються на опори ковзання і опори кочення [2].

#### ***Монтаж валів на опорах ковзання***

Умовою, яка визначає якість роботи вала, є потрібний зазор між опорними шийками вала і робочими поверхнями втулок підшипників. Величина зазору визначається вимогами роботи вала, виходячи із службового призначення. Найменший зазор визначає точне центрування і найвищу вібростійкість, найбільший зазор – великі кутові швидкості і невеликі тиски у підшипниках.

На зміну величини зазору впливають похибки підшипників і опорних шийок вала. Останні залежать від:

- відхилення форми поверхонь шийок вала і втулок в осьовому і поперечному перерізах (конусоподібність, бочкоподібність, корсетність, овальність, ограновування);
- відхилення від співвісності і схрещування у просторі осей отворів втулок підшипників і осей опорних шийок вала.

До сьогодні немає обґрунтованої методики вибору допусків на відхилення форми та відносного положення робочих

поверхонь підшипників і опорних шийок вала. Перелічені відхилення збільшують небезпеку заклинювання, тугого руху вала при обертанні, якщо встановлені найменші зазори в підшипниках [2; 6].

Основна похибка, яка виникає при обертанні вала у підшипниках, є радіальне биття вала. Причинами радіального биття вала є відхилення від співвісності із поверхнями опорних шийок і похибки форми опорних шийок валів і отворів підшипників у поперечному перерізі.

При монтажі вала на двох опорах радіальне биття будь-якої його поверхні необхідно розглядати як наслідок биття вала відносно кожної опори [2].

*Приклад.* Радіальне биття поверхні конічного отвору шпинделя верстата (див. рис. 3.1) складається із радіального биття цієї поверхні відносно передньої (РЛ «А») і задньої опор шпинделя (РЛ «Б»).

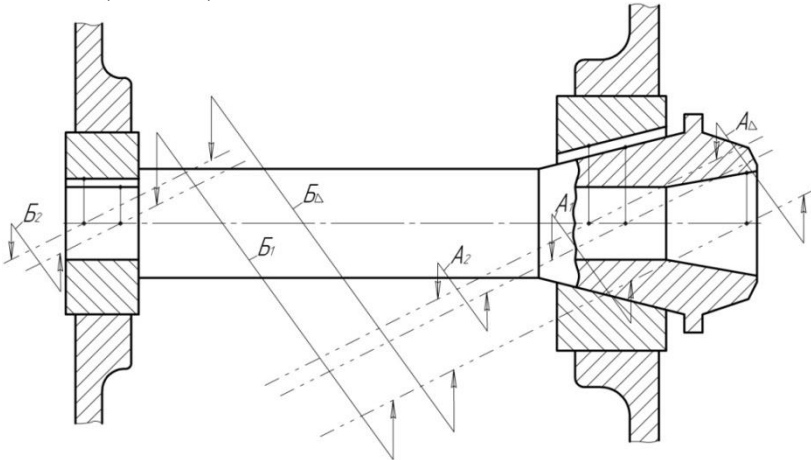


Рисунок 3.1 – Розмірні ланцюги, які визначають радіальне биття конічного отвору шпинделя, встановленого на опорах ковзання

Складові ланки у РЛ «А» і «Б» мають такі позначення:

$A_1$  і  $B_1$  – відхилення від співвісності поверхні конічного



отвору з опорними шийками вала;

$A_2$  і  $B_2$  – відхилення від співвісності опорних шийок шпинделя з отворами підшипників.

При збігу складових радіального биття вала у одній площині, спільна похибка  $\varepsilon$  становить

$$\varepsilon = A_{\Delta} + B_{\Delta}.$$

Похибки ланок  $A_2$  і  $B_2$  залежать від відстані між опорами шпинделя і розміщення перерізу вала, в якому розглядається радіальне биття будь-якої поверхні відносно опор. Припустимо, що у задній опорі незбіг осі опорної шийки вала із віссю отвору дорівнює нулю, а у передній – величині « $a$ ». Тоді незбіг осі вала із віссю його обертання на передньому кінці буде дорівнювати « $b$ » (див. рис. 3.2).

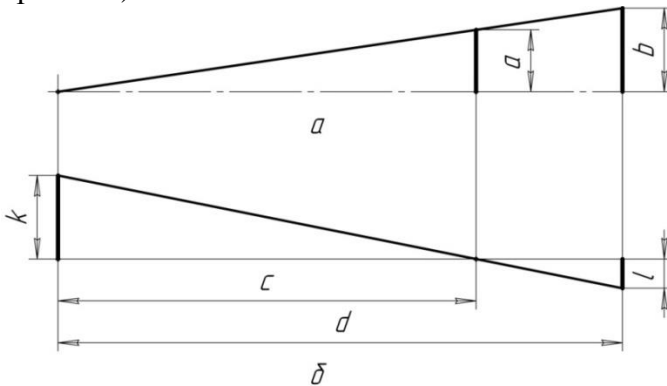


Рисунок 3.2 – Схема для визначення биття поверхонь вала:

$a$  – передній кінець вала;  $b$  – задній кінець вала

Із подібності трикутників випливає, що биття переднього кінця вала « $b$ » збільшується у  $q_1$  разів (див. рис. 3.2 а):

$$b = \frac{a \cdot d}{c} = a \cdot q_1,$$

де  $c$  – відстань між опорами;

$d$  – довжина вала;

$$q_1 = d/c.$$

Навпаки, биття вала тільки у задній опорі «*k*» передається на передній кінець «*l*» зменшеним у  $q_2$  разів (див. рис. 3.2 б):

$$l = \frac{k(d - c)}{c} = k \cdot q_2,$$

де  $q_2 = (d - c)/c$ .

Розглянуті залежності необхідно урахувати при призначенні допусків із запровадженням відповідних коефіцієнтів (передаточних відношень) у рівняннях РЛ «А» і «Б»:

$$A_{\Delta} = A_1 + A_2 \cdot q_1, \quad B_{\Delta} = B_1 + B_2 \cdot q_2.$$

Осьове переміщення вала виникає через зазорів між торцями опор і вала або деталей, які розміщені на ньому. Також відхилення виникають від неперпендикулярності торцевих поверхонь опор і вала або деталей, розміщених на ньому, відносно осі обертання вала (див. рис. 3.3).

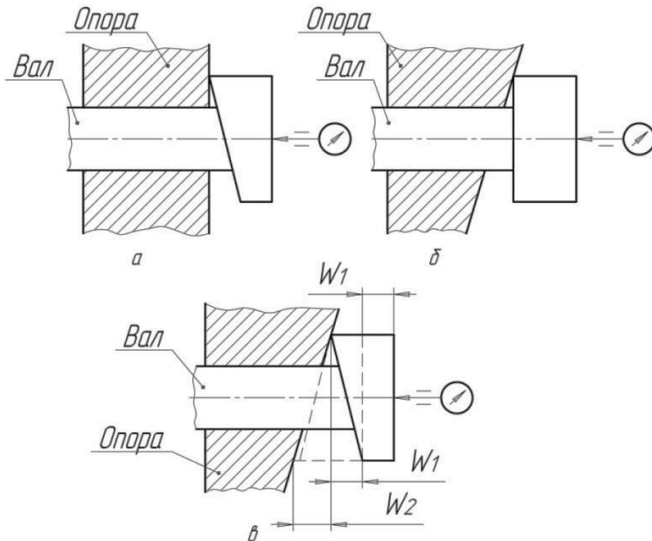


Рисунок 3.3 – Виникнення осьового переміщення

У більшості машин потрібні зазори між торцями опор і вала забезпечуються при складанні методом регулювання. Тому для

лінійних розмірів валів і деталей опор установлюють досить широкі допуски.

Відхилення від перпендикулярності торцевих поверхонь відносно осі обертання вала повинні враховувати таке:

- осьове переміщення відсутнє, якщо неперпендикулярність має тільки одна із стичних торцевих поверхонь (див. рис. 3.3 а, б);
- осьове переміщення вала можливе, якщо кожна із стичних торцевих поверхонь має відхилення від перпендикулярності (див. рис. 3.3 в);
- через відхилення від перпендикулярності двох стичних поверхонь в утворюванні осьового переміщення вала бере участь тільки найменше відхилення  $w_1$  (див. рис. 3.3 в);
- відхилення від перпендикулярності стичних торців вала і опор відносно осі обертання вала призводить до появи «тугого руху» вала або до його заклинювання (див. рис. 3.4).

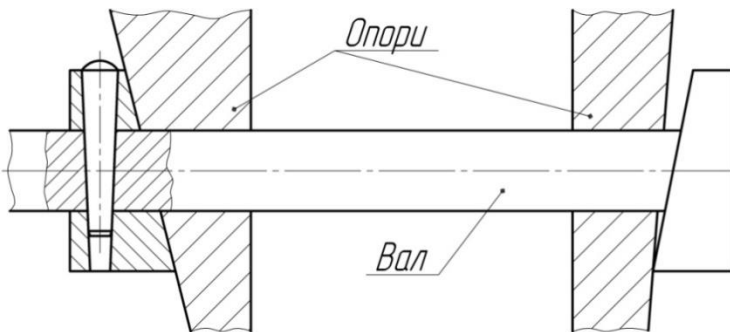


Рисунок 3.4 – Заклинювання вала

Згідно з рисунком відхилення від перпендикулярності кожної пари стичних торців мають напрямок в один бік, що призводить до заклинювання.

Зменшення осьового биття вала досягається:

- зменшенням допуску на відхилення від перпендикулярності одного торця відносно осі обертання

- вала у кожній парі стичних деталей;
- скорочення кількості пар стичних торцевих поверхонь.

Підшипники ковзання бувають суцільними і рознімними. У першому випадку підшипник є суцільною втулкою, яка пресується у корпус, у другому випадку кожна втулка складається із двох частин – вкладишів. Пресування суцільних втулок у корпус відбувається їх деформацією. Власні похибки корпусу і втулок, а також деформації втулок потребують виправлення розмірів, форм і відносного положення робочих поверхонь втулок після їх установаження у корпус. Виправляють зазначені похибки комбінованими розвертками або розточуванням. Іноді фінішним методом обробки отворів втулок після пресування використовують калібрування кулькою або пуансоном. Запропоновані методи обробки забезпечують точний розмір, форму і шорсткість поверхонь отворів, але не виправляють їх положення відносно інших деталей виробу.

Похибки втулок можна виправити шабруванням. Цей метод обробки частіше використовують у дрібносерійному і одиничному виробництвах, а також при виготовленні важких машин, у яких підшипники мають великі розміри. Для шабрування використовують спеціальні оправки із нанесеною на їх поверхню фарбою. Шабрування виконують до появи рівномірного розподілу фарби на 80 % оброблювальної поверхні втулки. За підвищеними вимогами до точності монтажу валів, шабрування підшипників відбувається до появи «блиску», який з'являється на поверхнях отворів втулок при обертанні у них нефарбованої оправки. Ще за високими вимогами після шабрування з'єднувальні поверхні вала та втулки притирають. Спочатку отвори притирають по спеціальному притиру – «фальшивому» валу, а закінчують роботу по робочому валу.

За конструкцією підшипники бувають із невзаємозамінними і взаємозамінними вкладишами. У першому випадку антифрикційний шар підшипника оброблюють після встановлення вкладиша у корпус за одним із розглянутих

методів обробки. Матеріалом антифрикційного шару є бабіт (сплав на олов'яній і свинцевій основі). За ГОСТом 1320-74 олов'яним сплавом із сурмою та міддю є бабіти марок Б88 та Б83. Склад цих марок бабітів: сурма Sb = 7,3–7,8 (10–12) %; мідь Cu = 2,5–3,5 (5,5–5,6) %; кадмій Cd = 0,8–1,2 %; нікель Ni = 0,15–0,25 %. Бабіти марок Б16, Б6 і т. ін. належать до свинцевих сплавів із оловом та сурмою. У цих сплавах додатково наявні нікель Ni, телур Te, кадмій Cd, миш'як. Згідно з ГОСТом 1209-73 на залізничному транспорті використовують кальцієві бабіти (сплав свинцю із кальцієм та натрієм). Кальцієві бабіти використовують у підшипниках буксів вагонних коліс, колінчастих валів дизельних потягів. Але сучасні двигуни швидкісних потягів та потягів, які використовуються для перевезення важких вантажів, підшипників ковзання не мають. Олов'яністі бабіти мають хорошу теплопередачу та корозійну стійкість і використовуються у підшипниках компресорів, турбін, судових двигунів, електричних машин.

За рекомендаціями праць [7; 9], товщина шару бабіту у підшипниках ковзання визначається:

- для олов'янистого бабіту  $0,25 + 0,005d$ ;
- для свинцевистого бабіту  $0,5 + 0,01d$ ,

де  $d$  – діаметр підшипника.

Масильний зазор розраховується у процентному відношенні до діаметра вала і становить 0,05–0,12 мм (олов'яністі бабіти); 0,08–0,15 (свинцевисті бабіти).

Якщо вкладиші взаємозамінні, то на операцію складання вони надходять остаточно обробленими, і тому якість монтажу відіграє вирішальну роль у досягненні потрібної точності підшипника.

Для нормальної роботи підшипника потрібно, щоб зовнішня поверхня вкладиша повністю прилягала до корпусу і кришки. У протилежному разі під дією зусиль, які навантажують вал, вкладиш буде періодично змінювати форму, що призведе до порушення контакту вала з підшипником або зруйнування

антифрикційного шару.

При неправильному приляганні вкладиша до корпусу або кришки порушується тепловіддача від вкладиша до корпусу, температура вкладиша зростає і створює небезпеку оплавлення підшипників.

При встановленні невзаємозамінних вкладишів щільність їх прилягання до корпусу і кришки досягається за завищеними натягами (0,05–0,1 мм). Посадкові місця під взаємозамінні вкладиші оброблюють із підвищеною точністю, а діаметральний натяг роблять меншим і щоб він не впливав на точність робочих поверхонь. Вкладиш підбирають за місцем із таким розрахунком, щоб після притискування до поверхні місця їх виступи стирчали над площиною стику кришки на 0,05–0,1 мм. Після затягування болтів, які скріплюють кришку, за рахунок цих виступів створюється посадка з натягом вкладиша у місцях.

Якщо обробка різанням не забезпечить потрібних допусків на відхилення від перпендикулярності з'єднаних торців вала (або деталей, які знаходяться на ньому) і деталей опор відносно осі обертання вала, то потрібну точність відносного обертання торцевих поверхонь потрібно досягти шабруванням.

### ***Монтаж валів на опорах кочення***

Опори кочення (підшипники) припасуванню не підлягають і тому складання виконують за методами взаємозамінності та регулювання [2; 6].

Легкість обертів вала в опорах кочення забезпечується потрібною величиною зазору, який повинен бути у підшипниках. Для підшипників середніх розмірів цей зазор дорівнює 5–15 мкм. Підшипники на вал пресують. Правильний вибір посадок радіальних і радіально-упорних підшипників кочення виконують згідно з ГОСТом 3325-88.

В утворюванні радіального биття валів бере участь значна кількість ланок (див. рис. 3.5), де ланки  $A_2$  і  $A_3$ ;  $B_2$  і  $B_3$  – власні биття підшипників.

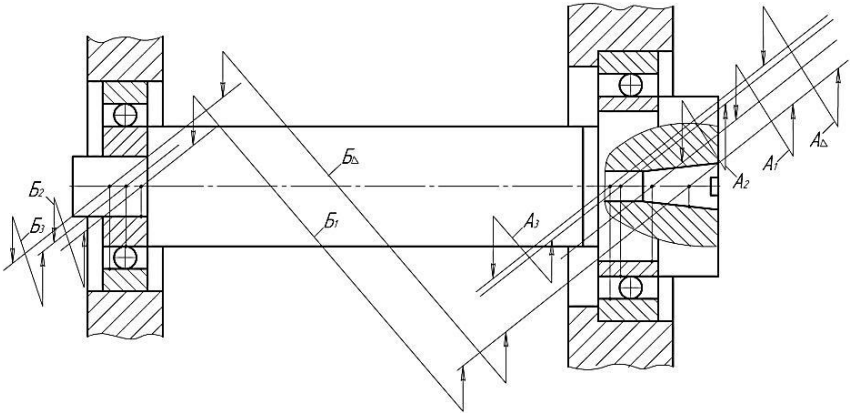


Рисунок 3.5 – Схема розмірних ланцюгів, які визначають радіальне биття конічного отвору шпинделя, змонтованого на опорах кочення

Відстань між підшипниками, розміщення перерізу вала відносно переднього і заднього підшипників впливають на радіальне биття вала у розглядуваному перерізі.

Радіальне биття якої-небудь поверхні вала можна зменшити, якщо надати відповідний напрямок ексцентриситетам поверхонь вала. Наприклад, ексцентриситет конічного отвору шпинделя відносно передньої опорної шийки (ланка  $A_1$ , див. рис. 3.6) можна компенсувати ексцентриситетом внутрішнього кільця підшипника відносно бігової доріжки зовнішнього кільця (ланки  $A_2$  і  $A_3$ ), якщо спрямувати ексцентриситети у протилежному напрямку в одній із площин.

Для зменшення радіального биття будь-якої поверхні вала за методом регулювання до кожної із опор потрібно:

- підібрати підшипники таким чином, щоб ексцентриситети отворів внутрішніх кілець відносно бігових доріжок зовнішніх кілець дорівнювали ексцентриситетам відповідних опорних шийок вала відносно розглядуваної поверхні або щоб їх різниця була меншою від встановленого допуску на биття вала у кожній опорі;

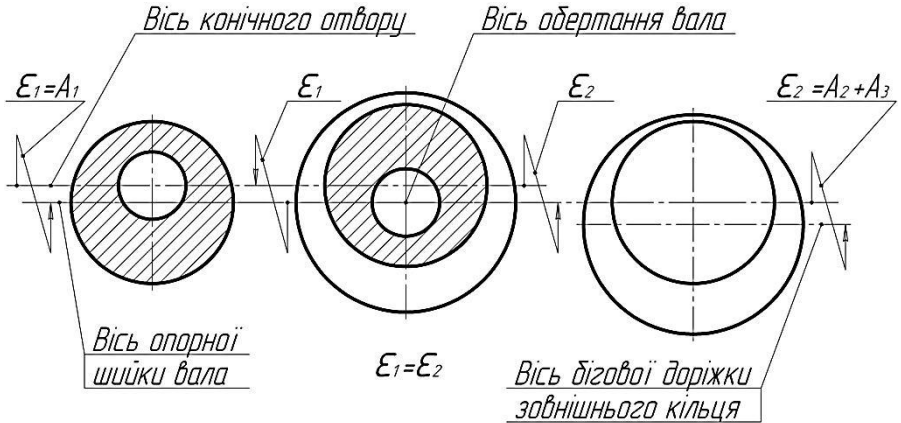


Рисунок 3.6 – Компенсація радіального биття вала ексцентриситетом внутрішнього кільця підшипника

- змонтувати опори і вал таким чином, щоб ексцентриситети взаємно компенсувалися; для цього ексцентриситети повинні розміщуватися у кожній опорі в одній площині, але в різних напрямках.

Якщо радіальне биття  $\epsilon$  вала в опорах усунути повністю не вдається, то треба розмістити його на одному боці від осі обертання вала у кожній опорі. Потрібно зробити так, щоб биття вала у передній опорі було меншим, ніж у задній. Це зменшить радіальне биття кінця вала (див. рис. 3.7 а, б). Навпаки, якщо потрібно зменшити радіальне биття середини вала, то радіальне биття вала в опорах треба спрямувати у протилежні боки від осі обертання (див. рис. 3.7 в).

При монтажу валів на опорах кочення передбачається, що відхилення паралельності осі обертання вала відносно основних баз корпусної деталі у двох координатних площинах не повинно перевищувати установлені допуски. Основні причини таких відхилень наведені на рисунку 3.8 а, б.



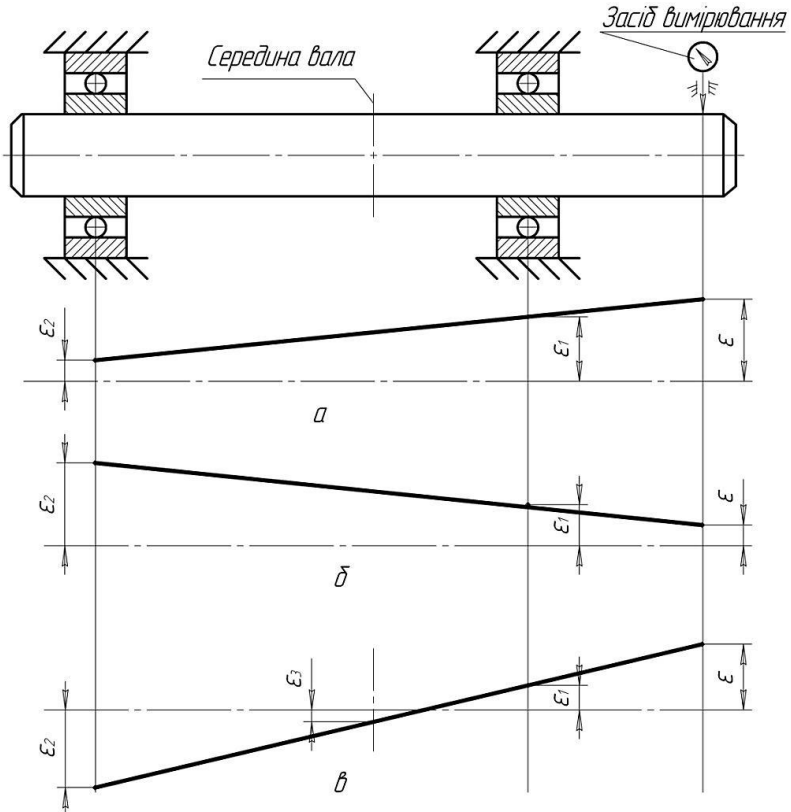


Рисунок 3.7 – Способи зменшення радіального биття вала

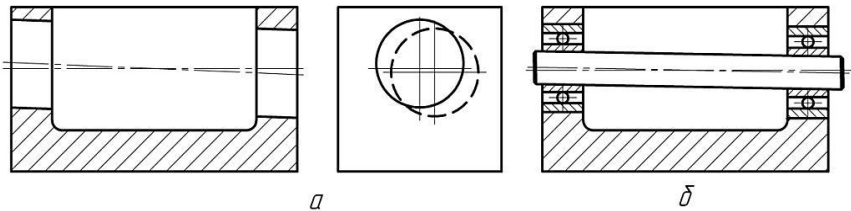


Рисунок 3.8 – Поворот осі вала відносно основних баз корпусу:

а – відхилення паралельності отворів, передбачених для опор вала у корпусних деталях, відносно основних конструкторських баз; б – ексцентричність поверхонь зовнішніх кілець підшипників кочення

Щоб сумістити вісь обертання вала із потрібним положенням  $O_1$  (див. рис. 3.9 а), якщо зміщена вісь отвору  $O_2$  в корпусі на відстань  $\omega_{\max}$ , потрібно:

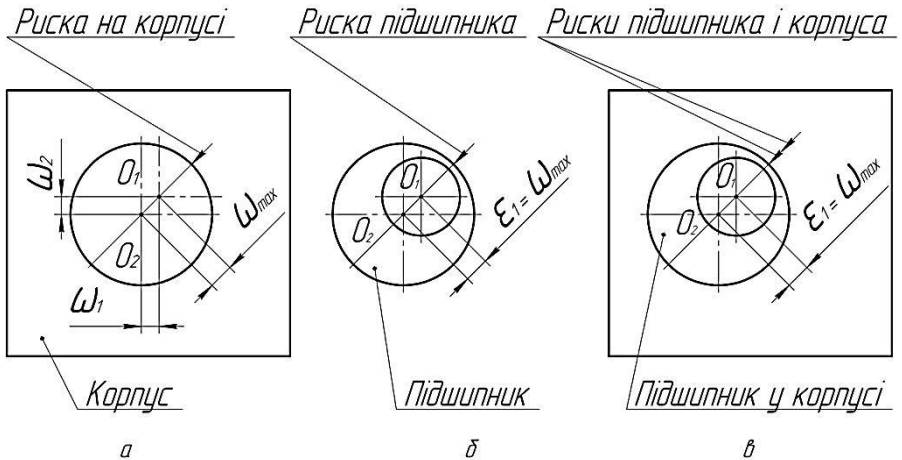


Рисунок 3.9 – Зменшення похибки повороту осі обертання вала відносно основних баз корпусу

- зробити вибір підшипника за умови, щоб його зовнішнє кільце мало ексцентриситет  $\epsilon_1$  (див. рис. 3.9 б), який би дорівнював найбільшій відстані  $\omega_{\max}$ ;

- зробити риску на радіальній площині, у якої найбільша відстань  $\omega_{\max}$  розміщена в корпусній деталі на місці, що відповідає найбільшій відстані осі отвору;

- знайти у зовнішнього кільця радіальну площину, на якій розміщений найбільший ексцентриситет  $\epsilon_1$ , зробити риску напроти ексцентриситету з боку тонкої стінки;

- виконати монтаж підшипника таким чином, щоб похибка ексцентриситету була розміщена на боці, протилежному  $\omega_{\max}$ . Потрібно, щоб збігалися позначки, які розміщені на корпусі та зовнішньому кільці підшипника (див. рис. 3.9 в).

Під час монтажу другої опори всі наведені вище дії операції складання підшипника повторити.

Правильна робота та надійність змонтованого підшипника із валом та корпусом залежать від точності розмірів і форми посадкових поверхонь вала і корпусу. Коли відтворюються посадки підшипника на вал і корпус, то внутрішнє та зовнішнє його кільця внаслідок деформацій, що виникають, копіюють похибки отвору корпусу або поверхні вала. Деформації, що виникають, змінюють форму поверхонь бігових доріжок кілець і призводять до зміни радіального зазору у підшипнику. Наприклад, конусоподібність посадкових поверхонь корпусу і вала призводить до появи нерівномірного натягу кілець підшипника.

Заплечики на валу і в отворі корпусу є установними базами для кілець підшипників. Відхилення від перпендикулярності заплечиків відносно осей посадкових поверхонь вала і корпусу призводять до неправильного базування кілець підшипника. Відбувається зміщення кульок до краю бігових доріжок або точковий контакт роликів із поверхнями бігових доріжок, що спричиняє підвищене зношення підшипників.

Допуски, які встановлені на відхилення від правильної геометричної форми посадкових поверхонь підшипників кочення, визначаються за ГОСТом 3325-85 (СТ СЭВ 773-77).

Складання підшипників може відбуватися двома способами. За першим способом, підшипник спочатку нагрівають у електричній мастильній ванні до температури 70–80 °С, а потім установлюють на вал і доводять до потрібного місця за допомогою оправки та молотка.

За другим способом підшипник охолоджують твердою вуглецевою кислотою, аміаком або рідким повітрям, або нагрівають частину корпусу, що знаходиться у зоні монтажу підшипника, електричними пристроями.

Установлення підшипників за пресовою посадкою виконують на ручних, пневматичних і гідравлічних пресах, а потрібний напрямок підшипнику задають спеціальними пристроями.

Монтаж внутрішніх і зовнішніх конічних роликів підшипників виконують відокремлено. Внутрішнє кільце (із роликками і сепаратором) пресують на валу, а зовнішнє кільце – у корпусі. Регулювання радіального зазору відбувається за допомогою осевого зміщення зовнішнього кільця підшипника. Потрібний зазор забезпечується рухомими компенсаторами (встановлювальними гайками, регулювальними гвинтами) або нерухомими компенсаторами (кільцями, прокладками). Якщо радіальний зазор установлений неправильно, то відбувається передчасне зношення підшипника. Недостатній зазор призводить до затискання роликів кільцями та їх збільшеного зношення із боку більшого діаметра. Значний зазор сприяє підвищенню динамічних навантажень і головним чином зношуються ролики з боку меншого діаметра.

### **3.2 Монтаж зубчастих передач**

Зубчасті колеса повинні бути міцними для передавання без поломів потрібних колових зусиль, мати необхідну кінематичну точність, плавність і безшумність роботи та не заклинюватися у разі нагрівання [2; 16].

#### ***Складання циліндричних зубчастих передач***

Важливим фактором, який впливає на роботу зубчастої передачі (ЗП), є боковий зазор (див. рис. 3.10).

На величину зазору впливають фактори:

- похибка міжосьової відстані;
- похибка виготовлення корпусів редукторів, валів і зубчастих коліс;
- теплові деформації, які виникають при роботі вузла.

Для нормальної роботи зубчастого з'єднання зазор повинен дорівнювати нулю. Але через вище перелічені фактори доводиться призначати і забезпечувати найменший зазор, який зумовлений роботою передачі.

Стандартом СТ СЕВ 641-77 передбачено шість видів сполучень зубчастих коліс: А, В, С, D, Е, Н і вісім видів

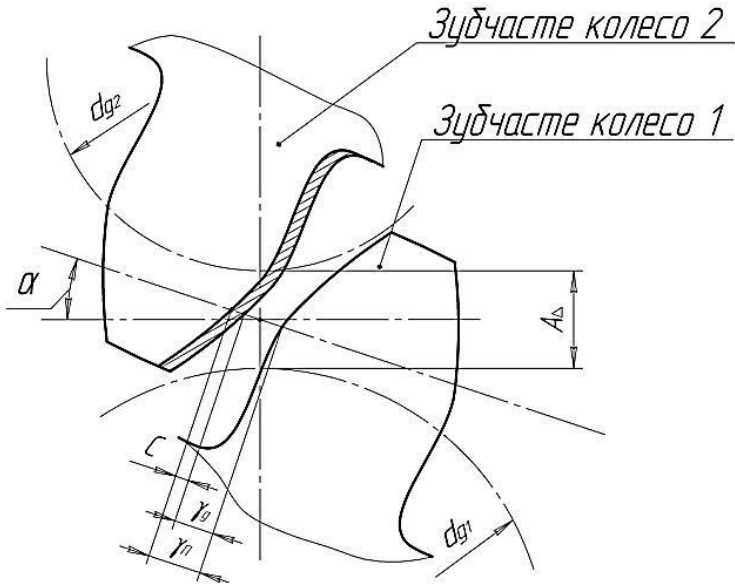


Рисунок 3.10 – Складові частини допуску бокового зазору у ЗП:  
 $\gamma_{\Pi}$  – боковий зазор;  $\gamma_g$  – частина бокового зазору, яка є результатом відносного зміщення ділільних кіл;  
 $C$  – відхилення товщини зуба;  $d_{g1}$   $d_{g2}$  – діаметри ділільних кіл зубчастих коліс;  $A_{\Delta}$  – відносне зміщення ділільних кіл;  $\alpha$  – кут зачеплення

допусків  $T_{\Pi}$  бокового зазору:  $x, y, z, a, b, c, d, h$ . Сполученням  $H$  і  $E$  відповідає вид допуску  $h$ , а сполученням  $D, C, B, A$  – відповідно  $d, c, b, a$ .

Координата середини поля допуску  $E_C \gamma_{\Pi}$  бокового зазору визначається за формулою [2]:

$$E_C \gamma_{\Pi} = EJ \gamma_{\Pi} + \frac{T \gamma_{\Pi}}{2}, \quad (3.1)$$

де  $E_C \gamma_{\Pi}$  – гарантований боковий зазор;

$T \gamma_{\Pi}$  – допуск бокового зазору;

$EJ\gamma_{II}$  – мінімальний боковий зазор.

Мінімальний зазор  $EJ\gamma_{II}$  обчислюється за формулою

$$EJ\gamma_{II} = V + a_w (\alpha_1 \Delta t_1 - \alpha_2 \Delta t_2) \cdot 2 \sin \alpha, \quad (3.2)$$

де  $V$  – товщина шару мастильного матеріалу між зубцями;

$a_w$  – міжосьова відстань;

$\alpha_1$  і  $\alpha_2$  – коефіцієнти лінійного розширення відповідно до матеріалів коліс і корпусу;

$\Delta t_1$  і  $\Delta t_2$  – відхилення температур відповідно до коліс і корпусу від 20 °С;

$\alpha$  – кут початкового профілю.

Відповідність видів сполучень і видів допусків дозволяється змінювати залежно від ступеня температурних деформацій зубчастих коліс і корпусу.

Деформацію від нагрівання підраховують за нормаллю до профілів. Боковий зазор, який забезпечує нормальні вимоги змащення, орієнтовно беруть від 0,01м<sub>II</sub> (модуля) – для повільно рухомих кінематичних передач до 0,03м<sub>II</sub> – для високошвидкісних передач.

Таким чином, допуск  $T\gamma_{II}$  і координата середини поля допуску на боковий зазор  $E_c\gamma_{II}$  у ЗП визначаються її службовим призначенням, а дотримання бокового зазору у межах цього допуску залежить від коливання товщини зубців і відносного зміщення ділительних кіл коліс (див. рис. 3.8). Тому, виходячи із значень  $T\gamma_{II}$  і  $E_c\gamma_{II}$ , повинні бути встановлені допуски і координати середин полів допусків, які обмежують відхилення товщини зубців  $T_C$  і  $E_{cC}$  і зміну бокового зазору як наслідок відносного зміщення їх ділительних кіл.

Відносне зміщення ділительних кіл зубчастих коліс залежить від точності виготовлення зубчастих коліс, валів, підшипників і корпусної деталі і є замикальною ланкою  $A_\Delta$  розмірного ланцюга «А» (див. рис. 3.11).

На довговічність і правильність роботи ЗП впливає величина і розміщення плями контакту на бокових поверхнях зубців.

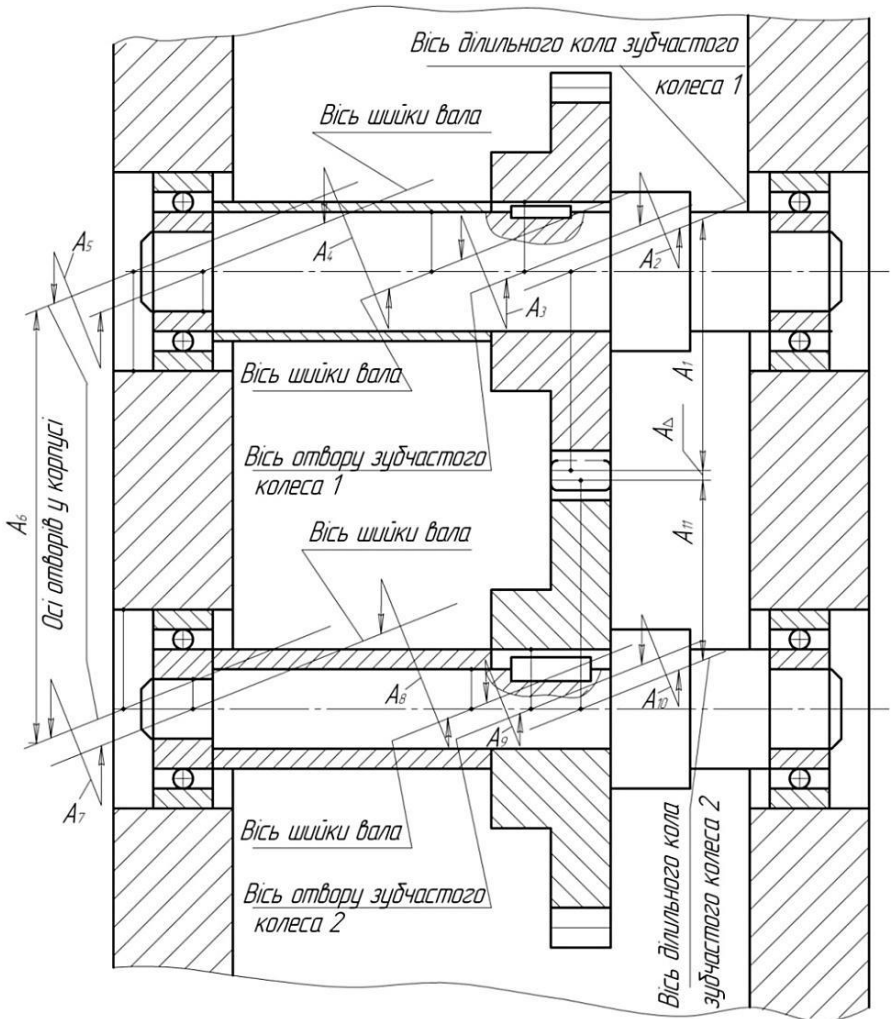


Рисунок 3.11 – РЛ «А», який визначає точність відносного зміщення ділальних кіл зубчастих коліс  $A_d$  у редукторі

Зменшення плями контакту призводить до концентрації навантаження на окремих ділянках поверхонь зубців і збільшеного зношення зубців. Зміщення плями контакту зубців

до будь-якого краю бокової поверхні зубця приводить до однобічного прикладання навантаження, збільшеного зношення і викришування зубців. Норми контакту зубців циліндричних коліс регламентовані державними стандартами.

Кінематична точність і плавність роботи ЗП, боковий зазор і точність повороту твірних бокових поверхонь зубців при складанні зубчастих коліс забезпечуються методами повної або неповної взаємозамінності.

Однак для збільшення точності окремих ланок РЛ, які впливають на точність відносного положення і зачеплення зубчастих коліс, при складанні іноді використовують методи регулювання і припасування.

Наприклад, регулюванням підшипників домагаються зменшення відхилень від співвісності опорних шийок валів з отворами у корпусі під опори валів, а комбінованими розвертками зменшують співвісність отворів у корпусі.

Складання циліндричних, конічних і черв'ячних зубчастих передач містить дві типові операції для всієї різноманітності конструкцій: установлення зубчастого колеса на вал і установлення «вузла вала» у корпус редуктора [6]. Установлення зубчастого колеса на вал залежить від типу кріплення на ньому колеса. Найчастіше трапляється установлення колеса на шпонку із перехідною посадкою по діаметру вала. Установлення колеса на вал із призматичною шпонкою виконують у пристрої прямим пресуванням.

Пресування колеса на вал із сегментною шпонкою виконують у два етапи: спочатку пресують колесо без шпонки приблизно до середини шпонкового паза, потім установлюють шпонку і допресовують колесо. Під час установлення шпонки похибка  $\Delta\phi$  компенсується обертотом колеса (див. рис. 3.12).

Забезпечення точності бокового зазору у зубчастому з'єднанні залежить від типу передачі. У ЗП сьомого ступеня точності і грубіше потрібний боковий зазор забезпечується методом повної взаємозамінності. Боковий зазор у складеному



зубчастому з'єднанні можна визначити, якщо вал одного із коліс закріпити у пристрої 2, а на вал другого колеса надіти оправку 1 (див. рис. 3.13).

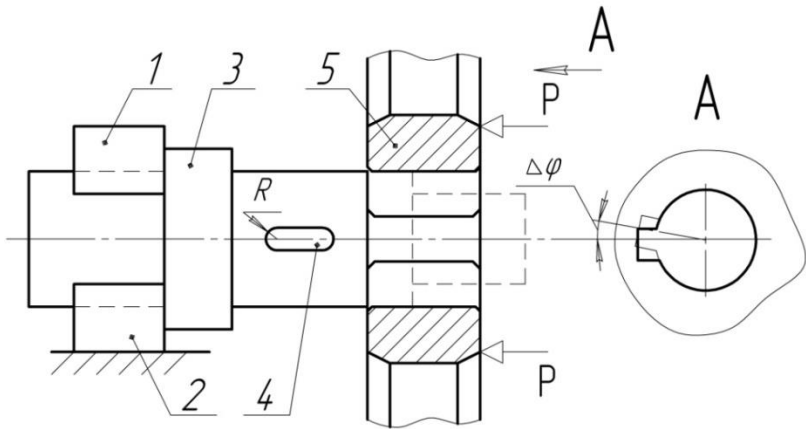


Рисунок 3.12 – Схема установлення зубчастого колеса на валу:  
1 – притискна призма; 2 – опорна призма; 3 – вал;  
4 – шпонка; 5 – зубчасте колесо

Різниця значень індикатора 3 при похитуванні оправки 1, віднесеної до радіуса діляльного кола, буде дорівнювати боковому зазору у з'єднанні. Опорою індикатора 3 і пристрою 2 може бути корпус редуктора.

Середній зазор можна визначити, якщо провести декілька вимірів за колом. Остаточний контроль зубчастого з'єднання виконують за плямою контакту. На зубці одного із коліс наносять фарбу і обертають зубчасті колеса. Плями контакту повинні розміщуватися рівномірно на поверхні зубця і займати не менше 60 % його площі. Зміщення плями у той чи інший бік дає підставу зробити висновок про похибки з'єднання. Кількісну оцінку похибки у цьому випадку можна отримати спеціальними вимірюваннями.

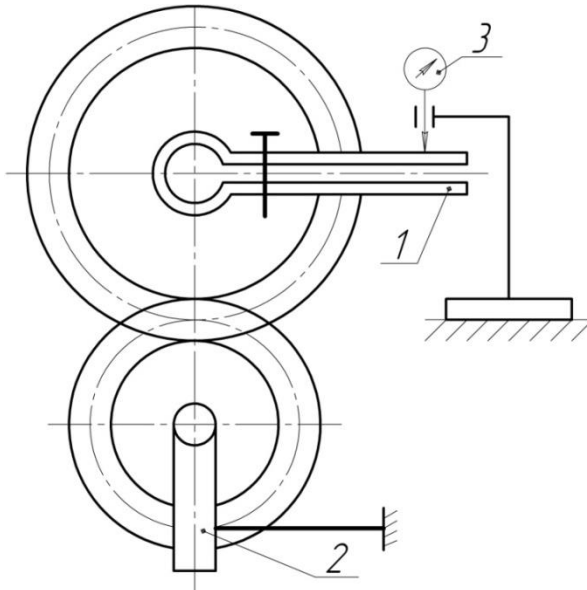


Рисунок 3.13 – Схема контролю бокового зазору у зубчастому з'єднанні: 1 – оправка; 2 – пристрій; 3 – індикатор

### ***Складання конічних зубчастих передач***

Однією із основних вимог правильного зачеплення конічної зубчастої передачі є збіг вершин ділительних конусів зубчастих коліс [16]. Допустиме зміщення вершин ділительного конуса колеса відносно осі другого колеса і вершин ділительного конуса другого колеса відносно осі першого колеса визначається за державним стандартом (ГОСТ 1758-81). Дотримання цієї вимоги при складанні конічних зубчастих коліс можна показати схемою РЛ (див. рис. 3.14).

Малий допуск замикальної ланки  $A_0$  РЛ, а також значна кількість складових ланок не дають підстави при складанні конічних ЗП використовувати методи взаємозамінності [15]. Тому точність замикальної ланки  $A_0$  досягається застосуванням методу регулювання. У цьому випадку значні зручності для складальників створюють конструкції ЗП, у яких передбачені рухомі компенсатори. Однак наявність рухомих компенсаторів

робить конструкцію складною і не завжди їх можна використати у виробі із ЗП. Частіше застосовують нерухомі компенсатори у вигляді прокладок і кілець [15].

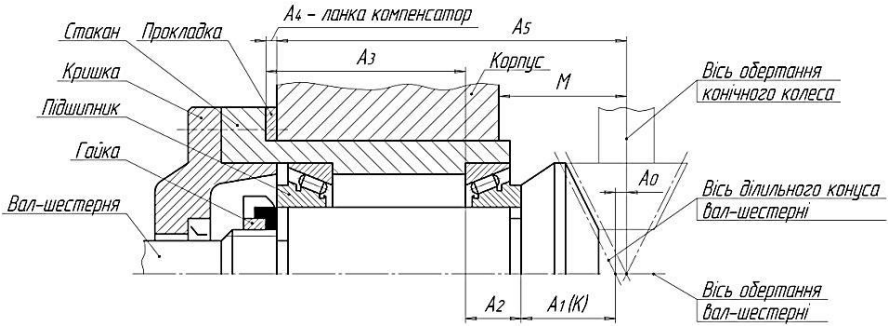


Рисунок 3.14 – Схема РЛ, яка визначає точність збігу вершин ділильного конуса вала-шестірни з віссю обертання кінцевого колеса

Регулювання положення зубчастих коліс може бути значно спрощене, якщо одне із коліс установлювати по калібру відносно осі отвору у корпусі під опори вала другого кінцевого колеса. Для цього в отвір корпусу вставляють оправку, прикладають до неї калібр і до упору у ньому остаточно встановлюють перше кінчне колесо. За таким вибором виміральної бази при виготовленні зубчастого колеса необхідно в жорстких межах забезпечити точність відстані  $K$  між вершиною ділильного конуса і торцем зубчастого колеса, який використовується як початок відліку.

Іноді перше колесо установлюють за допомогою калібру від торця корпусу. У цьому випадку на точність установлення зубчастого колеса впливає не тільки розмір  $K$ , але й  $M$  – відстань між віссю отвору у корпусі під опори вала другого зубчастого колеса і торцем корпусу. Відхилення розмірів  $K$  і  $M$  потребують обмеження допусками [16].

Після установлення першого зубчастого колеса друге зубчасте колесо зачіпляють із першим і переміщують його в

осьовому напрямку, досягаючи потрібного бокового зазору між зубцями.

Боковий зазор при регулюванні положень зубчастих коліс контролюють за допомогою щупа або свинцевої пластинки, яка вміщується між зубцями коліс. Робити висновок про боковий зазор можна за «мертвим рухом» одного із коліс, який вимірюється за допомогою індикатора і нескладного пристрою [6].

Правильність зачеплення складених конічних зубчастих коліс перевіряють за допомогою фарби, для чого зубці одного колеса змащують фарбою і ним обертають друге колесо. При перевірці без навантаження бажаними є відбитки фарби на зубцях другого колеса, які розміщені симетрично по висоті зубців і зміщені до вершин конуса. Під час роботи коліс під навантаженням пляма контакту переміщується від вершини конуса і розміщується посередині зубця.

Правильність розміщення плями контакту на боковій поверхні зубців залежить від дотримання устанавленого кута між осями обертання зубчастих коліс, знаходження осей обертання зубчастих коліс в одній площині і точності самих зубчастих коліс.

### ***Складання черв'ячних передач***

За призначенням черв'ячні передачі (ЧП) поділяють на кінематичні і силові [2]. За ГОСТом 3675-81 устанавлено дванадцять ступенів точності ЧП. Кінематичні передачі, які повинні створювати точні передаточні відношення, виготовляють 3–6-го ступенів точності. Силові передачі виготовляють 5–9-го ступенів точності.

Щоб ЧП могла виконувати своє службове призначення, в процесі її виготовлення потрібно забезпечити кінематичну точність передачі, потрібний боковий зазор у зачепленні черв'яка із колесом, збіг середньої площини колеса з віссю черв'яка, потрібну точність кутів схрещування осей обертання черв'яка і колеса [16].

Поширеним методом поєднання середньої площини черв'ячного колеса з віссю черв'яка є метод регулювання, за

яким використовують рухомі та нерухомі компенсатори [15].

У конструкції вузла (див. рис. 3.15) передбачено регулювання осьового положення черв'ячного колеса відносно черв'яка шляхом змінення товщини однієї із прокладок. У разі вибору компенсатором правої прокладки завдання поєднання середньої площини черв'ячного колеса із віссю черв'яка вирішує розмірний ланцюг «А».

Завдання регулювання зазору в підшипниках вирішується зміщенням зовнішнього кільця підшипника торцем лівого фланця і гвинтами. У створеному зазорі між корпусом і фланцем повинна бути встановлена прокладка, товщина якої  $B_0$  визначається із розв'язання РЛ «В».

Потрібна точність кута схрещування осей обертання черв'яка і колеса досягається методами повної або неповної взаємозамінності. Регулюванням положень зовнішніх кілець підшипників, надання відповідного напрямку ексцентриситету їх зовнішніх поверхонь можна збільшити точність кута схрещування осей обертання черв'яка і колеса.

Правильність зачеплення зубчастого колеса із черв'яком перевіряють за допомогою фарби. Фарбу наносять на гвинтову поверхню черв'яка. Потім його обертають і отримують відбиток на зубцях черв'ячного колеса. При правильному зачепленні черв'яка фарба повинна покрити поверхню зубця черв'ячного колеса не менше 50–70 %, а пляма контакту повинна міститися з обох боків осі симетрії зубця.

За однобічним розміщенням плям контакту на поверхнях зубців положення черв'ячного колеса відносно черв'яка виправляють переміщенням колеса в осьовому напрямку, а інколи розвертають зовнішні кільця підшипників черв'яка і вала черв'ячного колеса, щоб забезпечити напрямок ексцентриситетів кілець у потрібний бік.

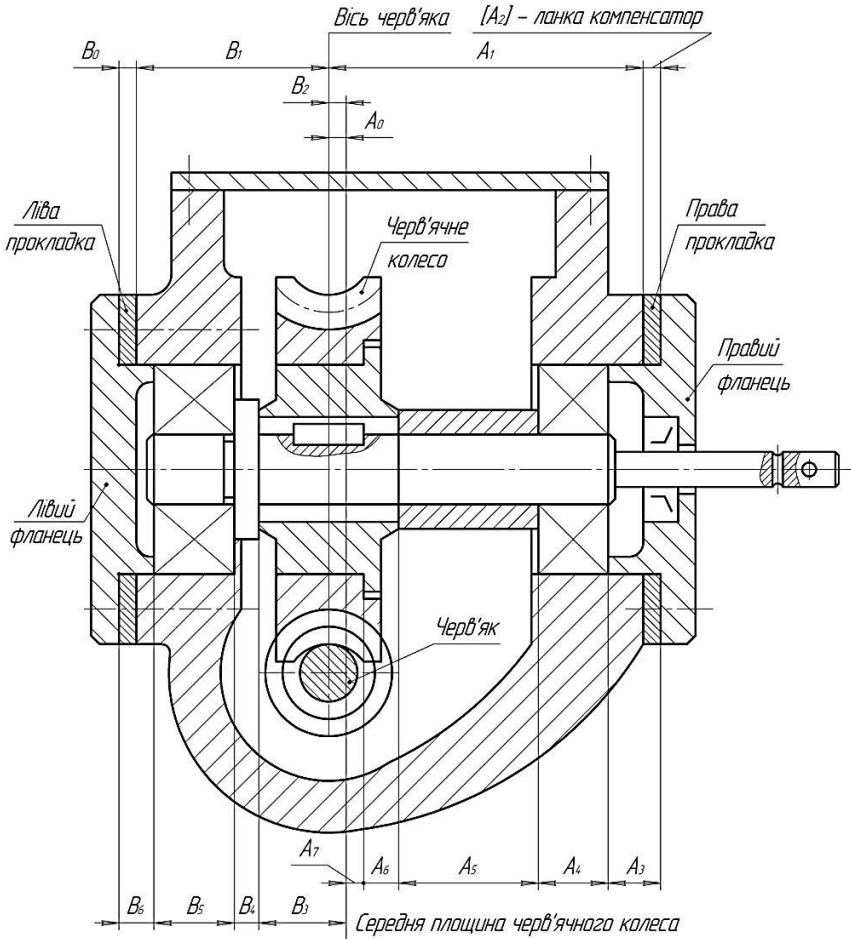


Рисунок 3.15 – Розмірні ланцюги, які визначають збіг середньої площини черв'ячного колеса із віссю черв'яка

При монтажі ЗП застосовують спеціальні інструменти і пристрої [6].

### Питання для самоперевірки

- 1 Основні показники якості монтажу валів.
- 2 Особливість монтажу валів на опорах ковзання.
- 3 Як визначається радіальне биття вала в одній площині?
- 4 Виникнення осьового переміщення вала, змонтованого на опорах ковзання.
- 5 Які конструкції підшипників ковзання використовують для монтажу валів?
- 6 Основні вимоги для монтажу валів на підшипниках кочення.
- 7 Як компенсувати радіальне биття вала ексцентриситетом внутрішнього кільця підшипника?
- 8 Способи зменшення радіального биття вала.
- 9 Способи складання підшипників кочення.
- 10 Які основні вимоги передбачені для монтажу зубчастих передач?
- 11 Як впливає на роботу зубчастої передачі боковий зазор?
- 12 За якою формулою визначається мінімальний боковий зазор зубчастої передачі?
- 13 Способи установалення зубчастого колеса на вал і «вузла вала» у корпус виробу.
- 14 Схеми контролю бокового зазору у зубчастому з'єднанні.
- 15 Особливості складання конічних зубчастих передач.
- 16 Особливості складання черв'ячних зубчастих передач.

## 4 Технологія балансування

### 4.1 Одиниці вимірювання дисбалансів та основні поняття технології балансування

Дисбаланс є векторною величиною (ГОСТ 19534-74), що дорівнює добутку неврівноваженої маси на її відстань до осі ротора  $e$  (ексцентриситет).

Ротор – це деталь або складальна одиниця, яка при обертах утримується своїми поверхнями в опорах.

Одиницями дисбалансу є грам-міліметр (г·мм) та градус (...°), які використовуються для вимірювання дисбалансу і кута дисбалансу.

Питомий дисбаланс [(г·мм)/кг = мкм] – це відношення модуля головного вектора дисбалансів до маси ротора.

Незалежно від причин (похибок виготовлення заготовки, механоскладального виробництва, змінення умов експлуатації), які спричинили зміщення центра маси від осі обертання, усі дисбаланси ротора зводяться до двох векторів – головного вектору дисбалансів  $D_{ст}$  і головного моменту дисбалансів  $M_D$ .

Головний вектора дисбалансів  $D_{ст}$  розміщений у центрі маси і дорівнює добутку маси неврівноваженого ротора на його ексцентриситет  $e$ .

Головний момент дисбалансів  $M_D$  дорівнює геометричній сумі моментів усіх дисбалансів ротора відносно центра маси. Головний момент дисбалансів перпендикулярний до головної центральної осі інерції та осі ротора і обертається разом із ротором.

Головний вектор дисбалансів у площинах опор можна замінити його складовими (симетричними дисбалансами).

Головний момент дисбалансів у тих самих площинах опор можна замінити парою сил (кососиметричними дисбалансами).

Дисбаланс є векторною величиною і повністю визначається на роторі у вибраній площині кутом дисбалансу, а також числовим значенням дисбалансу за формулою



$$D_i = m_i \cdot e_i$$

де  $m_i$  – неврівноважена маса;

$e_i$  – модуль ексцентриситету відносно осі обертання.

Площина може використовуватися для задання дисбалансу (площина зведення дисбалансу), коригування маси ротора (площина коригування), вимірювання дисбалансу (площина вимірювання дисбалансу).

Дисбаланси у різних двох площинах уздовж осі ротора різні, їх кути та числові значення можуть визначатися розрахунком або за допомогою балансувального устаткування.

#### 4.2 Структура технологічного процесу балансування

Структура технологічного процесу балансування (ТПБ) визначається призначенням балансування, типом виробництва, розмірами деталі або складальної одиниці, точністю балансування, технологічним устаткуванням і оснащенням.

Балансування – це визначення числових значень та кутів дисбалансів ротора і подальше їх зменшення коригуванням масою ротора.

Виявлення і визначення головного вектора дисбалансів можна виконувати у статичному (за дією сили ваги) або у динамічному (за примусовим обертанням) режимі. Головний момент дисбалансів визначається тільки у динамічному режимі.

Дію дисбалансів на ротор можна знижувати або усувати додаванням, зменшенням і переміщенням коригувальної маси (кількох мас), які створюють дисбаланс такого значення, як і неврівноважений ротор, але кут дисбалансу має  $180^\circ$  відносно дисбалансу ротора.

Розрізняють такі дисбаланси: початковий – до коригування мас, остаточний – після коригування мас, припустимий – прийнятний за умовами експлуатації машин, питомий – відношення модуля головного вектора до маси ротора.

Розрізняють статичне (силове), миттєве і динамічне (миттєво-силове) балансування.

За допомогою статичного балансування визначається і зменшується головний вектор дисбалансів. У цьому випадку центр маси ротора збігається із віссю обертання за допомогою розрахованої коригувальної маси (кількох мас).

За допомогою миттєвого балансування визначається та зменшується головний момент дисбалансів. За рахунок утворення пари сил коригувальні маси розміщуються у двох площинах. Результатом повороту ротора є збіг центральної осі інерції ротора із віссю обертання.

За допомогою динамічного балансування визначаються та зменшуються головний момент і головний вектор. Це досягається розміщенням коригувальних мас у двох площинах корекції (жорсткі ротори). Якщо коригувальні маси розміщуються у багатьох (більше двох) площинах корекції, то такі ротори мають назву гнучких. У цьому випадку головна центральна вісь інерції зміщується, обертається у просторі та збігається із віссю обертання ротора.

Ротор може бути врівноважений за одну або декілька операцій. Операція складається із типових переходів.

Перший перехід – вимірювальний. Тут виявляються і визначаються числові значення і кут дисбалансів.

Другий перехід – перетворювальний. На переході перетворюються визначені дані першого переходу у параметри технологічного методу, прийнятого для коригування мас дисбалансів.

Третій перехід – відсторонений. На переході відбувається коригування (усунення) дисбалансів до заданих значень.

Балансувальні операції можуть виконуватися на різних стадіях виробничого процесу: на початку обробки заготовки, після завершення усіх операцій механічної обробки деталі, в технологічному процесі складання різних складальних одиниць, а також виробу.

Ряд виробів має керівний балансувальний пристрій (КБП) або автоматизований балансувальний пристрій (АБП). КБП і

АБП дозволяють періодично коригувати дисбаланси, які виникають при використуванні виробу (зношення, нагрівання, змінювання маси і т. ін.).

### 4.3 Пристрої та верстати для балансування

#### *Стенди (верстати) для статичного балансування у статичному та динамічному режимах*

Розглянемо спосіб виявлення статичної невривноваженості складальних одиниць. Головний вектор дисбалансів ротора, що перебуває у стані спокою, під дією сили ваги створює момент відносно осі або точки, за яку підвішений ротор. Момент сил змушує ротор повернутися таким чином, щоб так зване «важке» місце (центр його мас) зайняло найнижче місцеположення. На цьому способі ґрунтується дія різних засобів та стендів для статичного балансування у статичному режимі (див. рис. 4.1).

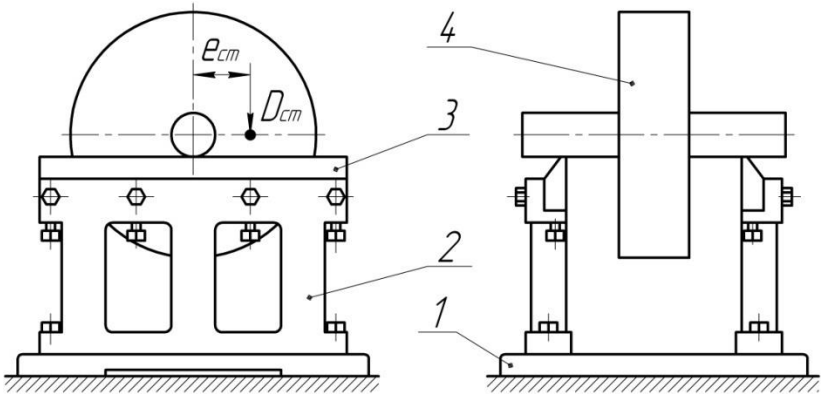


Рисунок 4.1 – Стенд із горизонтальними паралельними призмами: 1 – фундамент; 2 – стояк; 3 – призми із різним поперечним перерізом; 4 – ротор

Ротор, що має отвір, надівається на базову поверхню оправки без зазору (див. рис. 4.1). Базова поверхня оправки виконана концентрично із її поверхнями, якими складальна

одиниця котиться по призмах. Точність визначення «важкого» місця залежить від маси ротора і величини тертя між оправкою і призмами. Для зменшення величини тертя і підвищення точності балансування на опори станда накладають вібрації (див. рис. 4.2).

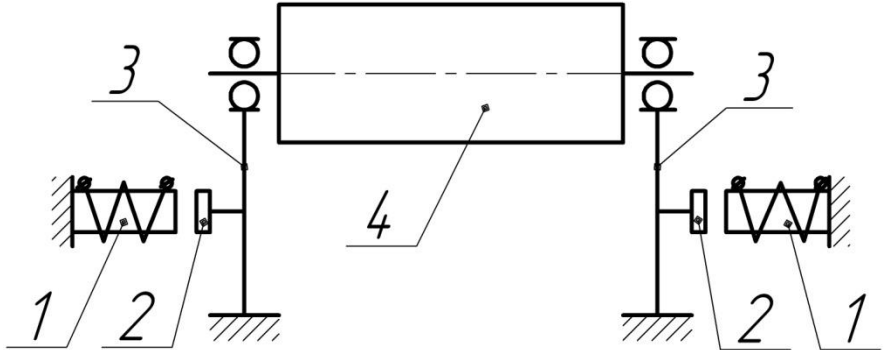


Рисунок 4.2 – Схема станда для статичного балансування ротора із підшипниковими опорами і накладеними вібраціями: 1 – електромагніт; 2 – якор; 3 – опори станда із підшипниками; 4 – ротор

Другий спосіб, на якому ґрунтується дія пристроїв для виявлення статичної нерівноваженості полягає у змінні положення центра мас ротора у горизонтальній площині за примусовим обертотом ротора. Таким пристроєм є балансувальні терези (див. рис. 4.3). Вони застосовуються для роторів із невеликою вагою.

Рівновага забезпечується шляхом переміщення вантажу у різних кутових положеннях ротора (зміщується центр маси  $m_o$  ротора на відстань  $\pm e_{ст}$  – довжину важеля).

Для визначення ексцентриситету маси важких роторів із великим діаметром застосовують їх примусове обертання. Цей спосіб має назву статичного балансування у динамічному режимі. За цим способом працюють спеціальні балансувальні верстати із вертикальною віссю обертання (див. рис. 4.4).

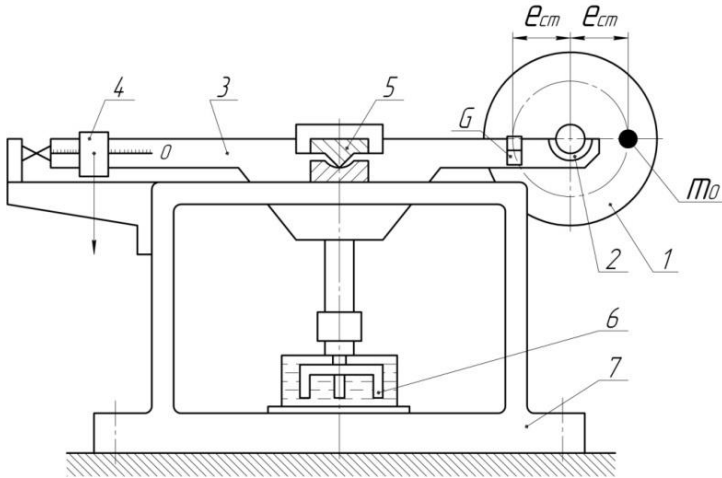


Рисунок 4.3 – Балансувальні терези із горизонтальною віссю ротора: 1 – балансувальний ротор; 2 – опори; 3 – важіль терезів; 4 – рухома вага терезів; 5 – опора-призма важеля; 6 – демпфер коливань; 7 – станина

Сила, яка давить на опори або коливання системи, визначається за формулою

$$P = m_p \cdot e_{ст} \cdot \omega^2, \quad (4.1)$$

де  $m_p$  – маса ротора;

$\omega$  – кутова швидкість.

Ротору 1 (див. рис. 4.4), насадженому на оправку шпинделя 2, надають обертів від електродвигуна 3, що спричиняє коливання системи відносно фіксованої осі. Система «ротор-шпиндель-електродвигун» пов'язана із станиною 4 жорстким зв'язком або пружинами 6. Вібраційний перетворювач 5 є першим ланцюгом системи для вимірювання кута  $\omega$  і значення дисбалансу. Різновидом кінематики таких верстатів є коливання системи відносно фіксованої площини або вільного зв'язку із станиною.

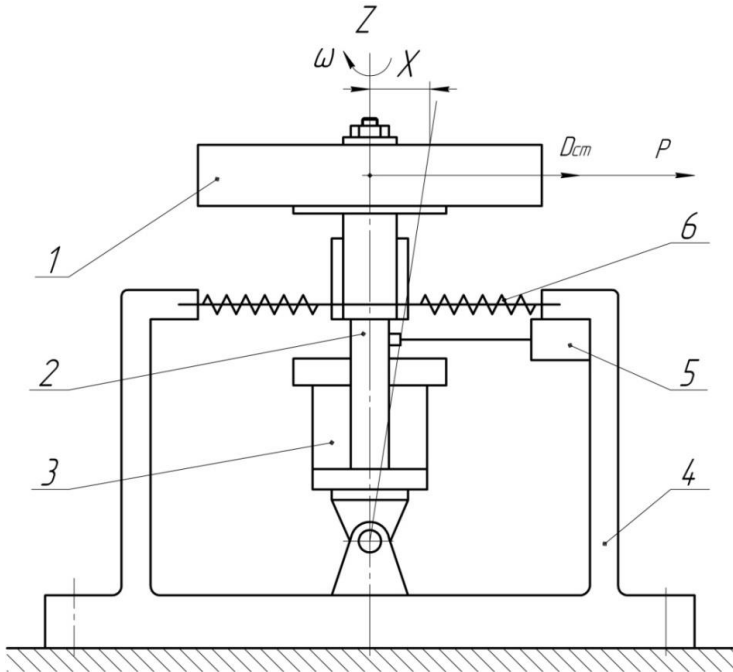


Рисунок 4.4 – Схема верстата для статичного балансування у динамічному режимі із фіксованою віссю: 1 – ротор; 2 – оправка шпинделя; 3 – електродвигун; 4 – станина; 5 – вібраційний перетворювач; 6 – пружина

### ***Верстати для динамічного балансування деталей або складальних одиниць***

Відхилення від паралельності осі обертання ротора навколо його головної центральної осі інерції може бути визначено обертанням складальної одиниці або деталі на спеціальному балансувальному верстаті. Дію на ротор головного моменту і головного вектора замінюють дією еквівалентних систем. При обертанні невірноважених мас, які знаходяться від осі на відстані  $e$ , виникають відцентрові сили пропорційні дисбалансам у площинах опор:  $F_A = m_A e_A \omega^2$ ;  $F_B = m_B e_B \omega^2$ .

Відцентрові сили спричиняють тиснення або вібрації в опорах ротора, які відчують вібраційні перетворювачі і фіксуються спеціальною вимірювальною системою. Наведений спосіб виявлення дисбалансів використовується практично у всіх балансувальних верстатах.

Балансувальні верстати розрізняють:

- за видом балансування (статичний та динамічний);
- за режимом балансування (статичний та динамічний);
- за робочою частотою обертання ротора (дорезонансні, резонансні, зарезонансні);
- за типом роторів (горизонтальні та вертикальні);
- за ступенем автоматизації (неавтоматичні, напівавтоматичні, автоматичні);
- за кількістю та спеціалізацією робочих позицій (верстати і стрічки).

Технічні дані балансувальних верстатів для динамічного балансування наведені у довіднику [12].

#### 4.4 Способи усунення дисбалансів ротора

Зменшення дисбалансів ротора відбувається за рахунок коригувальної маси, яка видаляється із тіла ротора або додається до нього, а також може переміщуватися по поверхні ротора.

Коригувальна маса за показниками балансувального устаткування видаляється різними технологічними методами: пилянням, відламуванням спеціальних приливів, точінням, фрезеруванням, шабруванням, шліфуванням, свердленням.

Додавання коригувальної маси до ротора у протилежній фазі виконують зварюванням, клепанням, паянням, прикручуванням спеціальних елементів визначеної маси на розрахованому радіусі. У деяких випадках матеріал коригувальної маси напилюють, наплавляють або використовують інші методи.

У деяких випадках при експлуатації складальних одиниць виникає безперервне змінення дисбалансу під впливом зношення або змінення навантажень. У цьому разі економічно вигідно застосовувати КБП або АБП, які у потрібний час виконують корекції маси. КБП мають спеціальні елементи (втулки, сектори, сухарі, кулі, гвинти), які переміщуються у потрібне місце ротора.

#### 4.5 Точність балансування

Точність балансування визначається за критерієм, який дорівнює добутку питомого дисбалансу  $e_{ст}$  та частоти обертання ротора в умовах експлуатації  $\omega_{e\max}$ . Згідно з визначеним критерієм ГОСТ 22061-76 передбачає 13 класів точності (від 0 до 12). Для визначення класу точності складальних одиниць можна використовувати дані, які наведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Класи точності балансувальних складальних одиниць жорстких роторів

Клас точності балансування	Типи жорстких роторів
1	2
1	Шпинделі високоточних шліфувальних верстатів, гіроскопи
2	Приводи шліфувальних верстатів
3	Турбокомпресори, турбонасоси, приводи металорізальних верстатів, ротори електродвигунів із підвищеними вимогами до плавності руху
4	Ротори електродвигунів, крильчатки відцентрових насосів, маховики, вентилятори, барабани центрифуг
5	Ротори сільськогосподарських машин, колінчасті вали, двигуни з підвищеними вимогами до плавності руху



Продовження таблиці 4.1

1	2
6	Колеса легкових автомобілів, бандажі, колісні пари
7	Колінчастий вал із маховиком, муфтою щеплення, шківом високообертального шестициліндрового дизельного двигуна
8	Те ж саме, для чотирициліндрового дизельного двигуна
9	Те ж саме, для чотиритактного двигуна великої потужності
10	Те ж саме, для двотактного двигуна великої потужності
11	Те ж саме, для низькообертального судового двигуна із непарною кількістю циліндрів

Точність технологічної операції залежить від обраного методу коригування мас, конструкції ротора та інших факторів. Ефективність виконання *i*-го переходу усунення дисбалансу можна визначити за формулою

$$\delta_i = \sqrt{(\delta_N - \cos \Delta_\varphi)^2 + (\sin \Delta_\varphi)^2}, \quad (4.1)$$

де  $\delta_i$  – ступінь зменшення дисбалансу;

$\delta_N$  – похибка переходу за значенням дисбалансу;

$\Delta_\varphi$  – похибка переходу за значенням кута дисбалансу.

У багатьох випадках усунення дисбалансу виконується свердлінням «глухого» отвору вздовж осі ротора. При свердлінні виникають три елементарні похибки: похибка величини маси матеріалу, який висвердлюється  $\Delta m$ , похибка розміщення центра маси на радіусі  $R$  ротора  $\Delta R$ , похибка розміщення центра маси уздовж осі ротора  $\Delta_0$ .

Момент  $M_0$ , який виникає при свердлінні маси матеріалу розраховується за формулою

$$M_o = F_1 \cdot L = mR\omega^2L, \quad (4.2)$$

де  $F_1$  – відцентрова сила;

$L$  – відстань між площинами, де розміщена маса корекції під час виконання динамічного балансування;

$m$  – маса матеріалу, що висвердлюється;

$R$  – розрахований радіус корекції ротора;

$\omega$  – кутова швидкість ротора.

У формулі (4.2) перелічені величини, яких у практичних умовах дотримуються із деякими похибками:  $\Delta m$ ,  $\Delta R$ ,  $\Delta\omega$ ,  $\Delta L$ . Якщо значення похибок незначне, то можна визначити ступінь впливу кожної похибки на максимальну похибку  $\delta_m$  за формулою

$$|\delta_m| = \left| \frac{\Delta m}{m} \right| + \left| \frac{\Delta R}{R} \right| + \left| \frac{2\Delta\omega}{\omega} \right| + \left| \frac{\Delta L}{L} \right|. \quad (4.3)$$

Дослідження реального технологічного процесу та конструкції ротора дозволяють визначити значення величин, зазначених у формулі (4.3), та вплив кожної похибки на величину дисбалансу.

### Питання для самоперевірки

- 1 Основні одиниці вимірювання дисбалансів.
- 2 Структура технологічного процесу балансування.
- 3 Як розрізняють незбалансованість вузла або деталі?
- 4 Перелічити верстати та пристрої, які використовуються для статичного балансування.
- 5 Види верстатів для динамічного балансування.
- 6 Як усувається незбалансованість шківів?
- 7 Як балансуються шківви та маховики в умовах масового або великосерійного виробництва?

- 8 Якими шляхами поєднують центри мас та осі деталей (вузлів), які обертаються?
- 9 Якими способами відбувається усунення дисбалансу ротора?
- 10 Що розуміють під точністю балансування?
- 11 Як визначається максимальна похибка балансування при свердлінні «глухих» отворів?

## 5 Автоматичне складання виробів

### 5.1 Теоретичні положення автоматичного складання

Автоматичне з'єднання двох окремих деталей передбачає їх відносне положення і рух у просторі. Співвідношення значень параметрів положення і руху поверхонь деталей, за яким вони повинні бути з'єднані, одержали назву умов складання [2].

Покажемо це на прикладі з'єднання втулки з валиком (див. рис. 5.1). З метою спрощення викладення розглянемо з'єднання втулки з валиком у одній площині. Рух втулки у напрямку  $A$  відбуватиметься до того часу, доки зміщення  $\varepsilon$  осі отвору втулки відносно осі шийки валика та відносний поворот  $\alpha/L$  осей не перешкоджатимуть їх з'єднанню. Це означає, що умовою складання втулки з валиком необхідно вважати нерівність

$$\varepsilon_{max} + \alpha_{max} \leq \Delta_{min},$$

де  $\Delta_{min}$  – найменший зазор між отвором втулки і шийкою валика.

Необхідне положення з'єднуваних деталей забезпечується їх базуванням.

Втулка і валик у системі координат  $XOZ$  забазовані згідно з рисунком 4.1, урахувавши, що у початковому положенні деталі перебувають у стані спокою. У разі руху втулки у напрямку  $A$  потрібно геометричний зв'язок (опора 5) замінити кінематичним зв'язком.

Вибір баз призводить до виникнення розмірних зв'язків з'єднуваних деталей, а вимоги до їх відносного положення визначають значення параметрів замикальних ланок відповідних розмірних ланцюгів. Згідно з рисунком це будуть розмірні ланцюги „ $A$ ” і „ $\beta$ ”, які мають  $A_{\Delta} = 0$ ,  $TA_{\Delta} = \varepsilon_{max}$ ,  $E_c A_{\Delta} = 0$ , а також  $\beta_{\Delta} = 0$ ,  $T\beta_{\Delta max} = \alpha_{max}/L$ ,  $E_c \beta_{\Delta} = 0$ .

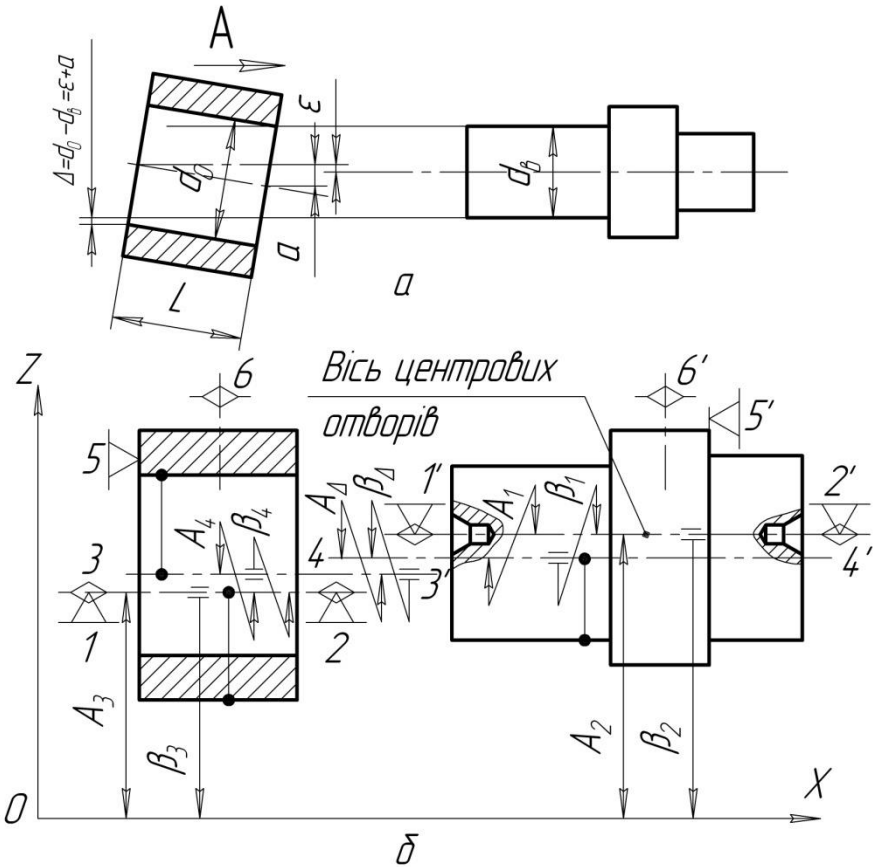


Рисунок 5.1 – Схеми:

- а – визначення умов складання втулки з валіком;
- б – базування втулки та валика і розмірні ланцюги, які визначають співвісність отвору втулки і шийки валика

Зробимо аналіз фізичного значення складових ланок розмірних ланцюгів. Ланки  $A_1, A_4$  та  $\beta_1, \beta_4$  відображають точність базування з'єднаних деталей за допомогою будь-

яких пристроїв. Ланки  $A_2$ ,  $A_3$  та  $\beta_2$ ,  $\beta_3$  показують, які положення повинні займати базуючі пристрої в складальній машині або у промисловому роботі (ПР). Розмірні ланцюги «А» і «β» визначають вимоги до точності з'єднаних деталей, базуючих пристроїв, а також складальної машини або ПР.

У більшості випадків автоматичне з'єднання деталей неможливе без компенсації відхилень у їх відносному положенні, що задане їм пристроями складальної машини або ПР.

На практиці неможливо визначити вимогу  $\varepsilon + \alpha = 0$ , тобто забезпечити співвісність отвору втулки із шийкою валика.

Умови складання деталей можуть бути поширені, якщо у разі з'єднання створити можливість регулювання їх положення.

Наприклад, регулювання положення втулки при установленні її на вал виконувалося за допомогою фаски. Якщо ширина фаски дорівнює « $b$ », то умова з'єднання деталей розширюється і визначається нерівністю

$$\varepsilon_{max} + \alpha_{max} \leq \Delta_{min} + b.$$

Треба мати на увазі, що для запобігання заклинювання з'єднаних деталей кут повороту осі отвору втулки відносно осі шийки валика не повинен перевищувати допустиме значення  $[j]$ . Останнє залежить від співвідношення параметрів фасок і розмірів поверхонь, якими деталі з'єднуються між собою. Формули, які визначають кут  $j$ , наведені в джерелах [4; 6].

Регулювання відносного положення з'єднаних деталей відбувається неодноразовою зміною схеми базування. Потрібна зміна однієї схеми базування іншою забезпечується відповідними пристроями складальної машини або ПР. Простежимо за базуванням втулки на різних етапах посадки її на вал і дією складальної машини, які остання виконує при складанні (див. рис. 5.2).

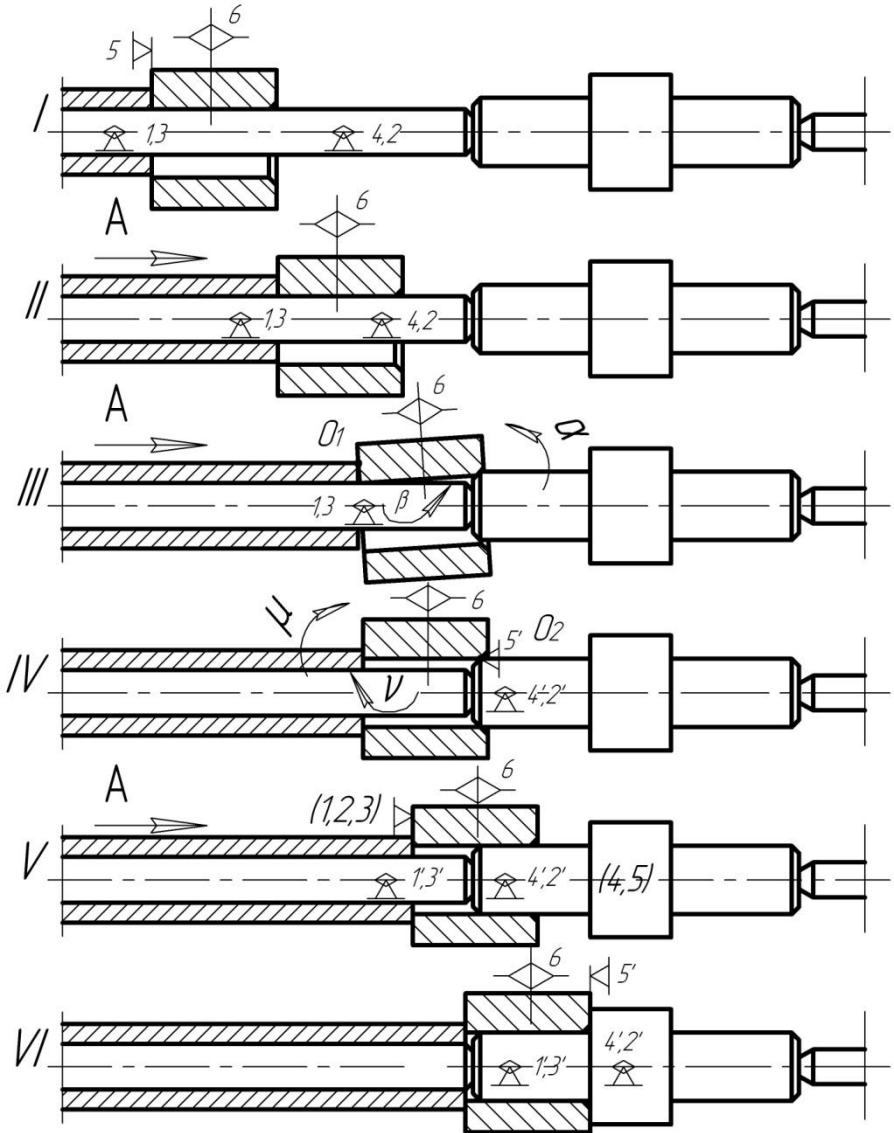


Рисунок 5.2 – Схеми базування втулки під час її посадки на вал (етапи I–VI)

I етап. У початковій позиції втулка встановлюється на один із центрів (до упору в торець штока привода), на яких базується валик.

II етап. Втулці надають руху вздовж осі центра (геометричний зв'язок замінюється кінематичним зв'язком А).

III етап. Втулка торкнулася фаскою вала і повинна повернутися навколо точки  $O_1$ , щоб сісти на вал фаскою. У цей момент геометричні зв'язки 2 та 4 повинні бути замінені кінематичними зв'язками  $\alpha$  і  $\beta$ , які забезпечують поворот втулки у двох координатних площинах.

IV етап. Втулка повинна повернутися навколо точки  $O_2$ , щоб опинитися на валу. Для цього вона повинна бути центрована за контуром вала опорними точками 2' і 4', на деяку мить позбавлена опорною точкою 5' осьового переміщення і за дією створених кінематичних зв'язків  $\mu$  і  $\nu$  повернута відносно валика до суміщення осі отвору із віссю шийки валика.

V етап. Із моменту заходу втулки на валик її базування повністю здійснюється валиком. Для руху втулки в осьовому напрямку геометричний зв'язок 5' повинен бути замінений кінематичним зв'язком А.

VI етап. Втулка зсунута до упору з торцем валика. У цей момент дія кінематичного зв'язку А повинна припинитися і бути замінена геометричним зв'язком 5'.

Дія потрібних зв'язків при складанні забезпечується силами, які створюються приводами складальної машини або ПР; силами ваги з'єднаних деталей; силами реакцій та тертя, що виникають.

Із наведеного прикладу можна зробити висновок, що на кожному етапі складання повинна бути створена своя система сил відповідно до задачі, яку потрібно розв'язати.

Технологічна система складання не повинна бути абсолютно жорсткою. Процес складання потрібно виконувати за допомогою мінливих режимів, які забезпечують тонку корекцію



відхилень відносного положення з'єднаних деталей. Складальні машини повинні мати керовані пристрої, за якими відбувається автоматичний перехід на потрібний режим у будь-який момент часу. Такі пристрої повинні керувати швидкістю процесу складання і забезпечувати на окремих етапах потрібну систему діючих сил. Ефективність дії таких пристроїв цілком залежить від глибини вивчення і реалізації в практичних умовах фізичної суті процесу і явищ, за якими відбувається складання виробів.

Таким чином, для розроблення автоматизації процесу складання треба вирішувати такі завдання:

- 1 Виявити умови складання деталей і одночасно вибрати бази та метод автоматичного складання з урахуванням власної точності деталей.
- 2 Досконало описати суть процесу автоматичного з'єднання деталей, їх базування у ході складання, створення потрібних для процесу складання системи сил.
- 3 Виконати розрахунок діючих сил, режимів на кожному етапі складального процесу і визначити функції складальної машини та встановити вимоги до неї.
- 4 Виявити розмірні зв'язки, які повинні діяти при автоматичному складанні, розробити вимоги до точності пристроїв складальної машини або ПР.
- 5 Розробити технічне завдання на проектування складальної машини або ПР із відбиттям усіх особливостей процесу складання, функцій машини або приладу, а також технічних умов, які вони повинні задовольняти.

## **5.2 Автоматичне складання із застосуванням складальних машин**

Склад автоматичного складального обладнання визначається конструкцією виробу і технологією його

складання. Здебільшого автоматичні складальні машини застосовують для складання виробів одного найменування або вузької номенклатури подібних виробів із річним обсягом випуску 200–500 тисяч штук і більше, внаслідок чого вони мають спеціальне призначення.

Складання вузлів залежно від їх складності може виконуватися окремими складальними машинами або автоматичними лініями, які мають певну кількість складальних машин, об'єднаних транспортними засобами [4; 6].

Крім виконання складальних переходів, складальні машини мають функції транспортування, завантаження, орієнтації, контролю якості складання, випробування і розвантаження.

Під час побудови автоматичного процесу складання виробу важливим є питання компонування складального обладнання. Так, однопозиційні складальні машини мають невеликий обсяг транспортних операцій і кількість самостійних завантажувальних, орієнтувальних, постачальних, збиральних пристроїв повинна дорівнювати кількості послідовно монттованих деталей у складальну одиницю (див. рис. 5.3). Ця вимога зменшує можливість концентрації операцій, ускладнює конструкцію складальної машини і доступу до неї при налагодженні.

Тому однопозиційні складальні машини використовують для складання вузлів із невеликої кількості деталей або у випадках, коли складаються однакові деталі і їх можна монтувати одночасно.

Багатопозиційні машини можуть виконувати складальні операції паралельно (див. рис. 5.4). На завантажувальній позиції такої машини у пристрій встановлюється базова деталь виробу, яка періодично переміщується разом із пристроєм з однієї позиції на іншу. У кожній позиції виконуються свої складальні операції.

Пристрої у багатьох випадках розміщують на поворотному столі, за одне обертання якого виконується повний цикл складання виробу.

Як правило, багатопозиційні машини мають не більше шести–восьми робочих позицій, що обмежує їх застосування для складання складних виробів [5; 6].

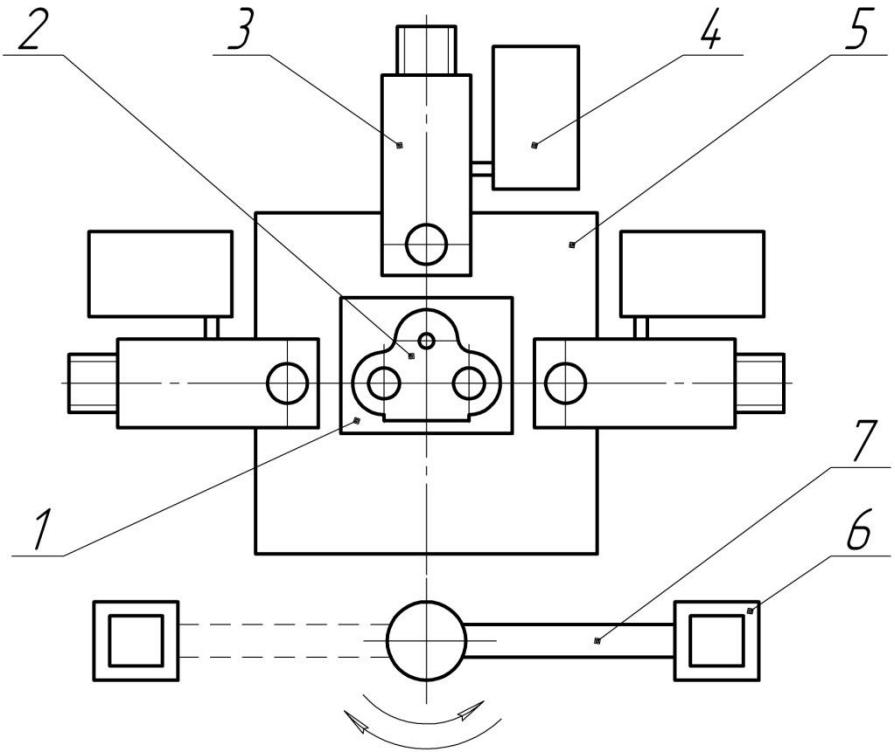


Рисунок 5.3 – Схема компоновання складального однопозиційного автомата:  
 1 – пристрій; 2 – складальний виріб;  
 3 – складальна головка; 4 – магазинний пристрій;  
 5 – стіл складального автомата; 6 – стіл;  
 7 – маніпулятор

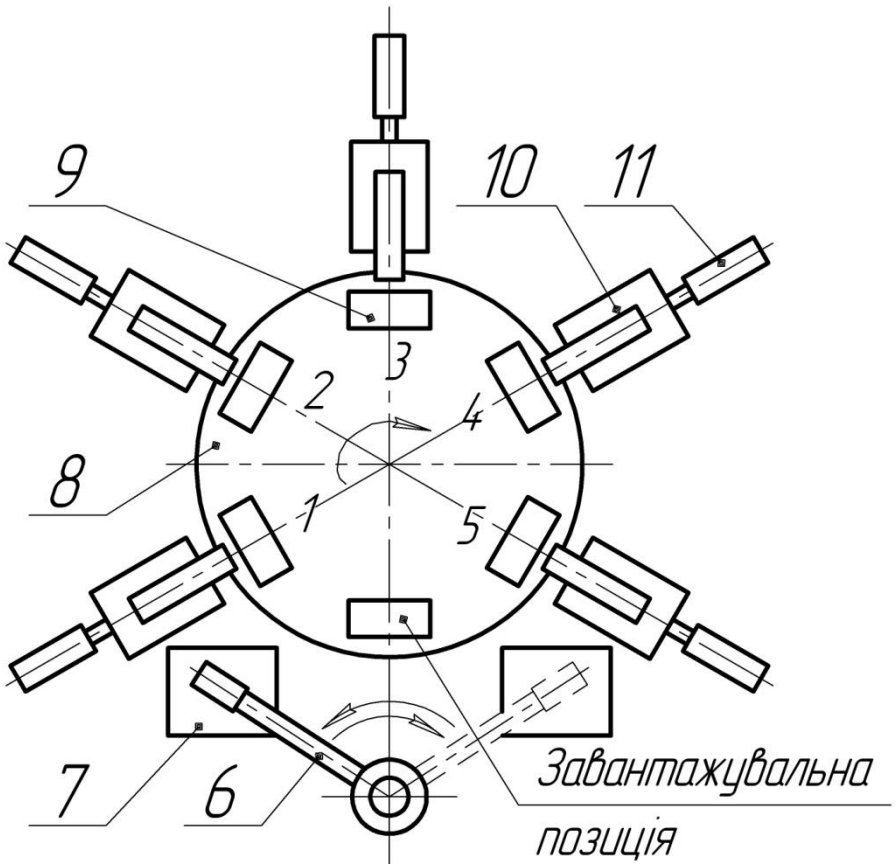


Рисунок 5.4 – Схема компонування складального багатопозиційного автомата: 1 – 5 – робочі позиції; 6 – маніпулятор; 7 – стіл; 8 – поворотний стіл; 9 – пристрій; 10 – складальна головка; 11 – магазинний пристрій

Складання складних виробів здійснюється на автоматичних лініях, які складаються як із однопозиційних, так

і з багатопозиційних машин. На автоматичних лініях може бути суміщено складання окремих вузлів і всього виробу, наприклад, блок двигуна внутрішнього згоряння, електродвигун і т. ін. Усі позиції автоматичної лінії з'єднані між собою транспортними пристроями, які доставляють до складальних машин супутники з установленими в них базовими деталями. Виконання операцій складання на кожній позиції можливе одночасно з трьох боків, що залишає свободу для суміщення операцій.

Складання виробів, які мають дуже великий річний обсяг, наприклад, роликові ланцюги, відбувається на роторних автоматичних лініях. Роторні лінії складаються із складальних, транспортних механізмів, засобів автоматичного завантаження складальних деталей, контролю і т. ін. Процес складання відбувається безперервно, причому у кожному технологічному роторі за його один повний оборот виконується одна складальна операція [4; 6].

### **5.3 Автоматичне складання із застосуванням промислових роботів**

Головною перевагою ПР відносно складальних машин є їх спроможність перебудови для складання інших виробів. Наявність пристроїв програмного керування збільшує рівень універсальності цих машин і робить можливим їх застосування для автоматичного складання у серійному виробництві [2; 4].

Функції будь-якого робота зводяться до ряду типових дій у просторі: узяти – покласти, підняти – опустити, повернути, перенести і т. ін. На базі функцій робота можна здійснити транспортування деталей до місця складання, їх орієнтування, виконання різноманітних технологічних операцій, контроль якості складання і т. ін.

Суттєвим при виготовленні роботів є рівень електронних і мікропроцесорних пристроїв, які значно розширюють можливості роботів під час складання виробів. Останнім досягненням у цій галузі є пристрої візуального (технічного)

зору, тактильні та кінетостатичні (дотик і відчуття тиску) прилади.

Наприклад, візуальні сенсорні пристрої (ВСП) дозволяють:

- спостерігати за процесом з'єднання деталей і керувати адаптивними складальними пристроями;
- здійснювати комплектацію вузлів;
- проводити 100 % контроль зовнішнього вигляду і розмірів виробів та надавати статистичні відомості про характер цих відхилень від норми;
- сортувати вироби за зовнішнім виглядом та розмірами і обирати потрібну деталь, якщо її потрібно вилучити із рушійного конвеєра, стелажа або тари;
- здійснювати 100 % контроль кольорової характеристики покриття виробів;
- проводити дистанційне керування процесом складання і т. ін.

Форма організації складання із застосуванням ПР залежить від складності виробів і може цілком виконуватися або на одному робочому місці, або на лінії оснащеної ПР.

При виконанні автоматичного складання на одному робочому місці навколо робота розміщують постачальники із деталями, набір захоплювальних пристроїв, різні інструменти, якими робот переоснащується сам, а також стаціонарні устаткування (свердлильні головки, преси і т. ін.), до яких робот подає складальний виріб для виконання ними деяких операцій.

Розширення можливості складання дає змогу використовувати «багаторукі» роботи. У джерелах [4; 5; 6] наведено багато прикладів використання для автоматичного складання різних моделей вітчизняних і закордонних ПР.

В автоматичних лініях залежно від складності операцій використовують роботи різних типів: від жорсткопрограмованих до ПР найвищого рівня. Нерідко на складальних дільницях різних підприємств застосовують сполучення позицій концентрованого складання із

диференціальним. Це дозволяє використовувати два або три роботи для обслуговування однієї позиції. Кількість роботів у позиціях може змінюватися, що забезпечує гнучкість складальних дільниць. Приклади таких автоматичних ліній наведені у літературі [4; 6].

Останнім часом все більше використовуються ПР, що комплектуються сенсорними системами, такими, як «технічний зір», «відчуття тиску» і т. ін. Незважаючи на те, що такі ПР значно дорожчі від звичайних маніпуляторів, вони забезпечують зростання продуктивності та економлять витрати людської праці.

У цілому можна зробити висновок, що в робототехніці відбувається перехід від освоєння окремих ПР до створення адаптивних роботизованих технологічних систем, які з успіхом можуть бути використані для автоматизації складального виробництва.

### **Питання для самоперевірки**

- 1 Теоретичні положення автоматичного складання.
- 2 Схеми базування втулки під час її посадки на вал.
- 3 Задачі, які необхідно розв'язати при автоматичному складанні.
- 4 Особливості автоматичного складання виробів при використуванні однопозиційних автоматів.
- 5 Особливості автоматичного складання виробів при використуванні багатопозиційних автоматів.
- 6 Типові функції промислових роботів, що використовуються для автоматичного складання виробів.
- 7 Функції промислових роботів, оснащених візуальними сенсорними пристроями.
- 8 Форма організації автоматичного складання із застосуванням промислових роботів.

## 6 Приклади окремих етапів розроблення технологічного процесу складання виробів

### 6.1 Розроблення технологічного процесу складання ротора

#### *Службове призначення виробу та опис його роботи*

Нагнітач відцентрового типу Є1700-11-2М (складальне креслення 398Н-СБ обладнання АТ «Хімпром», місто Суми) призначений для подання сірчистого газу, під час виробництва сірчаної кислоти [17]. Основні параметри нагнітача при стисненні сірчистого газу наведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Основні параметри нагнітача

Найменування	Кількісний показник
Обсяг продуктивності, віднесений до початкових вимог усмоктування, м <sup>3</sup> /с (м <sup>3</sup> /хв)	27,8 (1670)
Підвищення тиску (різниця між статичним кінцевим і початковим тисками), Па(мм вод. ст.)	$2,94 \cdot 10^4$ (3000)
Тиск усмоктування на вході в усмоктувальний патрубок, Па (кгс/см <sup>2</sup> )	$9,32 \cdot 10^4$ (0,95)
Температура газу на вході в усмоктувальний патрубок, К (°С)	313 (40)
Частота обертання ротора нагнітача, с <sup>-1</sup> (об/хв)	50 (3000)
Споживана потужність, Вт (кВт)	1050000 (1050)
Густина вологого газу при 0 °С і 760 мм рт. ст., кг/м <sup>2</sup>	1,38

Нагнітачу надають обертів від електродвигуна із частотою обертання 50 с<sup>-1</sup> (3000 об/хв). Напрямок обертання ротора нагнітача – проти годинникової стрілки, якщо дивитися з боку електродвигуна. Маховий момент ротора нагнітача становить 334 кг·м<sup>2</sup>. Критична кількість обертів ротора 75 с<sup>-1</sup> (4500 об/хв).



Нагнітач має ручне регулювання для подання сірчистого газу засувкою, яка встановлена в усмоктувальному трубопроводі. Момент на муфті електродвигуна у кінці пуску дорівнює 300 кгм, момент на початку руху – 30 кгм.

Маса найбільш важкої частини нагнітача дорівнює 2,7 т (теоретична). Маса комплексу обладнання, що постачається, без головного електродвигуна дорівнює 6,5 т (теоретична).

Змазування підшипників нагнітача здійснюється турбінним маслом Т<sub>22</sub> ГОСТ 32-74 (замінники: ТП-22 ГОСТ 9972-74; ВРEnergy ТН65НВ; TurboOil 27; Vacolaine light; Teresso 43), при цьому змішування цих масел не допускається. Змазування підшипників нагнітача циркуляційне, під тиском здійснюється за допомогою мастильної системи.

Відцентровий нагнітач складається із корпусу нагнітача, ротора, корпусу підшипників з опорними і опорно-упорними укладками. Виріб має мастильну систему та синхронний турбодвигун потужністю 1250 кВт, а також асинхронний електродвигун із короткозамкненим ротором для пуску маслососа, з'єднувальну муфту між нагнітачем та електродвигуном, пристрій для підняття ротора при розбиранні та складанні нагнітача.

Ротор нагнітача (див. рис. 6.1) консольного типу має одне робоче колесо 2 клепаної конструкції із штампованими лопатками коритоподібного перерізу. Усі деталі ротора виготовлені із високоякісної сталі. Робоче колесо у зібраному вигляді підлягає статичному балансуванню. На кінці вала попереду робочого колеса нагвинчений обтічник 7, який забезпечує вільне подання газу до робочого колеса 2. За робочим колесом на валу 3 насаджена втулка лабіринтного ущільнювання 6 і крильчатка 1 вентиляторного типу, яка створює повітряний затвор. Вал має два бурти, які фіксують положення ротора відносно корпусу 14 і передають уздовж осі тиск на опорно-упорний підшипник 15.

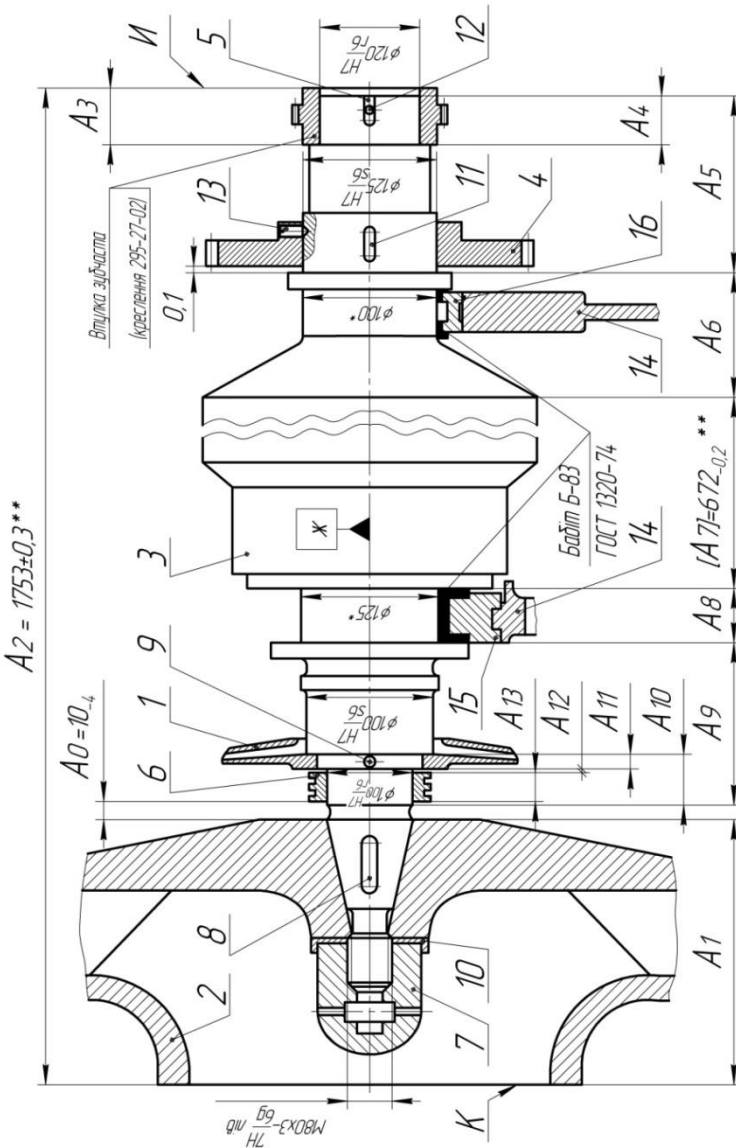


Рисунок 6.1 – Схематизоване креслення ротора 398Н-25СБ та його РЛ

На валу 3 насаджена ведуча зубчаста шестірня 4, яка призначена для передавання обертів до головного масляного насоса. На кінці вала насаджена зубчаста втулка, за допомогою якої ротор з'єднаний із валом електродвигуна (дивись креслення 295-27-02).

У середній частині вал 3 має стовщення, яке забезпечує положення центра ваги ротора між опорами. Після закінчення складання ротор підлягає динамічному балансуванню. Допустимий небаланс у площині К – 160 г·см, у площині II – 50 г·см (дивись креслення 398Н-25СБ).

Робоче колесо, втулка лабіринтного ущільнювання, крильчатка і зубчаста шестірня насаджуються на вал ротора у гарячому стані. Щоб виконати натяг конічного з'єднання робочого колеса з валом у потрібних межах, робоче колесо насаджується на вал до упору у спеціальне дистанційне кільце (креслення 190-90-7СБ), яке вилучається із ротора після його охолодження.

Різниця температури між деталлю, яка надівається, і валом повинна бути не меншою 70 °С. Нагрівають колесо до температури не більше 140 °С.

Основне службове призначення ротора полягає у проходженні сірчаного газу крізь поверхні робочого колеса (виконавчі поверхні). Аналіз технічних вимог складального креслення ротора виявив, що для нормальної роботи ротора потрібно при складанні забезпечити зазор 6–10 мм між робочим колесом і торцем втулки лабіринтного ущільнювання. Крім того, ротор потрібно динамічно балансувати із напресованими на ньому деталями. Остаточні основні технічні умови складання ротора можна сформулювати таким чином.

1 Забезпечити зазор 6–10 мм між торцями робочого колеса і втулкою лабіринтного ущільнення. Контроль зазору здійснити дистанційним кільцем (креслення 190Н-90-7СБ), розміри якого повинні бути менші від вимірюваної величини на 0,7–0,75 мм.

2 Виконати динамічне балансування ротора із

напресованими на ньому деталями. Допустимий небаланс у площині К – 160 г·см, у площині И – 50 г·см.

***Вибір і обґрунтування методу досягнення норми точності зазору між робочим колесом та втулкою лабіринтного ущільнювання***

За вимогами креслення потрібно забезпечити зазор між робочим колесом і втулкою лабіринтного ущільнювання у межах 6–10 мм. Для виконання розмірного аналізу будемо РЛ (див. рис. 6.1). Спочатку виявимо замикальну ланку  $A_0$  і визначимо її номінальний розмір, допуск і координату середини поля допуску [15].

Візьмемо  $A_0 = 7(+3; -1)$ ,  $A_0 = 7$  мм;  $TA_0 = 4$  мм;  $E_c A_0 = +1$  мм = +1000 мкм;  $ESA_0 = +3$  мм = +3000 мкм;  $EIA_0 = -1$  мм = -1000 мкм.

Далі визначимо номінальні розміри складових ланок згідно з робочими кресленнями деталей. Перевіримо правильність вибору номінального розміру  $A_0$  за формулою

$$A_0 = \sum A_i - \sum A_j, \quad (6.1)$$

де  $A_i$  – збільшувальні ланки РЛ ( $A_2, A_4, A_{10}$ );

$A_j$  – зменшувальні ланки РЛ ( $A_1, A_3, A_5, A_6, A_7, A_8, A_9, A_{11}, A_{12}, A_{13}$ ).

Тоді

$$A_0 = (A_2 + A_4 + A_{10}) - (A_1 + A_3 + A_5 + A_6 + A_7 + A_8 + A_9 + A_{11} + A_{12} + A_{13}) = (1753 + 134 + 93) - (270 + 138 + 334 + 150 + 670 + 110 + 210 + 28 + 0 + 60) = 10 \text{ мм.}$$

Для розрахунку РЛ складемо таблицю (див. табл. 6.1), до якої занесемо дані із робочих креслень вала і деталей, що складають вузол ротора.

Розрахований номінальний розмір  $A_0 = 10$  мм не дорівнює прийнятому  $A_0 = 7$  мм. Тому потрібно задати нові розміри замикальної ланки:  $A_0 = 10(0; -4)$  мм;  $TA_0 = 4$  000 мкм;  $E_c A_0 =$

$= -2000$  мкм;  $ESA_0 = 0$ ;  $ES A_0 = -4000$  мкм.

Якщо допуск замикальної ланки  $TA_0=4000$  мкм більший від суми допусків складових ланок, тобто  $T'A_0 = \sum_i TA_i + \sum_j TA_j$ , то РЛ розраховують за методом повної взаємозамінності (способом єдиного квалітета точності) [10].

Тоді

$$T'A_0 = \sum_i TA_i + \sum_j TA_j = 210 + 600 + 160 + 400 + 400 + 1000 + 400 + 35 + 100 + 200 + 84 + 400 + 120 = 4109 \text{ мкм.}$$

Розрахований допуск замикальної ланки на 109 мкм більший, ніж заданий  $TA_0=4000$  мкм. Перевищення 109 мкм становить

2,7 % від допуску  $TA_0$  і є величиною відносно малою. Тому розрахунок може бути виконаний запропонованим методом.

Середній допуск  $T_{cp}$  складових ланок РЛ визначається за формулою

$$T_{cp} = \frac{TA_0}{m-1} = \frac{4000}{14-1} \approx 308 \text{ мкм,} \quad (6.2)$$

де  $m$  – кількість ланок РЛ.

Згідно з аналізом  $T_{cp} = 308$  мкм, що дорівнює 10–11-му квалітетам точності розмірів складових ланок РЛ. За рекомендаціями [10], розрахунок такого РЛ виконують способом єдиного квалітета точності. Цей спосіб використовують для РЛ, у яких кількість ланок становить ( $m > 4$ ). За цим способом на всі складові ланки призначаються допуски одного квалітета точності.

Потрібний квалітет визначають за числом одиниць допуску, однакового для усіх складових ланок РЛ.

Якщо РЛ має стандартні деталі і допуски на їх розміри вже визначені і не можуть бути замінені, то число одиниць допуску «а» визначається за формулою

Таблиця 6.1 – Розміри ланок для розрахунку РЛ

Позначення ланки (індекс розміру) $A_{i,j}$	Квалітет точності	Номинальний розмір ланки $A_i, A_j$ , мм	Допуск $TA_i, TA_j$ , мкм	Координата середини поля допуску $E_{cA_i}, E_{cA_j}$ , мкм	Верхнє відхилення ланки $ESA_i, ESA_j$ , мкм	Нижнє відхилення ланки $EIA_i, EIA_j$ , мкм	Коментар
1	2	3	4	5	6	7	8
$A_1^*$	h10	270	210	-105	0	-210	Розмір робочого колеса (ГОСТ 25347-82)
$A_2^*$	Js10	1753	600	0	+300	-300	Розмір, який забезпечується і контролюється за складанням (ГОСТ 25347-82)
$A_3^*$	h10	138	160	-80	0	-160	Розмір втулки зубчастої за кресленням 295-27-02
$A_4$		134	400	0	+200	-200	Розмір ступеня вала
$A_5$		334	400	0	+200	-200	Розмір ступеня вала
$A_6$	Js14	150	1000	0	+500	-500	Розмір ступеня вала
[ $A_7$ ]		670	400	0	+200	-200	Розмір ступеня вала. Рекомендується ланкою-регулятором $A_p$
$A_8$		110	35	+17,5	+35	0	Розмір ступеня вала

Продовження таблиці 6.1

1	2	3	4	5	6	7	8
$A_9$		210	100	+50	+100	0	Розмір ступеня вала
$A_{10}$		93	200	0	+100	-100	Розмір ступеня вала
$A_{11}^*$	h10	28	84	-42	0	-84	Розмір крильчатки
$A_{12}$		0	400	+300	+500	+100	Зазор між крильчаткою і втулкою лабіринтного ущільнювання
$A_{13}^*$	h10	60	120	-60	0	-120	Розмір втулки лабіринтного ущільнювання
$A_0$		10	4000	-2000	0	-4000	Розмір замикальної ланки $A_0$
* Допуски розмірів, одержані після розрахунку РЛ							

$$a = \frac{(TA_0 - \sum TA_{cm})}{0,45 \cdot \sum \sqrt[3]{Q_i}}, \quad (6.3)$$

де  $\sum TA_{cm}$  – сума допусків стандартних деталей (або розмірів), які не можуть бути замінені. У нашому випадку це допуски  $TA_4, TA_5, TA_6, TA_7, TA_8, TA_9, TA_{10}, TA_{12}$ ;

$\sqrt[3]{Q_i} = \sqrt[3]{D_i + 0,001 \cdot D_i}$ ;  $D_i$  – середнє геометричне значення, яке визначається за таблицею допусків;

$i$  – одиниця допуску;

$\sqrt[3]{Q_i}$  – розраховується без урахування інтервалів стандартних деталей (розмірів).

У формулі (6.3)  $Q_i$ , мм,  $TA_0$  і  $TA_{cm}$ , мкм.

Тоді

$$a = \frac{TA_0 - (TA_4 + TA_5 + TA_6 + TA_7 + TA_8 + TA_9 + TA_{10} + TA_{12})}{0,45 \cdot (\sqrt[3]{Q_1} + \sqrt[3]{Q_2} + \sqrt[3]{Q_3} + \sqrt[3]{Q_{11}} + \sqrt[3]{Q_{13}})} =$$

$$= \frac{4000 - (400 + 400 + 1000 + 400 + 35 + 100 + 200 + 400)}{0,45 \cdot (\sqrt[3]{280,5} + \sqrt[3]{1886} + \sqrt[3]{146,97} + \sqrt[3]{23,24} + \sqrt[3]{63,24})} = 76,2.$$

За числом одиниць допуску «а» визначимо квалітет точності розмірів. Якщо число «а» збігається із табличним і відповідає 10–12-му квалітетам і вище, то на всі ланки ланцюга, крім одного, яке є регульовальним, призначаються допуски за цим квалітетом. Беремо «а» = 64, що відповідає 10-му квалітету точності [10].

Згідно з ГОСТ 25347-82 визначимо і запишемо у таблицю 6.1 допуски і номінальні відхилення розмірів  $A_1, A_2, A_3, A_{11}, A_{13}$ . Допуск регульовальної ланки  $A_p$  визначається за формулою

$$TA_p = TA_0 - \sum TA_{i,j-1}, \quad (6.4)$$

де  $\sum TA_{i,j-1}$  – сума допусків збільшувальних і зменшувальних ланок (за винятком регулюючої ланки, яка є зменшувальною).

Регульовальною ланкою може бути будь-яка складова ланка РЛ (бажано із найбільшим номінальним значенням). Беремо  $A_p = [A_7] = 670 \pm 0,2$  мм, яка є зменшувальною ланкою.



Тоді  $TA_p = 4000 - (210 + 600 + 160 + 400 + 400 + 1000 + + 35 + 100 + 200 + 84 + 400 + 120) = 291$  мкм.

Визначимо координату середини поля допуску регулювальної ланки  $E_cA_p$  і її відхилення.

$$E_cA_p = (E_cA_2 + E_cA_4 + E_cA_{10}) - (E_cA_1 + E_cA_3 + E_cA_5 + E_cA_6 + E_cA_8 + E_cA_9 + E_cA_{11} + E_cA_{12} + E_cA_{13}) - E_cA_0 = (0 + 0 + 0) - (-105 - 80 + 0 + 0 - 17,5 + 50 - 42 + 300 - 60) - (-2000) = + 1954,5 \text{ мкм};$$

$$ESA_p = E_cA_p + \frac{TA_p}{2} = 1954,5 + \frac{291}{2} = + 2100 \text{ мкм};$$

$$EIA_p = E_cA_p - \frac{TA_p}{2} = 1954,5 - \frac{291}{2} = + 1809 \text{ мкм}.$$

Виконаємо перевірку розрахунків:

$$ESA_p - EIA_p = TA_p = 2100 - 1809 = 291 \text{ мкм}.$$

Остаточню приймемо розмір  $[A_7] = 672 (0; -0,2)$  мм.

Перевіримо правильність виконаних розрахунків:

$$A_0 = 1753 \pm 0,3 + 134 \pm 0,2 + 93 \pm 0,1 - (270_{-0,21} + 138_{-0,16} + 334 \pm 0,2 + 150 \pm 0,5 + 672_{-0,2} + 110^{+0,035} + 210^{+0,1} + 28_{-0,084} + 0^{+0,5}_{+0,1} + 60_{-0,12}) = 8^{+1,974}_{-1,935} \text{ мм}.$$

Розрахований розмір знаходиться в межах заданого значення  $A_0 = 10 (0; -4,0)$  мм.

Формулюємо висновки виконаного розрахунку РЛ.

1 Розмір  $[A_7] = 670 \pm 0,2$  мм, заданий конструктором на робочому кресленні вала 398Н-25-03, потрібно коригувати і надати нового значення –  $[A_7] = 672(0; -0,2)$  мм, враховуючи точність операційного розміру і засіб вимірювання.

2 Розв'язання РЛ дозволяє відмовитися від остаточного припасування розмірів на стадії складання ротора і безпосередньо забезпечити потрібний зазор 6–10 мм.

3 Для подальших розрахунків остаточно візьмемо нове значення замикальної ланки  $A_0 = 8 \pm 2$  мм.

### ***Розроблення послідовності складання та схеми складання ротора***

Аналіз службового призначення вузла і розрахунок РЛ дозволяють установити послідовність виконання технічних вимог на складальну одиницю.

Спочатку базова деталь – вал (поз. 3) установлюється на опорний (поз. 16) і опорно-упорний (поз. 15) підшипники. Потім виконується шабрування втулок підшипників за розмірами шийок вала  $\varnothing 125^*$  і  $\varnothing 100^*$ . Шабрування виконують до появи блискучих точок, які з'являються на поверхнях отворів втулок при обертанні у них нефарбованих шийок вала. Якщо до роботи вала ставлять високі вимоги, то, крім шабрування, виконують притирання поверхонь вала і втулок. Спочатку притирають отвори втулок по спеціальному притиру – «фальшивому» валу, а закінчують цю роботу по робочому валу. Таке припасування забезпечує якість контакту вала з підшипниками. Підчас роботи цього вузла тепловіддача від вкладишів (бабіт Б83 ГОСТ 1320-74) до корпусу (поз. 14) не перевищує  $70^\circ \text{C}$  і виключає небезпеку плавлення підшипників.

Складання ротора починають з установлення вала 3 (див. рис. 6.1) опорними шийками на підшипники 15 і 16. У шпонковий паз вставляють шпонку 11, потім пресують зубчасту шестірню 4, роблять контроль розміру 0,1 мм, вкручують гвинт 13 та у трьох місцях його кернують. Далі вставляють дві шпонки 5, свердлять два отвори  $\varnothing 6,65$  мм і нарізають різь  $M8 \times 1,25$ , вкручують гвинти 12, пресують зубчасту втулку (креслення 295-27-02). Потім складання відбувається з другого кінця вала. Ставлять шпонку 9, пресують крильчатку 1, втулку лабіринтного ущільнювання 6, контролюють межі зміння розміру 0,1–0,5 мм ( $A_{12}=0(+0,5;+0,1)$  мм). Далі ставлять дві шпонки 8 і пресують робоче колесо 2, контролюють розмір  $A_0 = 8 \pm 2$  мм дистанційним кільцем (креслення 190Н-90-7СБ), а розмір  $A_2 = 1753 \pm 0,3$  мм – спеціальним шаблоном.

Якщо задані ТВ виконані, то ставиться шайба 10, і її вусики заводяться в один із отворів М24 маточини робочого колеса 2. Потім вкручується обтічник 7, причому ліска обтічника не повинна збігатися із вусиком шайби 10.

Схема складання ротора наведена на рисунку 6.2. За схемою складання заповнюємо технологічну карту складання (див. табл. 6.2).

### ***Розрахунок режиму складання втулки лабіринтного ущільнення з валом***

За переходом № 21 технологічного процесу складання ротора потрібно пресувати втулку лабіринтного ущільнення з валом та забезпечити натяг у з'єднанні  $\varnothing 100\text{H}7/\text{r}6$  (див. табл. 6.2). Складання відбувається за методом теплової дії. Втулку лабіринтного ущільнення гріють у масляній ванні індукційним пристроєм. Допустима температура нагріву  $[T] = 140^\circ\text{C}$ .

Спочатку розрахуємо натяг з'єднання  $\varnothing 100\text{H}7/\text{r}6(+ 0,035; 0/+0,073; + 0,051)$ , де  $ES = 35$  мкм;  $EI = 0$ ;  $E_c = 17,5$  мкм;  $T_0 = 35$  мкм;  $es = 73$  мкм;  $ei = 51$  мкм;  $e_c = 62$  мкм;  $T_B = 22$  мкм.

Далі визначимо найбільший  $N_{\max}$  і найменший  $N_{\min}$  натяги у з'єднанні:

$$N_{\max} = EI - es = 0 - 73 = -73 \text{ мкм},$$

$$N_{\min} = ES - ei = 35 - 51 = -16 \text{ мкм}.$$

Розсіювання  $t_\Sigma$  натягу визначається так:

$$t_\Sigma = N_{\max} - N_{\min} = -73 - (-16) = -57 \text{ мкм}.$$

Середнє значення натягу  $E_c N$  та імовірне розсіювання  $T_p$  натягу визначається за формулами [16]:

$$E_c N = E_c - e_c - 0,1(T_0 + T_B) = 17,5 - 62 - 0,1(35 + 22) = -50,2 \text{ мкм},$$

$$T_p = \left( \frac{1}{k_0} \right) \sqrt{T_0^2 + T_B^2} = \sqrt{35^2 + 22^2} = 41,34 \text{ мкм},$$

де  $k_0 = 1,0$  – коефіцієнт відносного розсіювання «натягу».

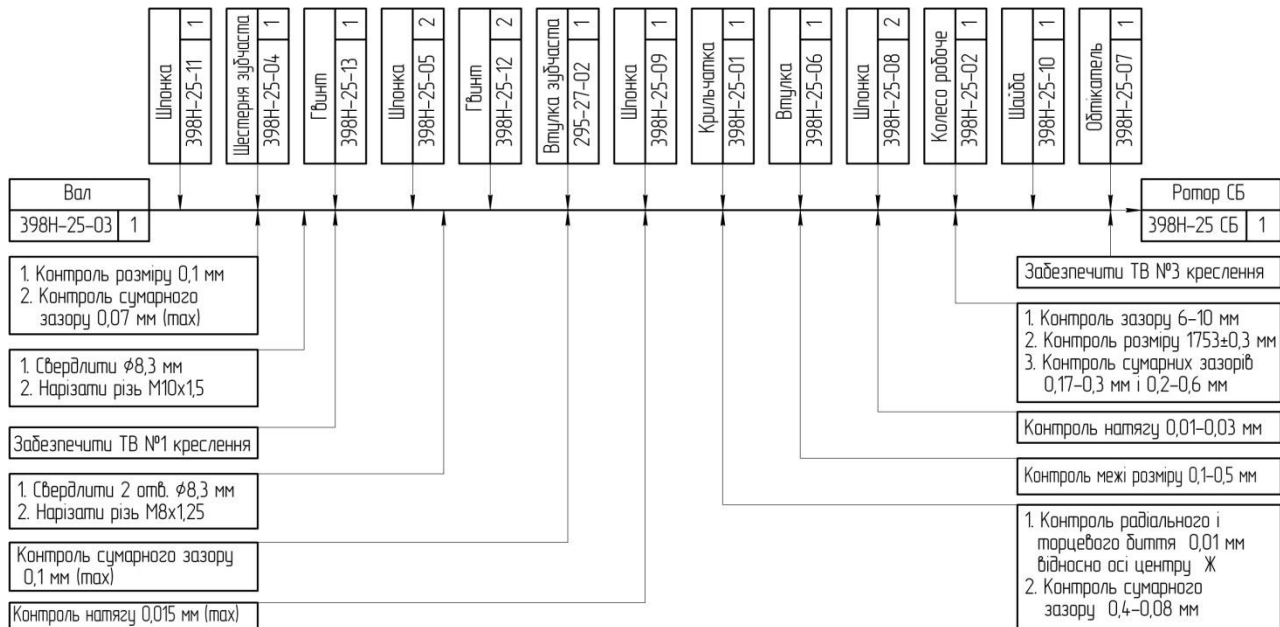


Рисунок 6.2 – Схема складання ротора (креслення 398H-25 СБ)

Таблиця 6.2 – Технологічна карта складання ротора

Но- мер пере- ходу	Зміст переходу	Інструмент		Обладнання і пристрої	Розряд робіт- ника	Норма штучно- го часу, хв
		різальний і монтажний	контрольно- вимірваль- ний			
1	2	3	4	5	6	7
1	Установити вал 3 Ø125 і Ø100 на опорний 16 і опорно-упорний 15 підшипники корпусу 14			Стационарний підвісний таль Q = 2 т ГОСТ 22584-77	3	2,4
2	Шабрувати поверхні втулок підшипників 15 і 16	Шабер механізований, ручний	Еталон шорсткості ГОСТ 2789-73; «фальшивий вал»	Важільно-шатунний механізм (пристрій для шабрування)	5	35
3	Пресувати шпонку 11 в паз вала 3, виконати натяг 12Н7/г6	Слюсарний молоток ГОСТ 2310-77Е; підкладка дерев'яна	Штангенциркуль ШЦ-0-125; 0,05 ГОСТ 166-89		3	0,59
4	Гріти зубчасту шестірню 4 до температури 137 °С		Термометр 100–200 °С ГОСТ 9871-75Е	Індукційний пристрій W = 100–150 кВА	4	25

Продовження таблиці 6.2

1	2	3	4	5	6	7
5	Транспортувати зубчасту шестірню від термопечі до робочого місця			Візок із пристроєм для піднімання вантажу $Q = 0,5$ т	2	1,2
6	З'єднати зубчасту шестірню 4 із валом 3; забезпечити посадку $\varnothing 125H7/s6$	Захват спеціальний	Набір щупів 0,01–0,1 мм		4	0,95
7	Свердлити отвір $\varnothing 8,3$ мм довжиною 22(+1; 0) мм	Свердло $\varnothing 8,3$ P6M5 2300-0198 ГОСТ 10902-72	Пробка $\varnothing 8,3$ ПР/НЕ ГОСТ 18358-73	Електрична свердлильна машина II класу захисту із подвійною ізоляцією; двигун типу КНД, модель ІЄ 1019А, $N = 340$ Вт	4	1,8
8	Нарізати різь $M10 \times 1,5$ довжиною $18 \pm 1$ мм	Мітчики № 1, № 2 $M10 \times 1,5$ H2 P6M5 ГОСТ 3266-81	Пробка нарізна $M10 \times 1,5$ ПР/НЕ ГОСТ 18924-73	Електрична різьнарізна ручна машина моделі СП-3401, $N = 0,4$ кВт	4	1,8
9	Закрутити гвинт 13 до упору різі	Викрутка слюсарно-монтажна, тип I ГОСТ 24437-80			2	0,23

Продовження таблиці 6.2

1	2	3	4	5	6	7
10	Стопорити гвинт 13; кернувати його у трьох місцях	Керн d = 2 мм ГОСТ 7213-72			2	0,1
11	Пресувати дві шпонки 5 у пази вала 3; забезпечити посадку з натягом 32N9/h9	Слюсарний молоток ГОСТ 2310-77Е; підкладка дерев'яна	Штангенциркуль ШЦ-0-125; 0,05 ГОСТ 166-89		3	3
12	Свердлити два отвори Ø6,65 мм довжиною 29 мм	Свердло Ø6,65 Р6М5 2300-0198 ГОСТ 10902-72	Пробка Ø6,65 ПР/НЕ ГОСТ 18358-73	Електрична свердлильна машина II класу захисту із подвійною ізоляцією; двигун типу КНД, модель ИС 1019А, N = 340 Вт	4	3,6
13	Нарізати дві різі М8×1,25 довжиною 14 мм	Мітчики № 1, № 2 М8×1,25 Н2 Р6М5 ГОСТ 3266-81	Пробка нарізна М8×1,25 ПР/НЕ ГОСТ 18924-73	Електрична різенарізна ручна машина моделі СП-3401, N = 0,4 кВт	4	3,6
14	Закрутити два гвинти 12 до упору різі	Викрутка слюсарно- монтажна, тип I ГОСТ 24437-80			2	0,49

Продовження таблиці 6.2

1	2	3	4	5	6	7
15	Транспортувати втулку зубчасту (креслення 295-27-02) з термопечі до робочого місця			Візок із пристроєм для піднімання вантажу $Q = 0,75$ т	2	1,2
16	Установити втулку зубчасту (креслення 295-27-02) на вал 3; забезпечити посадку $\varnothing 120$ Н7/г6	Захват спеціальний	Набір щупів 0,01–0,1 мм		4	1,3
17	Пресувати шпонку 9 в паз вала 3, забезпечити посадку з найбільшим натягом 0,015 мм	Слюсарний молоток ГОСТ 2310-77Е; підкладка дерев'яна	Штангенциркуль ШЦ-0-125; 0,05 ГОСТ 166-89		3	0,55
18	Транспортувати крильчатку 1 від термопечі до робочого місця (час перенесення 50–80 с)			Візок із пристроєм для піднімання вантажу $Q = 0,75$ т	2	1,2
19	Установити крильчатку 1 на вал; забезпечити посадку $\varnothing 100$ Н7/с6	Захват спеціальний	Набір щупів 0,01–0,1 мм		4	0,95
20	Транспортувати втулку лабіринтного ущільнювання 6 з термопечі до робочого місця (час перенесення 50-80 с)			Візок із пристроєм для піднімання вантажу $Q = 0,75$ т	2	1,2



Продовження таблиці 6.2

1	2	3	4	5	6	7
21	Установити втулку лабіринтного ущільнювання 6 на вал 3; забезпечити посадку $\varnothing 100 \text{ H7/r6}$ і зазор $0,1-0,5 \text{ мм}$	Захват спеціальний	Набір щупів $0,01-0,1 \text{ мм}$		4	0,6
22	Пресувати дві шпонки 8 у пази вала 3; забезпечити натяг $24\text{H9/n8}$	Слюсарний молоток ГОСТ 2310-77Е; підкладка дерев'яна	Штангенциркуль ШЦ-0-125; $0,05$ ГОСТ 166-89		3	2,8
23	Транспортувати робоче колесо 2 з термопечі до робочого місця (час перенесення $50-80 \text{ с}$ )			Візок із пристроєм для піднімання вантажу $Q = 0,75 \text{ т}$	2	1,2
24	Установити колесо 2 на вал 3; забезпечити посадку $\varnothing 98, 6\text{H7/n6} \text{ мм}$	Захват спеціальний	Набір щупів $0,01-0,1 \text{ мм}$		4	2,6
25	Контроль розмірів $A_0 = 8 \pm 2 \text{ мм}$ і $A_2 = 1753 \pm 0,3 \text{ мм}$		Кільце (креслення 190Н-90-7СБ); шаблон спеціальний $1 = 2000 \text{ мм}$ (ціна поділки $0,1 \text{ мм}$ )		5	1,8

Продовження таблиці 6.2

1	2	3	4	5	6	7
26	Установити стопорну шайбу 10 на вал 3				4	0,22
27	Закрутити обтічник 7; забезпечити незбіг ліски обтічника із вусиком шайби 10; завести вусик шайби 10 в один із отворів М24 маточини робочого колеса 2	Вороток $\varnothing 15$ ; $l = 300$ мм спеціальний. Слюсарний молоток ГОСТ 2310-77Е			3	0,42
Загальна трудомісткість складання ротора						95,8

Найбільший  $N_{\max}$  і найменший  $N_{\min}$  імовірні натяги визначаються за формулами:

$$N_{p \max} = E_c N - 0,5 T_p = -50,2 - 0,5 \cdot 41,34 = -70,87 \text{ мкм} \approx -71 \text{ мкм};$$

$$N_{p \min} = E_c N + 0,5 T_p = -50,2 + 0,5 \cdot 41,34 = -29,53 \text{ мкм} \approx -29 \text{ мкм}.$$

Далі визначимо силу пресування  $P[H]$ , яка повинна забезпечити з'єднання цих деталей, за формулою

$$P = f \pi d L p_0,$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя (зчеплення) поздовжнього зміщення сталевих деталей;  $f = 0,08-0,1$  [16];

$d$  – номінальний діаметр з'єднання, мм;  $d = 100$  мм;

$L$  – довжина з'єднувальних поверхонь, мм;  $L = 60$  мм;

$p_0$  – тиск на поверхні контакту з'єднувальних поверхонь вала та втулки, який виникає під дією натягу  $N$ , МПа.

Тиск  $p_0$  визначається за формулою [16]:

$$p_0 = \frac{E_c N \cdot 10^{-3}}{d \left( \frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right)},$$

де  $E_c N$  – середнє значення натягу, мкм;  $E_c N = 50,2$  мкм,

$$C_1 = \frac{d^2 + d_1^2}{d^2 - d_1^2} - \mu_1 = \frac{100^2 + 0^2}{100^2 - 0^2} - 0,3 = 0,7;$$

$$C_2 = \frac{d_2^2 + d^2}{d_2^2 - d^2} + \mu_2 = \frac{138^2 + 100^2}{138^2 - 100^2} + 0,3 = 3,5$$

$C_1, C_2$  – безрозмірні коефіцієнти для втулки і вала відповідно;

$E_1 = E_2 = 2,1 \cdot 10^5$  МПа – модулі пружності матеріалів відповідно втулки і вала;

$\mu_1 = \mu_2 = 0,3$  – коефіцієнти Пуассона матеріалів, відповідно втулки і вала;

$d_1$  – діаметр порожнистого вала (для суцільного вала  $d_1 = 0$ );

$d_2 = 138$  мм – діаметр втулки лабіринтного ущільнювання.

Тоді

$$p_0 = \frac{50,2 \cdot 10^{-3}}{100 \left( \frac{0,7}{2,1 \cdot 10^5} + \frac{3,5}{2,1 \cdot 10^5} \right)} \approx 25 \text{ МПа}.$$

Сила пресування визначається за формулою

$$P = 0,1 \cdot 3,14 \cdot 100 \cdot 60 \cdot 25 = 47,1 \text{ кН}.$$

При пресуванні збільшується діаметр захоплювальної деталі ( $\Delta d_2$ ), тобто діаметр втулки лабіринтного ущільнювання. Зростання діаметра визначається за формулою [5]:

$$\Delta d_2 = \frac{2p_0 \cdot d_2 \cdot d^2 \cdot 10^3}{E_2(d_2^2 - d^2)} = \frac{2 \cdot 25 \cdot 138 \cdot 100^2 \cdot 10^3}{2,1 \cdot 10^5 (138^2 - 100^2)} \approx 0,363 \text{ мкм}.$$

Зростання діаметра приблизно дорівнює 0,4 мкм, що порівняно з допуском (400 мкм) є величиною незначною. Це зростання у розрахунках можна не враховувати.

Визначимо температуру і час нагрівання з'єднаних деталей.

Під час нагрівання втулки відбувається збільшення її діаметра  $\Delta d$  посадочної поверхні. Це зростання визначається за

формулою [5]:

$$\Delta d = N_{\max} + i,$$

де  $i = 12$  мкм – гарантований зазор, який забезпечує потрібне з'єднання при складанні (рекомендується брати мінімальне значення зазору посадки  $\varnothing 100H7/g6$ ).

Тоді  $\Delta d = 73 + 12 = 85$  мкм.

Температура нагрівання  $T_B$ , яка повинна бути на початку з'єднання втулки лабіринтного ущільнювання з валом, визначається за формулою

$$T_B \geq \frac{\Delta d \cdot 10^{-3}}{\alpha \cdot d} = \frac{85 \cdot 10^{-3}}{1,2 \cdot 10^{-6} \cdot 100} = 70,8 \text{ } ^\circ\text{C},$$

де  $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу втулки лабіринтного ущільнювання.

У разі перенесення деталі із нагрівального пристрою на складальну позицію неминуче її охолодження. Визначимо температуру  $T_A$ , яку повинна мати деталь на початку вивантаження із нагрівального пристрою:

$$T_A = T + \frac{T_B - T}{e^{-kt}},$$

де  $T$  – температура повітря,  $^\circ\text{C}$ ; беремо  $T = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;

$k$  – показник, який визначається експериментальним шляхом і залежить від розмірів та конфігурації деталі, її матеріалу і методу нагрівання. За даними роботи [16]  $k = 0,78$ ;

$t$  – час перенесення деталі із нагрівального пристрою на складальну позицію; беремо  $t = 1,2$  хв (див. табл. 6.2);

$e = 2,72$  – основа логарифма.

Тоді

$$T_A = 20 \text{ }^\circ\text{C} + \frac{70,8 \text{ }^\circ\text{C} - 20 \text{ }^\circ\text{C}}{2,72^{-(0,781,2)}} = 130 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Температура нагрівання  $T_A = 130 \text{ }^\circ\text{C} < [T] = 140 \text{ }^\circ\text{C}$ , що визначена технічними вимогами складального з'єднання. Таким чином, потрібні технічні норми точності складання втулки лабіринтного ущільнювання із валом виконуються, і режим з'єднання розрахований правильно.

## 6.2 Розроблення технологічного процесу складання двоходового крана

### *Службове призначення двоходового крана*

Двоходовий кран поширено використовується у нафтогазовому виробництві народного господарства.

Розвиток нафтогазового комплексу України потребує виготовлення надійних і якісних виробів гідравлічної та пневматичної апаратури. Одним із таких виробів є двоходовий кран, який встановлюється на трубопроводах із перекачування газу або рідини (див. рис. 6.3). Основна вимога, яка належить до службового призначення двоходового крана, – це його герметичність (відсутність витoku газу або рідини). Вона повинна зберігатися весь період експлуатації виробу. В конструкції виробу ця вимога реалізується двома конічними виконавчими поверхнями корпусу 1 і пробки 2.

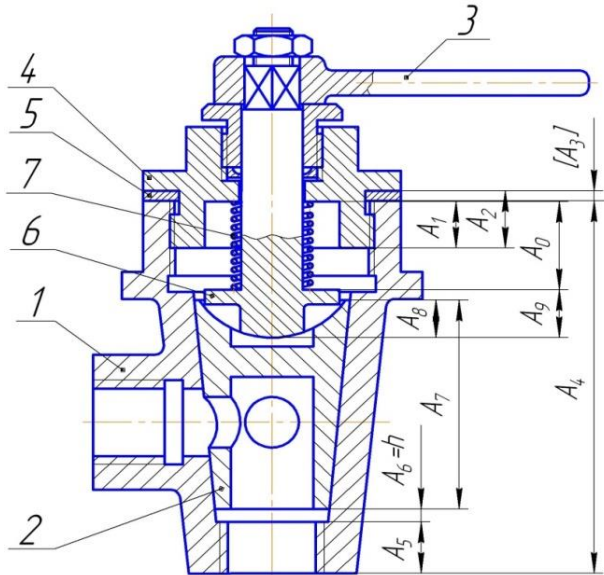


Рисунок 6.3 – Складальне креслення двоходового крана і його РЛ

Газ або рідина надходить із нижнього отвору в кран і далі розподіляється по двох трубопроводах. Щоб змінити площу перерізу прохідних отворів у разі перерозподілу газу або рідини, потрібно ручкою 3 зробити оберт на деякий кут пробки 2. При обертанні конічної поверхні пробки 2 по конічній поверхні корпусу 1 треба забезпечити герметичність і виключити потрапляння газу або рідини між названими поверхнями. Для дотримання цієї вимоги конічні поверхні корпусу 1 і пробки 2 на стадії технологічного процесу складання притирають. У конструкції крана між кришкою 4 і корпусом 1 передбачена прокладка 5. Якщо змінювати розмір (товщину) прокладки 5, то можна забезпечити потрібну посадку конічних поверхонь корпусу та пробки і задовольнити вимогу герметичності з'єднання. Ключ 6 має виступи, які розміщуються у пазах пробки 2 і передають їй крутний момент. Пружина 7 установлюється для надійного контакту виконавчих поверхонь пробки 2 і корпусу 1.

### ***Аналіз технічних вимог і норм точності виробу***

Аналіз конструкції двоходового крана виявив ряд вимог, за якими досягається потрібна герметичність деталей виробу.

***Перша вимога*** потребує призначення точності розмірів і форм сполучуваних поверхонь, яка повинна бути забезпечена на стадії складання. У виробничих умовах потрібна посадка конічних поверхонь не розраховується, а призначається згідно з досвідом експлуатації подібних виробів у промисловості. Потрібна вимога забезпечується окремою обробкою конічних поверхонь пробки і корпусу проміжним інструментом – притиром, а потім сумісним притиранням сполучуваних поверхонь. Відсутність аналізу конструкції збільшує трудомісткість оздоблювального етапу виготовлення виробу. Виконання перевірного розрахунку дійсної величини допуску конічної ланки  $h$  (див. рис. 6.4) дозволить спростити висунуту вимогу.



Для розв'язання завдання потрібно побудувати РЛ, за яким визначаються розмірні зв'язки в конструкції виробу. Розрахунок РЛ дозволить обґрунтувати метод досягнення точності виробу, який було вибрано конструктором, а також точність розмірів технологічного оснащення, вимірювальних пристроїв, допусків на робочих кресленнях деталей двоходового крана.

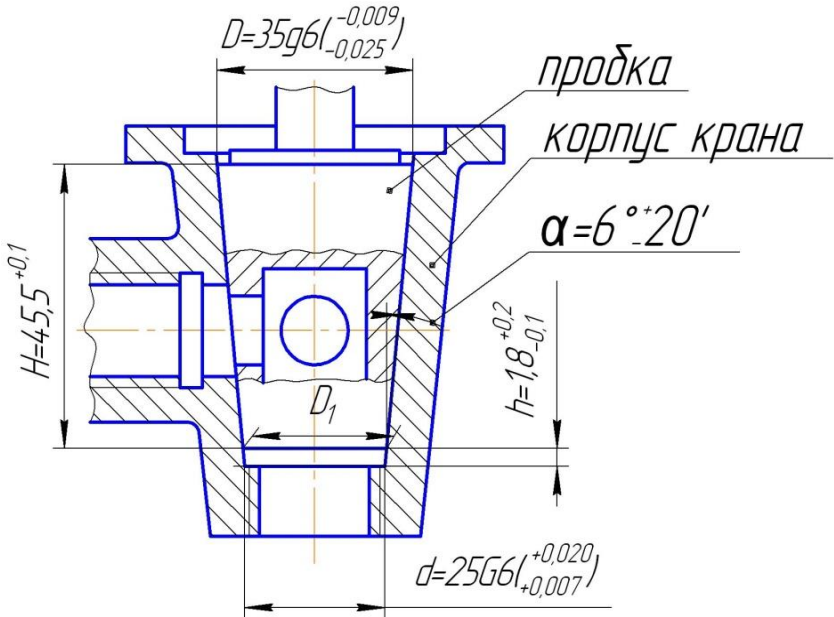


Рисунок 6.4 – Схематизоване креслення вузла корпусу крана з пробкою

Умова завдання: «Забезпечити при складанні кінцевий розмір  $h = 1,8(+0,2; -0,1)$  мм» (див. рис. 6.4).

Першою дією є виконання перевірного розрахунку дійсної величини допуску кінцевої ланки  $h$ .

Розрахований допуск  $T_h$  потрібно порівняти із допуском креслення, а саме перевірити правильність розмірів кінцевих поверхонь пробки і корпусу.

За схемою РЛ складемо рівняння номінальних значень розмірів (див. рис. 6.5).

$$h = \frac{D_1 - d}{2 \tan \alpha}. \quad (6.5)$$

Діаметр  $D_1$  (1) можна визначити із детального РЛ пробки (див. рис. 6.6).

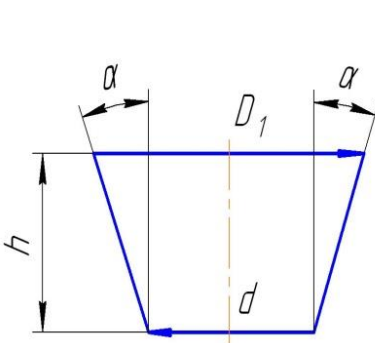


Рисунок 6.5 – РЛ вузла

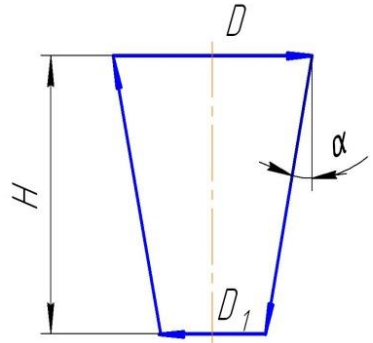


Рисунок 6.6 – Детальний РЛ пробки

$$D_1 = D - 2H \tan \alpha. \quad (6.6)$$

Розрахований діаметр  $D_1$  (6.6) підставимо у рівняння (6.5) і визначимо кінцеву ланку  $h$ :

$$h = \frac{D - d}{2 \tan \alpha} - H.$$

Визначимо коефіцієнти зведення складових ланок:

$$\frac{\partial h}{\partial H} = 1, \quad \frac{\partial h}{\partial D} = \frac{1}{2 \tan \alpha} = \frac{1}{2 \tan 6^\circ} = 4,757,$$

$$\frac{\partial h}{\partial d} = -\frac{1}{2 \tan \alpha} = -\frac{1}{2 \tan 6^\circ} = -4,757.$$

Кут  $\alpha$  має постійне значення, тому що технологічний процес виготовлення конічних поверхонь пробки і корпусу забезпечує дуже малі відхилення їх кутів у межах усього обсягу партії деталей.

Визначимо середні значення складових ланок (розміри, які відповідають середині поля допуску):

$$E_c D = \frac{E_s D + EID}{2} = \frac{34,991 + 34,975}{2} = 34,983 \text{ мм}$$

$$E_c d = \frac{ESd + Eid}{2} = \frac{25,020 + 25,007}{2} = 25,0135 \text{ мм}$$

$$E_c H = \frac{ESH + EIH}{2} = \frac{45,6 + 45,5}{2} = 45,55 \text{ мм}$$

Визначимо середнє значення кінцевої ланки:

$$E_c h = \frac{E_c D - E_c d}{2 \tan \alpha} - E_c H =$$

$$= \frac{34,983 - 25,0135}{2 \tan 6^\circ} - 45,55 = 1,879 \text{ мм.}$$

Визначимо допуск  $Th$  кінцевої ланки за формулою [1]:

$$Th' = \left| \frac{\partial h}{\partial D} \right| TD + \left| \frac{\partial h}{\partial d} \right| Td + \left| \frac{\partial h}{\partial H} \right| TH =$$

$$= 4,757 \cdot 0,016 + 4,757 \cdot 0,013 + 1 \cdot 0,1 = 0,238 \text{ мм.}$$

Візьмемо симетричне розміщення допуску відносно середнього розміру  $E_c h$  і визначимо його граничні відхилення за формулами:

$$Esh = E_c h + \frac{Th}{2} = 1,879 + \frac{0,238}{2} = 1,998 \text{ мм}$$

$$Elh = E_c h - \frac{Th}{2} = 1,879 - \frac{0,238}{2} = 1,76 \text{ мм}$$

Таким чином, можна записати

$$h = 1,8_{-0,040}^{+0,198} \text{ мм.}$$

Порівняємо розраховане значення кінцевої ланки  $h = 1,8(+0,198; -0,040)$  мм із вихідною умовою  $h = 1,8(+0,2; -0,1)$  мм і визначимо, що розрахований допуск не виходить за граничні відхилення допуску за кресленням. Таким чином, точність розмірів  $D$ ,  $d$ ,  $H$ , заданих конструктором, забезпечить службове призначення виробу.

**Вибір методу досягнення другої норми точності виробу**

**Друга вимога**, яка виникає при складанні конструкції

двоходового крана, це забезпечення потрібної сили  $P = 5(+0,5; -0,5)$  Н, стисненої до розміру пружини  $55(+0,15; -0,15)$  мм на пробку в процесі експлуатації виробу [2; 3].

Наведені параметри є вихідними (задані конструктором) і повинні бути забезпечені в процесі складання виробу.

Для вирішення цієї вимоги складемо РЛ, де замикальною ланкою є розмір стиснутої пружини  $A_0 = 55(+0,15; -0,15)$  мм, а складальними ланками – розміри деталей виробу.

Конструкцією виробу передбачена спеціальна деталь (прокладка), яка безпосередньо впливає на точність замикальної ланки  $A_0$  і може бути ланкою-компенсатором при розрахунку РЛ методом регулювання (див. рис. 6.3).

Побудуємо РЛ для замикальної ланки  $A_0$  і визначимо кількість збільшувальних і зменшувальних ланок (див. рис. 6.7):

$$A_0 = A_1 - A_2 + A_3 + A_4 - A_5 - A_6 - A_7 + A_8 - A_9, \quad (6.7)$$

де  $A_1, A_3, A_4, A_8$  – збільшувальні ланки;

$A_2, A_5, A_6, A_7, A_9$  – зменшувальні ланки.

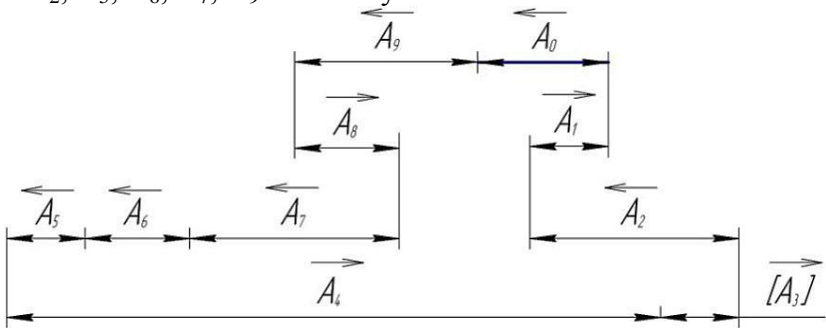


Рисунок 6.7 – РЛ двоходового крана

Запишемо у таблицю (див. табл. 6.3) номінальні розміри ланок, їх допуски та граничні відхилення, висловимо потрібний коментар.

Щоб забезпечити допуск  $\Delta A_0 = 0,3$  мм замикальної ланки  $A_0$ , потрібно одну із ланок РЛ зробити регульованою. На усі ланки РЛ, крім ланки-компенсатора, призначені легко здійсненні допуски згідно із середньоекономічною точністю методів

Таблиця 6.3 – Розміри ланок для розрахунку  $R_I$ 

Позначення ланки $A_{ij}$	Квалітет точності	Номінальний розмір ланки $A_{ij}, \text{мм}$	Допуск ланки $\Delta A_{ij}, \text{мм}$	Координата середньої поля допуску ланки $E_{cA_{ij}}, \text{мм}$	Верхнє відхилення ланки $ESA_{ij}, \text{мм}$	Нижнє відхилення ланки $EIA_{ij}, \text{мм}$	Коментар
$A_0$	-	55	300	0	+150	-150	Довжина пружини у стиснутому стані
$A_1 = B_1$	Is12	15	180	0	+90	-90	Розмір виймки кришки
$A_2 = B_2$	Is12	36	250	0	+125	-125	Висота різі кришки
$[A_3, J]^* = B_0$	h7*	3*	10*	-5*	0*	-10*	Товщина прокладки (розмір ланки-компенсатора)
$A_4 = B_3$	h12	140	400	-200	0	-400	Довжина корпусу
$A_5 = B_4$	h12	20	210	-105	0	-210	Товщина дна корпусу
$A_6 = B_5$	-	1,8	300	+50	+200	-100	Розмір кінцевої ланки $h$
$A_7 = B_6$	h10	45,5	100	+50	+100	0	Довжина пробки
$A_8 = B_7$	Is12	20,3	210	0	+105	-105	Розмір виймки пробки під ключ
$A_9 = B_8$	h12	20	210	-105	0	-210	Розмір ключа
$B_9$	-	55	50	-25	0	-50	Розмір еталона
$B_{10}$	-	0	200	0	+100	-100	Похибка установки еталона

\* Дані ланки-компенсатора  $[A_3, J]$  які внесені в таблицю після розрахунку  $R_I$

механічної обробки [2]. Потрібна точність замикальної ланки буде забезпечена набором прокладок однакової або різної товщини.

Із рівняння (6.7) визначимо номінальний розмір ланки-компенсатора  $[A_3]$ :

$$[A_3] = A_0 - A_1 + A_2 - A_4 + A_5 + A_6 + A_7 - A_8 + A_9 = 55 - 15 + 36 - 140 + 20 + 1,8 + 45,5 - 20,3 + 20 = 3 \text{ мм.}$$

Для визначення точності  $A_0$  методом регулювання потрібно передчасно зібрати корпус 1, пробку 2, ключ 6 та еталон 8. Останній імітує пружину у стисненому стані (див. рис. 6.8). Потім потрібно виміряти зазор  $B_0 = [A_3]$  і згідно з його значенням визначити розмір компенсатора, який при кінцевому складанні крана компенсує похибку замикальної ланки  $A_0$ .

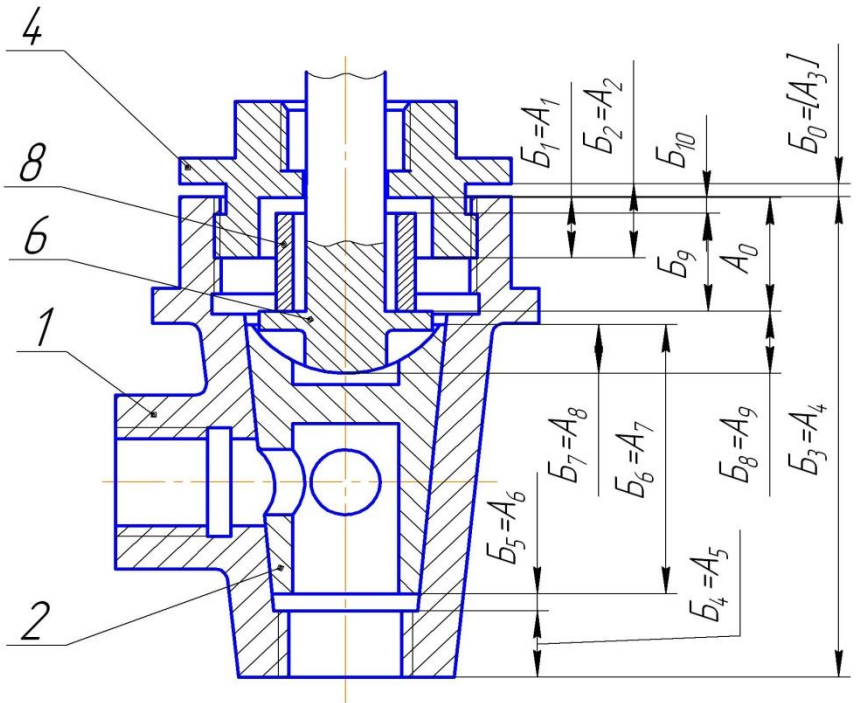


Рисунок 6.8 – РЛ, за яким визначається зазор  $B_0$

Точність  $A_0$  залежить від точності виготовлення еталона

ТБ<sub>9</sub>, точності його установлення ТБ<sub>10</sub>, точності вимірювання зазору ТБ<sub>0</sub> між корпусом і кришкою, точності виготовлення компенсатора Тω і не залежить від точності складових ланок РЛ «А» (див. формулу 6.7).

Значення ТА<sub>0</sub> = 0,3 мм допускає відхилення розмірів еталона ТБ<sub>9</sub> = 0,05 мм, похибку установлення еталона ТБ<sub>10</sub> = 0,2 мм, точність вимірювання зазору ТБ<sub>0</sub> = 0,01 мм, точність виготовлення компенсатора Тω = 0,01 мм (7-й квалітет точності).

Таким чином,

$$ТА_0 = 0,3 \text{ мм} > ТБ_9 + ТБ_{10} + ТБ_0 + Т\omega = 0,05 + 0,2 + 0,01 + 0,01 = 0,27 \text{ мм.}$$

Визначені дані запишемо у таблицю 6.3.

Розміри компенсаторів та їх кількість визначаються розв'язанням РЛ «Б» (див. рис. 6.8):

$$B_0 = B_2 - B_1 - B_3 + B_4 + B_5 + B_6 - B_7 + B_8 + B_9 + B_{10},$$

де  $B_1 = A_1$ ;  $B_2 = A_2$ ;  $B_3 = A_4$ ;  $B_4 = A_5$ ;  $B_5 = A_6$ ;  $B_6 = A_7$ ;  $B_7 = A_8$ ;  $B_8 = A_9$ ;

$B_9$  – розмір еталона;

$B_{10}$  – похибка установлення еталона.

Методом регулювання точність ТА<sub>0</sub> забезпечується побічним шляхом і залежить від відповідності розміру компенсатора дійсному значенню зазору Б<sub>0</sub> і некомпенсуючих ланок Б<sub>9</sub> і Б<sub>10</sub>.

Очікувана похибка замикальної ланки Т'Б<sub>0</sub> визначається за формулою

$$T' B_0 = \sum_{i=1}^{10} T B_i = 180 + 250 + 400 + 210 + 300 + 100 + 210 + 210 + 50 + 200 = 2110 \text{ мкм.}$$

Значення  $T'B_0=2110$  мкм повинно перевищувати  $TB_0=10$  мкм, тобто  $T'B_0>TB_0$ . Потрібна компенсація досягається прокладкою, допуск якої дорівнює похибки методу її обробки (метод компенсації). Допуск методу компенсації  $T_{mk}$  не повинен перевищувати допуск замикальної ланки  $TB_0$  ( $T_{mk} \leq TB_0$ ). Беремо  $T_{mk} = 10$  мкм =  $T[A_3]$  і ці дані запишемо в таблицю 6.3 (див. графу табл. 6.3 з позначкою \*).

Потрібна величина компенсації  $K$  визначається за формулою

$$K = T'B_0 - TA_0 + T_{mk} = 2110 - 300 + 10 = 1820 \text{ мкм.}$$

Визначимо координату середини поля компенсації  $E_cK$ :

$$E_cK = \pm(E'B_0 - E_cB_0) = \pm\left(\sum_{i=1}^n E_cB_i - \sum_{j=1}^K E_cB_j - E_cB_0\right),$$

де  $i$  – збільшувальні, а  $j$  – зменшувальні ланки РЛ.

Значення середніх розмірів беремо із таблиці 6.3, а також беремо знак « $\leftarrow$ » перед дужкою, визначимо  $E_cK = -60$  мкм [4].

Розмір компенсаційної прокладки визначаємо за формулою

$$A_k = B_0 = [A_3] + E_cK \pm \frac{K}{2} = 3 - 0,06 \pm \frac{1,82}{2} = (2,49 \pm 0,91) \text{ мм.}$$

За розрахованими даними  $ESB_0 = +0,91 > 0$ , а  $EIB_0 = -0,91 < 0$ . Потрібно виключити випадок, коли  $EIB_0 < 0$ . Для цього необхідно змінити номінальний розмір будь-якої складової ланки, наприклад,  $B_3 = A_4 = 140$  мм.

Нове номінальне значення визначатиметься за формулою

$$B'_3 = A'_4 = A_4 - EIB_0 = 140 - 0,91 = 139,09 \text{ мм.}$$

У цьому випадку на величину  $EIB_0 = 0,91$  мм буде зсунута середина поля розсіювання очікуваної похибки замикальної ланки. Таким чином, компенсація величини  $K$  забезпечується тільки потрібною кількістю прокладок.

Розмірний аналіз РЛ визначив, що компенсацію краще виконувати набором прокладок різної товщини. Найбільша сумарна величина всіх прокладок дорівнює  $ESA_k = 3,85$  мм. Візьмемо крок компенсації, кратний допуску  $TB_0$ . Тоді розміри



товщини прокладок будуть мати такі значення:

$$S_3 = 2S_2 = 2 \cdot 0,02 = 0,04 \text{ мм}; S_4 = 2S_3 = 2 \cdot 0,04 = 0,08 \text{ мм};$$

$$S_5 = 2S_4 = 2 \cdot 0,08 = 0,16 \text{ мм}; S_6 = 2S_5 = 2 \cdot 0,16 = 0,32 \text{ мм};$$

$$S_7 = 2S_6 = 2 \cdot 0,32 = 0,64 \text{ мм}; S_8 = 2S_7 = 2 \cdot 0,64 = 1,28 \text{ мм};$$

$$S_9 = 2S_8 = 2 \cdot 1,28 = 2,56 \text{ мм}.$$

Розмір останньої (дев'ятої) прокладки  $S_9 = 2,56$  мм повинен перевищувати  $ESA_k/2 = 3,85/2 = 1,925$  мм – половину товщини змінних прокладок. Найбільша товщина прокладок, яка є інтервалом регулювання, визначається за формулою

$$S_{\Sigma} = (2^z - 1) \cdot TB_0 = (2^9 - 1) \cdot 0,01 = 5,11 \text{ мм} \geq 3,85 \text{ мм},$$

де  $Z = 9$  – кількість прокладок у наборі.

У межах інтервалу регулювання можна одержувати розміри компенсатора через кожні 0,01 мм шляхом різного сполучення дев'яти прокладок різної товщини.

Таким чином, розмірний аналіз конструкції крана дозволив на початковому етапі виробництва обґрунтувати вибір методу досягнення точності виробу для виконання ним службового призначення безпосередньо.

Розрахунок РЛ дозволив чітко визначити вимоги конструктора до роботи виробу, точність розмірів у робочих кресленнях деталей, технологічного оснащення, вимірювальних пристроїв.

Виконання розмірного аналізу конструкції крана дозволяє на етапі конструкторської і технологічної підготовки виробництва виключити недоліки, що виникають під час проектуванні оптимального технологічного процесу складання, а також знизити трудомісткість механоскладальних операцій.

### 6.3 Розроблення технологічного процесу складання механізму перемикання швидкості

#### *Визначення фонду часу та розрахунки, пов'язані з обсягом випуску*

Вузол «механізм перемикання швидкості МЧ00.54.00.00 СБ є частиною комбайна, який містить гідравлічний циліндр уставлений в отвір кришки 1 (див. рис. 6.9). Гідроциліндр складається з корпусу 3, кришки 6, штока 4, який виготовлений як одне ціле з поршнем. Корпус, кришка і шток мають ущільнювальні гумові кільця 11, 15 і 16, що забезпечують герметичність складальної одиниці виробу. Масло до гідравлічного циліндра надходить із двох нарізних отворів корпусу 3. Шток 4 шарнірно з'єднаний віссю 5 ізвилкою 2. Вилка 2 розміщена на поверхні (шліці) валика 8. Якщо обертати валик 8 ключем через чотиригранник (вид А), то можна вмикати і вимикати блок-шестірню у ручному режимі. У разі подання масла в гідравлічний циліндр через нарізні отвори, шток 4 буде здійснювати зворотно-поступальний рух вилки 2, яка також вмикає та вимикає блок-шестірню.

Дійсний річний фонд часу  $F_d$  роботи працівників залежно від обраного режиму роботи (однозмінна, двозмінна) визначається за таблицею 6.4.

Таблиця 6.4 – Дійсний (розрахунковий) річний фонд часу роботи працівників

Тривалість робочого тижня, год.	Тривалість основної відпустки, дн.	Номинальний річний фонд часу $F_n$ , год.	Відсоток втрат від номінального фонду $\Pi$ , %	Дійсний річний фонд часу роботи працівника $F_d$ , год.
40	15	2045	10	1840
40	18	2045	11	1820
40	24	2045	12	1800

При тривалості робочого дня 40 годин, тривалості основної відпустки 24 робочих дні, номінальний річний фонд часу становить  $F_n = 2045$  годин. Відсоток втрат становить  $\Pi = 12\%$ ,

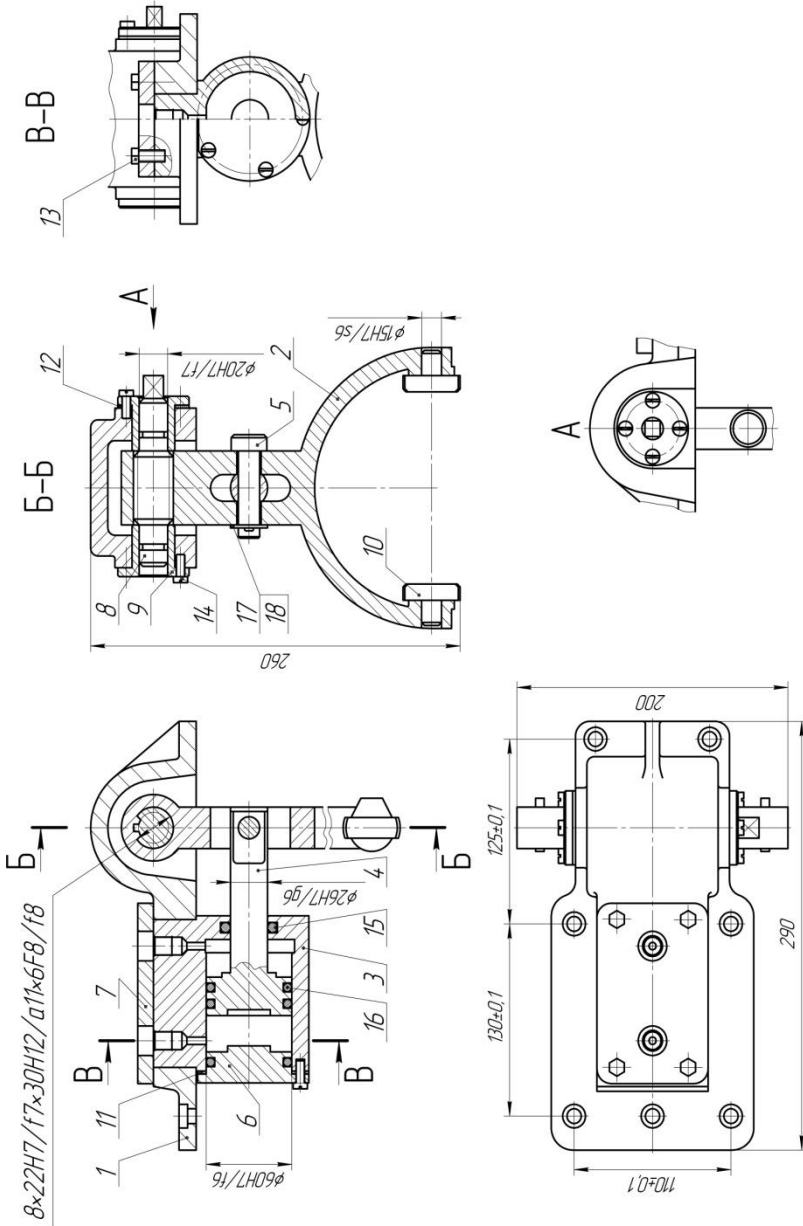


Рисунок 6.9 – Механізм перемикання швидкості МЧ00.54.00.00 СБ

тоді дійсний річний фонд  $F_D=1800$  годин. Беремо двозмінний режим роботи, 40-годинний робочий тиждень із двома вихідними днями.

Далі визначаємо дійсний фонд роботи обладнання  $F_{до}$  (у годинах) з округленням при 40-годинному робочому тижні за формулою

$$F_{до} = [(365 - 104 - C) \cdot 8] \cdot m \cdot \left(1 - \frac{M}{100}\right),$$

де 365 – кількість календарних днів за 1 рік, дн.;

104 – кількість вихідних днів (субот та неділь) за 1 рік, дн.;

$C = 9$  дн. – кількість святкових днів за поточний рік (встановлюється за даними Кабінету Міністрів України);

8 – тривалість робочого дня (при 40 годинах роботи за 1 тиждень та за двома вихідними днями), год.;

$m = 2$  – кількість змін роботи обладнання;

$M = 4\%$  – витрата часу на ремонт, обслуговування та налагоджування обладнання.

Витрата часу  $M$  залежать від категорії складності ремонту обладнання, виду технологічної лінії (див. табл. 6.5).

Таблиця 6.5 – Рекомендації щодо вибору показників для розрахунку дійсного фонду роботи обладнання

Назва обладнання	Кількість змін на 1 добу	Відсоток втрат часу $M$ , %
Обладнання з категорією ремонтної складності менше 30	1	2
	2	3
	3	4
Обладнання з категорією ремонтної складності більше 30	1	3
	2	6
	3	10
Автоматичні лінії	2	10
	3	15
Поточні лінії	2	4
Робочі місця без обладнання (верстати, столи)	2	-
	3	-

Дійсний фонд роботи обладнання при двозмінному режимі роботи становить

$$F_{\text{до}} = [(365 - 104 - 9) \cdot 8] \cdot 2 \cdot \left(1 - \frac{4}{100}\right) = 3871 \text{ год.}$$

Виходячи із заданого річного обсягу випуску виробів  $N = 40000$  шт., визначається місячний обсяг виробів  $N_{\text{м}} = N/12 = 40000/12 = 3334$  шт., де 12 – кількість місяців у році.

Такт випуску  $T$  (у хвиликах) виробів із ділянки складання визначається за формулою

$$T = \frac{F_{\text{до}} \cdot 60}{N} = \frac{3871 \cdot 60}{40000} = 5,8 \text{ хв.}$$

Розрахований місячний обсяг порівняємо із аналогічним показником, наведеним у таблиці 1.2. Для цього визначимо трудомісткість складання виробу. Трудомісткість складання комбайна приблизно становить 126 годин. Згідно з таблицею 6.6 трудомісткість складання виробів у автомобілебудуванні становить  $126 \cdot 20/100 = 25,2$  години.

Таблиця 6.6 – Витрати часу на складальні роботи у різних галузях машинобудування

Галузь машинобудування	Відсоток від загальної трудомісткості виготовлення машин та приладів (приблизно)
Важке машинобудування	30–35
Середнє машинобудування	40–60
Верстатобудування	25–30
Автомобілебудування	18–20
Приладобудування	40–45

Трудомісткість складання механізму перемикання швидкості за даними технологічного процесу складання на підприємстві приблизно дорівнює 2–4 % від трудомісткості складання комбайна, що становить  $25,2 \cdot 0,03 = 0,76$  години. Згідно з визначеними даними  $N_{\text{м}} = 3334$  штуки та трудомісткістю 0,76 години порівняно з показниками таблиць 1.2 і 1.3 це буде великосерійне виробництво.

### **Службове призначення виробу та опис його роботи**

У цьому розділі чітко формулюється службове призначення вузла (складальної одиниці) механізму перемикання швидкості.

1 Механізм перемикання швидкості призначений для вмикання блок-шестірни маневрової або робочої швидкості руху комбайна.

2 Для запобігання заклинюванню вилки 2 потрібно передбачити зазор між втулкою від 9 і вилкою 2.

3 Допускається нагрівання втулки 9 до 50 °С.

4 Механізм перемикання швидкості працює в середовищі, що не містить парів агресивних речовин. Допускається незначне потрапляння мастила на вилку 2 та сухарі 10.

5 Робота механізму перемикання швидкості доцільна при температурі в межах від 17 до 40 °С.

6 Термін використання механізму перемикання швидкості до першого ремонту не менше 5000 годин.

7 Маса механізму перемикання швидкостей становить 14 кг.

8 Сила на штоці гідравлічного циліндра знаходиться в межах 920–1130 Н.

9 Габаритні розміри: 290 x 200 x 200 мм.

### ***Технічні вимоги (норми точності) виробу, їх аналіз***

Механізм перемикання швидкості має складальну одиницю (див. рис. 6.9), до якої належать кришка 1, вилка 2, валик 8 та дві втулки 9. Вилка 2 за допомогою шліців установлена на валик 8, що вставлений у дві втулки 9. У свою чергу, втулки за допомогою гвинтів 14 кріпляться до кришки 1. Поворот вилки 2 механізму перемикання швидкості здійснюється за допомогою поршня 4. Крім повороту, вилка має можливість переміщуватися уздовж своєї осі.

Однією з умов нормальної роботи складального вузла є вимога, згідно з якою між втулкою та вилкою повинен бути зазор у межах 0,1–0,5 мм (див. рис. 6.10). Для дотримання вимоги конструктором передбачена спеціальна прокладка (на рисунку вона показана розміром [A<sub>5</sub>]), яка встановлюється між однією із втулок та кришкою.

Таким чином, можна сформулювати норму точності, яку потрібно забезпечити при складанні: «Забезпечити зазор між втулкою та вилкою в межах 0,1–0,5 мм».

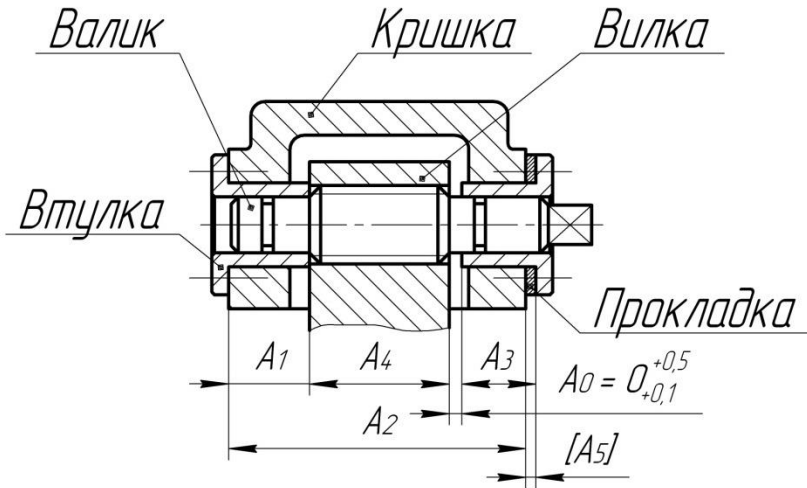


Рисунок 6.10 – Схема вузла механізму перемикання швидкості та його складальний розмірний ланцюг (СРЛ)

### ***Вибір та обґрунтування методу досягнення норми точності вузла***

У цій частині роботи на вищесформульовану норму точності встановлюється метод досягнення точності. Згідно з попередніми розрахунками тип виробництва великосерійний. Аналіз розглянутих методів визначив метод регулювання найбільш економічним, за яким буде досягнута сформульована вимога. Схема складального розмірного ланцюга механізму перемикання швидкості наведена на рисунку 6.11.

Попередньо (за сформульованою вимогою) задамося номінальним розміром замикальної ланки  $A_0 = 0(+0,5; +0,1)$  мм. Тоді допуск  $\Delta A_0 = 0,4$  мм; верхнє відхилення  $ESA_0 = +0,5$  мм; нижнє відхилення  $EIA_0 = +0,1$  мм; координата середини поля допуску  $EsA_0 = +0,3$  мм.

Згідно з методом регулювання беремо номінальний розмір ланки-компенсатора  $[A_5] = 0$  і допуск на неї не призначаємо.

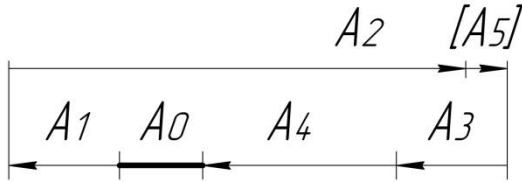


Рисунок 6.11 – Складальний розмірний ланцюг механізму перемикання швидкості

Складаємо рівняння розмірного ланцюга, з якого можна визначити потрібні номінальні розміри:

$$A_0 = A_2 - A_1 - A_3 - A_4 + [A_5].$$

Вимірюванням на кресленні номінальних розмірів складальних ланок (з урахуванням масштабу креслення) встановлено:  $A_1 = A_3 = 30$  мм;  $A_2 = 108$  мм;  $A_4 = 50$  мм.

Із рівняння визначаємо номінальний розмір ланки-компенсатора  $[A_5]$ :

$$\begin{aligned} [A_5] &= -A_2 + A_1 + A_3 + A_4 - A_0 = \\ &= -108 + 30 + 30 + 50 - 0 = 2 \text{ мм.} \end{aligned}$$

На всі складові ланки СРЛ, крім ланки-компенсатора, призначаємо легко здійсненні допуски:

$$A_1 = A_3 = 30_{js12}(\pm 0,105) \text{ мм;}$$

$$A_2 = 108_{h12}(0; -0,35) \text{ мм;}$$

$$A_4 = 50_{h14}(0; -0,62) \text{ мм.}$$

Очікувана похибка замикальної ланки  $T'A_0$  визначається за формулою

$$T'A_0 = 1,2\sqrt{TA_1^2 + TA_2^2 + TA_3^2 + TA_4^2}.$$

Тоді

$$T'A_0 = 1,2\sqrt{210^2 + 350^2 + 210^2 + 620^2} = 930 \approx 1000 \text{ мкм.}$$

Визначимо середнє значення  $E_c A'_0$  замикальної ланки:

$$\begin{aligned} E_c A'_0 &= E_c A_2 - E_c A_1 - E_c A_3 - E_c A_4 = \\ &= -175 - 0 - 0 - (-310) = +135 \text{ мкм.} \end{aligned}$$

Визначимо координату середини поля компенсації  $E_c A_k$ :

$$\begin{aligned} E_c A_k &= \pm[E_c A'_0 - E_c A_0] = \pm(135 - 300) = \\ &= \pm(-165) = +165 \text{ мкм.} \end{aligned}$$



Якщо ланки  $[A_5]$  і  $A_0$  знаходяться на різних гілках СРЛ (див. рис. 6.11), то беремо знак «-», і тоді  $E_c A_k = +165$  мкм.

Визначаємо верхнє  $ESA_k$  і нижнє  $EIA_k$  відхилення величини компенсації  $A_k$ :

$$ESA_k = E_c A_k + \frac{T_k}{2} = +165 + \frac{700}{2} = +515 \text{ мкм},$$

$$EIA_k = E_c A_k - \frac{T_k}{2} = +165 - \frac{700}{2} = -185 \text{ мкм},$$

де  $T_k$  – величина компенсації.

Величина компенсації визначається за формулою

$$T_k = T' A_0 - T A_0 + T_{mk} = 1000 - 400 + 100 = 700 \text{ мкм},$$

де  $T_{mk} = 100$  мкм – допуск методу компенсації (точність методу виготовлення компенсаційної прокладки).

Оскільки  $EIA_k = -185$  мкм  $< 0$ , то треба змінити найбільший номінальний розмір складової ланки  $A_2 = 108$  мм.

Нове номінальне значення  $A_2^H$  визначаємо за формулою

$$A_2^H = A_2 - EIA_k = 108 - 0,185 = 107,815 \text{ мкм}.$$

Остаточний розмір  $A_k$  буде становити

$$A_k = [A_5] + E_c A_k \pm \frac{T_k}{2} = 2 + (+165) \pm 0,35 = 2_{-0,185}^{+0,515} \text{ мм}.$$

Визначені дані запишемо у таблицю 6.7.

Визначимо набір прокладок  $Z$  при товщині кожної 0,1 мм:

$$Z = \frac{T' A_0}{S} = \frac{1000}{10} = 10 \text{ шт.}$$

Зробимо розрахунок компенсатора, який має набір прокладок різної товщини:

$$S_1 = 0,1 \text{ мм}; S_2 = 2S_1 = 0,2 \text{ мм}; S_3 = 2S_2 = 0,4 \text{ мм}; S_4 = 2S_3 = 0,8 \text{ мм}.$$

У межах інтервалу регулювання можна одержувати розмір компенсатора через кожні 0,1 мм шляхом різного сполучення розрахованих чотирьох прокладок.

Із наведених варіантів розрахунку компенсатора найбільш ефективним є компенсація зазору набором прокладок різної товщини.

Таблиця 6.7 – Розміри ланок для розрахунку СРЛ

Позначення ланки $A_i, j$	Квалітет точності	Номинальний розмір ланки $A_i, j$ , мм	Допуск ланки $\Delta A_i, j$ , мкм	Координата середини поля допуску $E_s A_i, j$ , мкм	Верхнє граничне відхилення ланки $E S A_i, j$ , мкм	Нижнє граничне відхилення ланки $E I A_i, j$ , мкм	Коментар
$A_0$	-	0	400	+300	+500	+100	Зазор між втулкою і вилкою
$A_1$	js12	30	210	0	+105	-105	Довжина втулки
$A_2$	h12	108	350	-175	0	-350	Відстань між правою і лівою сторонами кришки
$A_3$	js12	30	210	0	+105	-105	Довжина втулки
$A_4$	h14	50	620	-310	0	-620	Товщина вилки
$[A_5]$	h12*	2*	100*	-50*	0*	-100*	Товщина прокладки
* Дані ланки-компенсатора $[A_5]$ , внесені у таблицю після розрахунку СРЛ							

***Розроблення послідовності складання, схеми складання та технологічних карт***

Послідовність загального складання вузла визначається його конструктивними особливостями, а також закладеними конструкцією методами забезпечення потрібної точності.

Основою розроблення схеми складання є визначення послідовності складання. Схема складання полегшує розроблення технології складання, допомагає організувати виконання складального процесу, комплектування вузла, подання складальних одиниць та деталей у належній послідовності до місць складання, планування виробництва.

Схема складання механізму перемикання швидкості та його складальних одиниць наведена на рисунках 6.12–6.17.

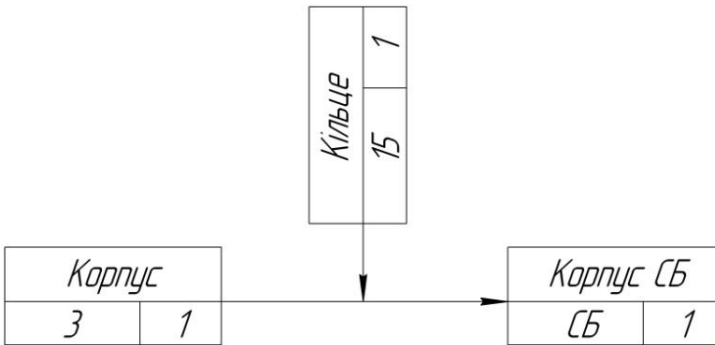


Рисунок 6.12 – Схема складання «Корпус СБ»

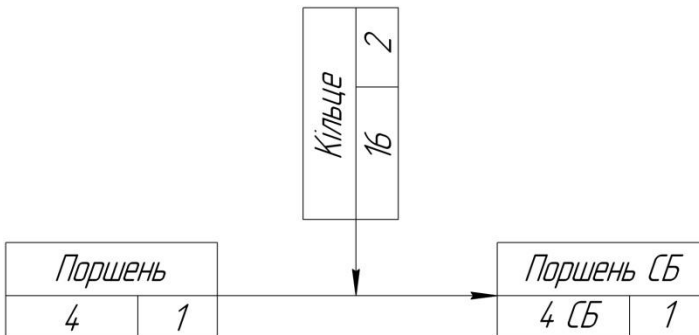


Рисунок 6.13 – Схема складання «Поршень СБ»

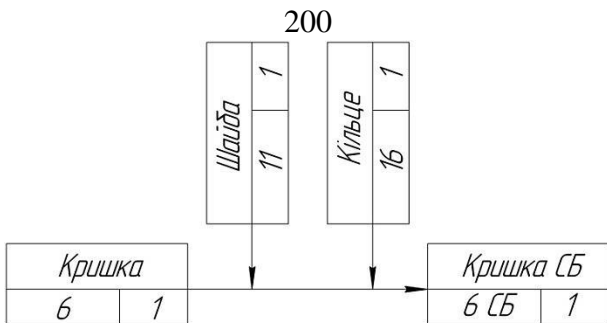


Рисунок 6.14 – Схема складання «Кришка СБ»

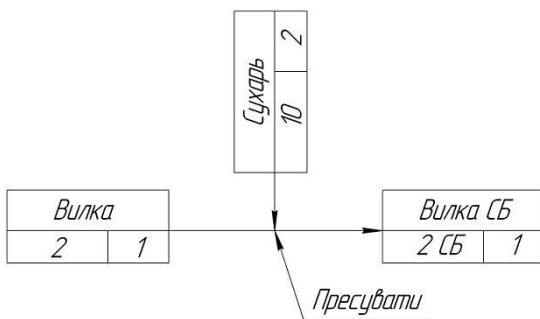


Рисунок 6.15 – Схема складання «Вилка СБ»

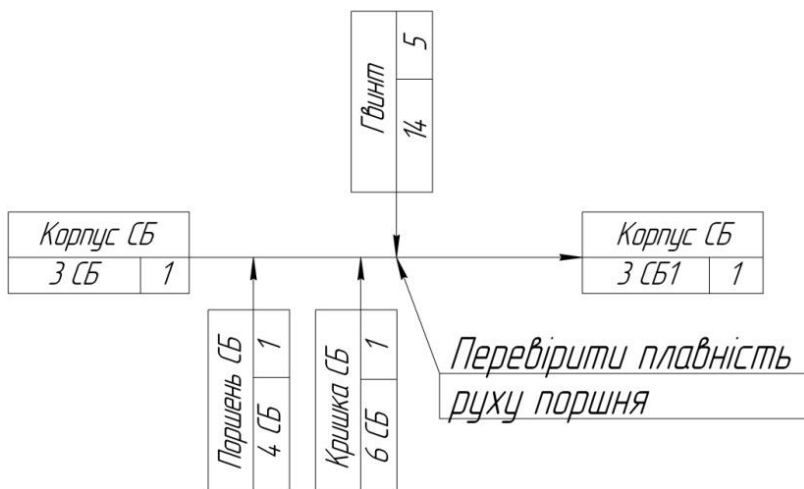


Рисунок 6.16 – Схема складання «Корпус СБ1»

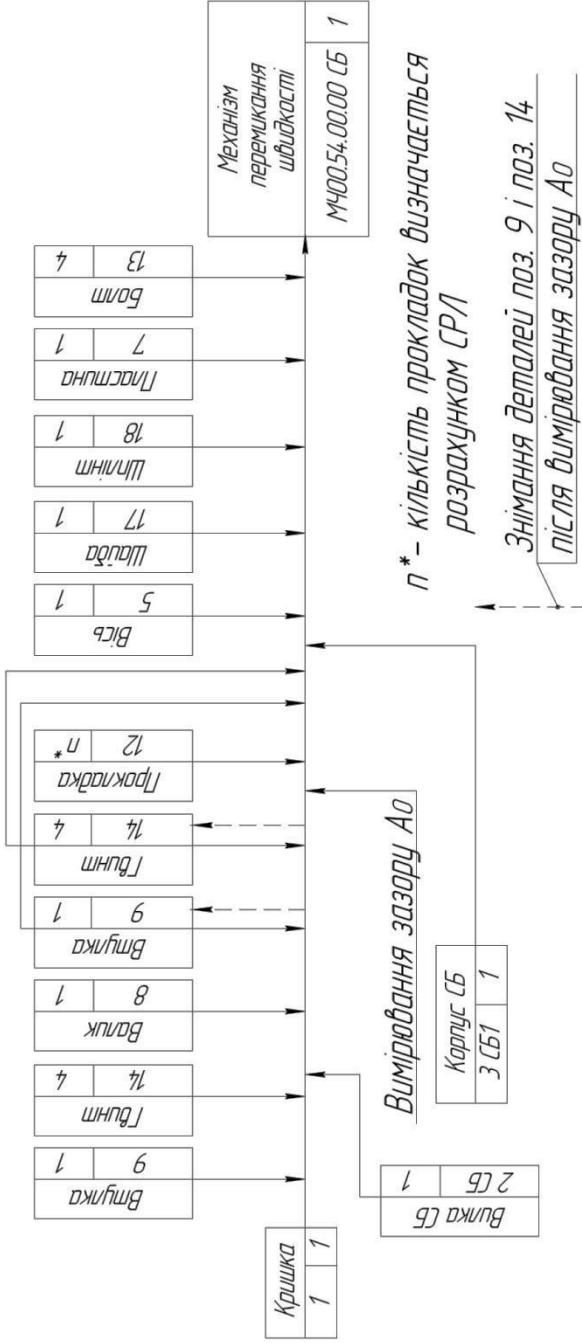


Рисунок 6.17 – Схема складання механізму перемикання швидкості МЧ00.54.00.00 СБ

Після побудови схем складання відбувається нормування за переходами, для яких за довідником [3] визначається оперативний час (див. табл.6.8).

Таблиця 6.8 – Визначення оперативного часу

Номер переходу								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Норма оперативного часу $T_{оп}$								
0,1	0,21	0,05	0,11	0,6	0,62	0,15	0,78	0,05
Номер переходу								
10	11	12	13	14	15	16	17	18
Норма оперативного часу $T_{оп}$								
0,64	0,14	0,05	0,64	0,7	0,6	0,05	0,1	0,1
Номер переходу								
19	20	21	22	23	24	25	26	-
Норма оперативного часу $T_{оп}$								
0,54	0,12	0,1	0,05	0,27	0,05	0,75	1,6	-
Сумарний час за всіма переходами $\Sigma = 9,17$ хв								

Штучний час  $T_{шт}^0$  для складання одного виробу визначається за формулою

$$T_{шт}^0 = \sum_1^i T_{опi} \left( 1 + \frac{\alpha + \beta}{100\%} \right) K_{п} = 9,17 \left( 1 + \frac{3 + 2}{100} \right) 1,1 \cong 10,6 \text{ хв,}$$

де  $T_{опi}$  – оперативний час окремих переходів (див. табл. 6.8), хв;

$\alpha = 3 \%$  – відсоток від оперативного часу, який відповідає часу на обслуговування робочого місця;

$\beta = 2 \%$  – відсоток від оперативного часу, що відповідає часу на відпочинок та особисті потреби виконавця;

$K_{п} = 1,1-1,2$  – поправковий коефіцієнт оперативного часу, що враховує кількість прийомів, виконуваних робітником;

$i = 26$  – кількість переходів для складання одного виробу.

Штучно-калькуляційний час  $T_{шк}$  на один виріб при складанні вузла партіями у великосерійному виробництві визначається за формулою  $T_{шк} = T_{шт}^0 = 10,6$  хв. У цьому випадку підготовчо-завершальний час  $T_{пз} = 60$  хв, та кількість виробів у партії  $N = 40000$  шт. не впливають на загальну

трудомісткість виробу, тому що відношення  $T_{шт}/N = 60/40000 = 0,0015$  хв і становить дуже малий (0,15 %) відсоток похибки.

***Вибір та обґрунтування складального устаткування,  
технологічного оснащення, кількості робітників  
та робочих місць***

Визначення типу складального устаткування, оснащення, інструменту та піднімально-транспортних засобів здійснюється за змістом операції. Для запресування сухарів застосовується слюсарний молоток, а загвинчування гвинтів виконуються слюсарно-монтажними викрутками (ГОСТ 24437-80). З метою скорочення допоміжного часу та зменшення трудомісткості складання застосовується спеціальний поворотний стіл. Для вимірювання зазору використовується штангенциркуль ШЦ-0-125; 0,05 (ГОСТ 166-89) (див. табл. 6.9).

***Побудова циклограми складання***

З метою удосконалення технологічного процесу складання будуємо циклограму складання.

Циклограма складання будується у прямокутних координатах (див. табл. 6.10). По вертикалі записуються у стислій формі переходи складання, по горизонталі – тривалість їх виконання. Далі технологічні переходи комплектуються в операції, які дорівнюють трудомісткості такту складання або кратні йому.

Ураховуючи характер виробів (габарити і вагу) і тип виробництва, візьмемо поточну форму організації складального процесу із стаціонарним складальним стендом для вузлового і загального складання.

Потім за вузловим та загальним складанням визначимо кількість слюсарів-складальників:

$$q = \frac{T_{шт}}{T} = \frac{10,6}{5,8} \approx 1,83.$$

Беремо  $q = 2$  чол. – кількість слюсарів-складальників, потрібних для складання вузлів і загального складання виробу.

Таблиця 6.9 – Технологічна карта складання механізму перемикання швидкості

Номер переходу	Зміст переходу	Інструмент		Обладнання і пристрої	Розряд робітника	Норма штучного часу, хв
		різальний і монтажний	контрольно-вимірвальний			
1	2	3	4	5	6	7
1	Вставити кільце 15 у корпус 3				2	0,1155
2	Установити два кільця 16 на поршень 4				2	0,2425
3	Установити шайбу 11 на кришку 6				2	0,058
4	Вставити кільце 16 в кришку 6				2	0,127
5	Пресувати два сухарі 10 у вилку 2	Слюсарний молоток ГОСТ 2310-77Е			3	0,693
6	Вставити поршень 4СБ у корпус 3СБ				3	0,7161
7	Вставити кришку 6СБ у корпус 3СБ				3	0,1732
8	Загвинтити і затягнути п'ять гвинтів 14 до упору	Викрутка слюсарно-монтажна, тип 1 ГОСТ 24437-80			2	0,9009



Продовження таблиці 6.9

1	2	3	4	5	6	7
9	Установити одну втулку 9 у кришку 1				2	0,058
10	Загвинтити і затягнути чотири гвинти 14 до упору	Викрутка слюсарно-монтажна, тип 1 ГОСТ 24437-80			2	0,7392
11	З'єднати вилку 2СБ із кришкою 1 валиком 8				2	0,231
12	Установити другу втулку 9 у кришку 1				2	0,058
13	Загвинтити і затягнути чотири гвинти 14 до упору	Викрутка слюсарно-монтажна, тип 1 ГОСТ 24437-80			2	0,7392
14	Виміряти зазор $A_0 = 0(+0,5; +0,1)$ мм		ШЩ-0-125; 0,05 ГОСТ 166-89		3	0,8085
15	Викрутити чотири гвинти 14 з другої втулки 9	Викрутка слюсарно-монтажна, тип 1 ГОСТ 24437-80			2	0,693
16	Зняти другу втулку 9				2	0,058
17	Установити прокладку 12 на кришку 1				2	0,1155

Продовження таблиці 6.9

1	2	3	4	5	6	7
18	Вставити другу втулку 9 у кришку 1				2	0,1155
19	Загвинтити і затягнути чотири гвинти 14 до упору	Викрутка слюсарно-монтажна, тип 1 ГОСТ 24437-80			2	0,567
20	Вставити корпус 3СБ у кришку 1			Поворотний пристрій	2	0,1386
21	З'єднати поршень 4СБ із вилкою 2СБ віссю 5				2	0,1155
22	Установити шайбу 17 на вісь 5				2	0,058
23	Шплінтувати вісь 5 шплінтом 18	Круглогубці 7814-0113 Х9 ГОСТ 7283-86			2	0,3118
24	Установити пластину 7 на кришку 1			Поворотний пристрій	2	0,058
25	Загвинтити і затягнути чотири болти 13 до упору	Ключ 7811-0109 Н С 1 Х9 ГОСТ 2841-80Е			2	0,8662
26	Регулювати хід поршня 4СБ і вилки 2СБ				3	0,848
Загальна трудомісткість складання механізму перемикання швидкості						10,6

Таблиця 6.10 – Циклограма складання

Номер операції	Зміст операцій (переходів)	Норма штучного часу, хв	Щільність роботи	Час Т, хв		
1	2	3	4	5		
<i>Складання комплектів.</i>						
<i>Складання корпусу</i>						
1	Вставити кільце 15 у корпус 3	0,1155	1	5,42 <input type="checkbox"/> (0,38)		
<i>Складання поршня</i>						
1	Установити два кільця 16 на поршень 4	0,2425				
<i>Складання кришки</i>						
1	Вставити шайбу 11 у кришку 6	0,058				
2	Вставити кільце 16 у кришку 6	0,127				
<i>Складання вилки</i>						
1	Пресувати два сухарі 10 у вилку 2	0,693				
<i>Складання складальної одиниці.</i>						
<i>Складання корпусу СБ1</i>						
1	Установити поршень 4СБ у корпус 3СБ (забезпечити посадку Ø30Н7/ф6)	0,7161				
2	Вставити кришку 6СБ у корпус 3СБ	0,732				
3	Загвинтити і затягнути п'ять гвинтів 14 до упору різі (забезпечити герметичність з'єднання)	0,9009				

## Продовження таблиці 6.10

1	2	3	4	5
<i>Загальне складання.</i>				
<i>Складання механізму перемикання швидкості</i>				
1	Установити одну втулку 9 у кришку 1	0,058	}	
2	Загвинтити і затягнути чотири гвинти 14 до упору	0,7392		
3	З'єднати вилку 2СБ із кришкою 1 валиком 8	0,231		
4	Вставити другу втулку 9 у кришку 1	0,058		
5	Загвинтити і затягнути чотири гвинти 14 до упору	0,7392		
	Разом	5,4104		
6	Виміряти зазор $A_0 = 0(+0,5; +0,1)$ мм	0,8085	}	
7	Викрутити чотири гвинти 14	0,693		
8	Зняти другу втулку 9	0,058		
9	Установити прокладку 12 на кришку 1	0,1155		
10	Установити втулку 9 у кришку 1	0,1155		
11	Загвинтити і затягнути чотири гвинти 14 до упору	0,567		
12	Вставити корпус 3СБ у кришку 1	0,1386		
13	З'єднати поршень 4СБ із вилкою 2СБ віссю 5	0,1155		
14	Установити шайбу 17 на вісь 5	0,058		
15	Шплінтувати вісь 5 шплінтом 18	0,3118		
16	Установити пластину 7 на кришку 1	0,058		
			1	5,18 (0,62)

Продовження таблиці 6.10

1	2	3	4	5
17	Загвинтити і затягнути чотири болти 13 до упору	0,8662	}	
18	Регулювати сумісний хід поршня 4СБ і вилки 2СБ	0,848		
	Разом $T_{шт}^0$	10,6	2	5,8

## Список літератури

1. Маталин А. А. Технология машиностроения : учебник (для машиностроительных вузов) / А. А. Маталин. – Л. : Машиностроение, 1985. – 496 с. : 6 ил.
2. Захаркін О. У. Методичні вказівки до виконання розділу «Аналіз службового призначення виробів та технічних вимог до них» / укладачі: О. У. Захаркін, О. О. Топоров. – Суми : СумДУ, 2000. – 29 с.
3. Гусев А. А. Технология машиностроения (специальная часть) : учебник для вузов / А. А. Гусев, Е. Р. Ковальчук, И. М. Колесов и др. – М. : Машиностроение, 1986. – 480 с. : ил.
4. Балакшин Б. С. Основы технологии машиностроения : учебник для вузов / Б. С. Балакшин. – изд. 3-е, доп. – М.: Машиностроение, 1969. – 358 с. : ил.
5. Балакшин Б. С. Теория и практика технологии машиностроения / Б. С. Балакшин. – М. : Машиностроение, 1982. – Кн. 1. – 288 с. ; кн. 2. – 268 с.
6. Бондаренко С. Г. Размерный анализ конструкций : справочник / С. Г. Бондаренко, О. Н. Чередниченко, В. П. Губий, Т. М. Игнатцев. – К. : Техника, 1989. – 150 с.
7. Коротченко В. Л. Размерный анализ конструкции изделия : методические указания к практическим работам (для студентов специальности 7.090202 «Технология машиностроения» дневной и заочной форм обучения) / В. Л. Коротченко. – Сумы : СумГУ, 1999. – 34 с.
8. Савчук В. І. Наукові основи складання машин : навчально-методичний посібник / В. І. Савчук. – Суми : Вид-во СумДУ, 2004. – 131 с.
9. Цепи размерные. Основные понятия. Методы расчёта линейных и угловых цепей : методические указания РД 50-635-87. – М. : Изд-во стандартов, 1987. – 46 с.
10. Дука А. Н. Расчёты размерных цепей машин и механизмов : / А. Н. Дука. – К. : Техніка, 1969. – 124 с. : ил.

11. Новиков Н. П. Основы технологии сборки машин и механизмов. – М. : Машиностроение, 1989. – 592 с. : ил.
12. Методичні вказівки до виконання обов'язкового домашнього завдання з дисципліни «Наукові основи складання машин» / укладач В. І. Савчук. – Суми : Сумський державний університет, 2012. – 36 с.
13. Косилова А. Г. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1986. – Т. 2. – 496 с. : ил.
14. Замятин В. К. Технология и оснащение сборочного производства машиностроения : справочник / В. К. Замятин. – М.: Машиностроение, 1995. – 608 с.: ил.
15. Общемашиностроительные нормативы времени на слесарную обработку деталей и слесарно-сборочные работы по сборке машин и приборов в условиях массового, крупносерийного и среднесерийного типов производства : справочник. – М. : Экономика, 1991. – 160 с.
16. Методичні вказівки до оформлення документації при виконанні розрахунково-графічних і курсових робіт, курсових і дипломних проєктів з технології машинобудування: у 2 частинах. – Ч. 1. Загальні відомості / укладачі: В. Г. Євтухов, В. О. Іванов. – Суми : Сумський державний університет, 2011. – 55 с.
17. Методичні вказівки до оформлення документації при виконанні розрахунково-графічних і курсових робіт, курсових і дипломних проєктів з технології машинобудування: у 2 частинах. – Ч. 2. Приклади оформлення технологічної документації / укладачі: В. Г. Євтухов, В. О. Іванов. – Суми : Сумський державний університет, 2011. – 59 с.
18. ГОСТ 3.1118-82. Формы и правила оформления маршрутных карт. – Введ. с 01.01.84.

Наукові основи складання машин : конспект лекцій / укладачі : В. І. Савчук, О. В. Івченко – Суми : Сумський державний університет, 2013. – 212 с.

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів



Навчальне видання

# Наукові основи складання машин

## КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

для студентів освітньо-кваліфікаційних рівнів  
«магістр» і «спеціаліст» спеціальності 8 (7). 05050201  
«Технології машинобудування»  
усіх форм навчання

Відповідальний за випуск	В. О. Залога
Редактор	С. М. Симоненко
Комп'ютерне верстання	В. І. Савчука, О. В. Івченка

Підп. до друку 22.05.2013, поз. .  
Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 12,32. Обл.-вид. арк. 9,53. Тираж 50 пр. Зам. № .  
Собівартість видання грн к.

Видавець і виготовлювач  
Сумський державний університет,  
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.

Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет

До друку та в світ  
дозволю на підставі  
«Єдиних правил»,  
п.2.6.14

Заступник першого проректора –  
начальник організаційно-методичного  
управління

В. Б. Юскаєв

**Наукові основи складання машин**  
Конспект лекцій  
для студентів освітньо-кваліфікаційних рівнів  
«магістр», «спеціаліст» спеціальності 8 (7). 05050201  
«Технології машинобудування»  
усіх форм навчання

Усі цитати, цифровий  
та фактичний матеріал,  
бібліографічні  
відомості перевірені,  
запис одиниць  
відповідає стандартам

Укладачі

В. І. Савчук,  
О. В. Івченко

Відповідальний за випуск

В. О. Залога

Декан факультету технічних систем  
та енергоєфективних технологій

О. Г. Гусак

Суми  
Сумський державний університет  
2013